

зации коров, является стерильным, безвредным и ареактогенным биопрепаратом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Красочко, П. А. Болезни крупного рогатого скота и овец / П. А. Красочко [и др.]. – Махачкала, 2007.
2. Ветеринарные и технологические мероприятия при содержании крупного рогатого скота / П. А. Красочко [и др.]. – Смоленск, 2016.
3. Зелютков, Ю. Г. Вирусно-бактериальный мониторинг ассоциативных инфекций у новорожденных телят / Ю. Г. Зелютков // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. трудов. – Т. 3 / под ред. В. К. Пестиса. – Гродно: ГГАУ, 2006. – С. 204-207.
4. Иванова, И. П. Инфицированность стад крупного рогатого скота возбудителями респираторных инфекций в хозяйствах Минской области / И. П. Иванова, П. А. Красочко // Актуальные проблемы патологии сельскохозяйственных животных: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня образования БелНИИЭВ им. С.Н. Вышелесского: сб. науч. трудов. – 2000. – С. 105-106.
5. Красочко, П. А. Биотехнологические основы конструирования и использования иммунобиологических препаратов для молодняка крупного рогатого скота : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.23 / П. А. Красочко; Всерос. науч.-исслед. и технол. ин-т биол. пром-сти. – Щелково, 2009. – 46 с.
6. Машеро, В. А. Этиологическая структура возбудителей респираторных и желудочно-кишечных инфекций телят в Республике Беларусь / В. А. Машеро, П. А. Красочко // Ученые записки: научно-практический журнал / УО ВГАВМ: сб. науч. трудов. – Витебск, 2007. – Т. 43, вып. 2. – С. 83-86.
7. Выращивание и болезни молодняка: практическое пособие / А. И. Ятусевич [и др.]; под общ. ред. А. И. Ятусевича [и др.] М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Учреждение образования «Витеб. гос. акад. ветеринар. Медицины». – Витебск: ВГАВМ, 2012. – 814 с.

УДК 619:593.06-085

### **СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ ЖИВОТНЫХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (НИЛИ)**

**И. В. Кулеш<sup>1</sup>, В. В. Малашко<sup>1</sup>, Д. Л. Шенгаут<sup>1</sup>, Я. Шенгаут<sup>2</sup>,  
М. Анишаушкас<sup>2</sup>, В. Латвис<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – УО «Гродненский государственный аграрный университет»

г. Гродно, Республика Беларусь

(Республика Беларусь, 230008, г. Гродно, ул. Терешковой, 28; e-mail: ggau.by)

<sup>2</sup> – Jakovo veterinarijos centras  
Lithuania, 03147, Vilnius

***Ключевые слова:** лазер, скелетные мышцы, электронная микроскопия, телята, гистохимия, стереология, морфометрия, миогенез, ангиогенез.*

***Аннотация.** Под воздействием НИЛИ происходит интенсификация регионального кровотока, что повышает метаболическую активность эндоте-*

лиоцитов, стимулирует ангиогенез и миогенез. При использовании НИЛИ возрастают запасы гликогена в мышечных волокнах. В эксперименте количество гранул гликогена на  $10 \text{ мкм}^2$  ультрасреза составляло  $61,33 \pm 4,18$ , в контроле –  $40,21 \pm 2,28$ , что превышает контрольный уровень на 52,5%. Более активный миофибриллогенез и интенсификация регионального кровотока способствует росту скелетных мышц и, соответственно, живой массы животных.

## STRUCTURAL FEATURES OF SKELETAL MUSCLES OF ANIMALS UNDER THE INFLUENCE OF LOW-INTENSIVE LASER RADIATION (LILR)

I. V. Kulesh<sup>1</sup>, V. V. Malashko<sup>1</sup>, D. L. Shengaut<sup>1</sup>, Y. Shengaut<sup>2</sup>,  
M. Anishaushkas<sup>2</sup>, B. Latvis<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – EI «Grodno state agrarian University»

Grodno, Republic of Belarus

(Republic of Belarus, 230008, Grodno, 28 Tereshkova st.; e-mail:

ggau@ggau.by)

<sup>2</sup> – Jakovo veterinarijos centras

Lithuania, 03147, Vilnius

**Key words:** laser, skeletal muscle, electronic microscopy, calves, histochemistry, stereology, morphometry, myogenesis, angiogenesis.

**Summary.** Under the effect of LILR intensification of regional blood flow takes place, which increases the metabolic activity of endothelial cells and stimulates angiogenesis and myogenesis. When using LILR increases the glycogen reserves within the muscle fibers increase. In the experiment, the number of glycogen granules per  $10 \text{ }\mu\text{m}^2$  of ultracrete was  $61,33 \pm 4,18$ , in control –  $40,21 \pm 2,28$ , which exceeds the control level by 52,5%. More active myofibrillar and regional blood flow intensification promotes the growth of skeletal muscle and, accordingly, the live weight of the animals.

(Поступила в редакцию 30.05.2018 г.)

**Введение.** Низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) начали широко использовать в биологии и медицине в 1961 г., когда А. Javan (США) создал He-Ne-лазер (гелий-неоновый лазер), излучающий «чистый» поток красного света. Для медицинских и биологических целей чаще используются лазеры в диапазоне видимого УФ- и ИК-спектра [12]. Несмотря на интенсивные исследования в области лазерных технологий, как отмечает Д. В. Малашко [8], механизмы воздействия лазерного излучения на биологические объекты до настоящего времени изучены недостаточно [6, 13].

Обобщая механизм действия НИЛИ на биологические объекты, можно выделить три аспекта фотобиологических эффектов: ► часть энергии НИЛИ концентрируется объектом, аккумулируется в макро-

энергетических химических связях системы АТФ, на основании чего наступает стимуляция ферментных систем клетки и повышение энергетической активности клеточных органелл; ► с точки зрения биологии такие среды, как тканевая жидкость, лимфа, плазма крови могут служить и средством восприятия, транспортировки НИЛИ за счет резонансной спектральной памяти, структурной альтерации, а также переизлучения клетками; ► под влиянием НИЛИ наступает укорочение фаз воспаления, снижается экссудация, активизируются пролиферативные и иммунные процессы [4, 5, 7].

Под воздействием НИЛИ наблюдается локальное повышение концентрации кислорода в ткани в результате фотодиссоциации оксигемоглобина *in vivo*, что является первичным механизмом биостимулирующего и терапевтического действия НИЛИ. Существуют два основных механизма биологического действия лазерного излучения: фотохимический и фотофизический. Механизмы взаимодействия лазерного излучения с биотканью можно представить следующим образом (рисунок 1).

Как показали исследования А. В. Волотковской [4], облучение кожи крыс инфракрасным непрерывным лазерным излучением мощностью 500 мВт в течение 5 мин по 5 и 10 процедур на курс вызывает усиление микроциркуляции (вазодилатация, раскрытие резервных капилляров), активацию пролиферации тучных клеток в дерме, ведет к стимуляции иммунных реакций (например, увеличение содержания макрофагов).

Исследования, проведенные на биологических системах различного уровня организации (молекулы ферментов в растворе, культура клеток человека и животных), позволили сделать вывод, что в основе биологической активности лежат вызванные НИЛИ перестройки пространственной структуры компонентов клетки, ответственные за регуляцию метаболизма [7, 8, 11, 16].



Рисунок 1 – Схема механизмов взаимодействия лазерного излучения с биотканью (по: М. М. Асимов и др., 2008)

Замечено, что НИЛИ в терапевтических дозах оказывает антиоксидантный эффект при облучении крови *in vitro* и *in vivo*. Благодаря НИЛИ происходит активация противовоспалительного действия, снижается уровень ацидотического состояния, тормозится цитолиз и стимулируются репаративные внутриклеточные процессы [9]. Как выявили R. A. Abergel и др. [17], по механизму влияния НИЛИ на биоаминный статус элементов крови наблюдается снижение концентрации серотонина, гистамина и увеличение катехоламинов в сыворотке крови. НИЛИ стимулирует производство, синтез зрелого гепарина. В свою очередь, гепарин связывает медиаторы воспаления – гистамин, серотонин, избыток катехоламинов, и при воспалении гепарин снимает блокаду  $\beta_2$ -адренорецепторов.

Познание структурно-функциональной организации соматической мускулатуры позволяет более глубоко понять процессы приспособления мышечной системы к различным дестабилизирующим стресс-факторам (например, гиперкинезия, гиподинамия). Данные, полученные В. Ф. Машанским и др. [9]; В. И. Шевцовым и др. [15], указывают на непосредственное участие соматической мускулатуры в формировании устойчивости организма к внешним экстермальным факторам. Можно констатировать, что в мышечной системе существуют определенные закономерности в сочетании с морфофизиологическими, гистохимическими и рядом других признаков. Естественно, разные количественные сочетания указанных признаков приводят к соответствующим функциональным возможностям мышц.

Особенностью мышечной системы является тот факт, что к моменту рождения животного заканчивается основная дифференциация клеточных элементов и формируются мышечные волокна, хотя поперечнополосатая исчерченность слабо выражена [1, 2]. Дальнейший процесс миогенеза тесно связан с рождением и, следовательно, с резкой сменой условий развития и содержания животных [10]. По мнению К. Бэгшоу [2], признано положение о ведущей роли сократительного термогенеза соматической мускулатуры в качестве регулируемого и возобновляемого источника теплопродукции в системе теплорегуляции организма. С точки зрения теплообразования эффективными являются т. н. «терморегуляционный тонус» и «холодовая дрожь». В результате сократительный термогенез мышц обеспечивает до 45-60% теплообразования при действии холодового фактора [18, 20].

Исследования, проведенные Л. Н. Вольским и др. [5] на квадратной (красная) и двуглавой (белая) мышцах, показали, что количество капилляров на 1 мм<sup>2</sup> квадратной мышцы достигает 566±54-618±47 шт., двуглавой мышцы – 343±58-426±41 шт., при этом скорость кровотока в

расчете на 100 г мышцы составляла 11,0 и 4,4 мл/мин, а суммарный периметр капилляров равнялся  $13,5 \pm 2,6$  и  $9,7 \pm 1,8$  соответственно. Существует определенная закономерность развития мышц во внутриутробный период, о чем свидетельствуют исследования Э. И. Обертас [10]. Автором показано, что во внутриутробный период и в раннем постнатальном периоде интенсивнее развиваются широчайшая мышца спины → зубчатая вентральная → трехглавая → двуглавая плеча → длиннейшая мышца спины → двуглавая мышца бедра → комплекс ягодичных мышц по сравнению с динамикой роста всего организма. Начиная с 60 дня плодного периода и до рождения, масса соматической мускулатуры увеличивается в 9-12 раз, в то время как масса плода возрастает в 8,5-9,2 раза. Асинхронность и интенсивность роста у различных групп мышц, по всей вероятности, обусловлена их функциональной принадлежностью на разных этапах филогенеза и онтогенеза. Изучение морфофизиологических механизмов, лежащих в основе локомоторных процессов, важно не только с физиологической и биологической, но и с практической точки зрения.

**Цель работы** – определить компенсаторно-приспособительные реакции в скелетных мышцах телят при облучении низкоинтенсивным лазерным излучением.

**Материал и методика исследований.** В качестве лазерного источника использовали лазерный аппарат «Люзар-МП» (сертификат соответствия № BV/112 03.1.1 EB0006), ТУ РБ 00956342.004-98. В качестве источников оптического излучения использовали полупроводниковые (инжекционные) лазеры красной и ближней инфракрасной областей спектра. Рабочая длина волны лазерного излучения для красной области спектра составляла  $0,67 \pm 0,02$  мкм. Мощность лазерного излучения для красного спектра на выходе излучателя составляла в ходе опытов  $15 \pm 2$  мВт и плотностью мощности светового потока – 120-140 мВт/см<sup>2</sup>. Для облучения животных применяли фокусирующую насадку.

Процедура физиотерапии с использованием магнитной насадки проводилась контактно-сканирующим методом. Сочетание магнитного поля и лазерного излучения дает качественно новые физические, физико-химические и биологические процессы, возникающие вследствие интерференции. Контактно-сканирующим методом проводили у телят облучение длиннейшей мышцы поясницы (*m. longissimus lumborum*) и груди (*m. longissimus thoracis*). Облучения длиннейшей мышцы спины проводили по обе стороны спины, начиная с 1-2 поперечных отростков поясничных позвонков и до 2-3 поперечно-реберных отростков грудных позвонков, экспозиция – 3 мин на каждую сторону, 8 сеансов по 1

ежедневно, после 4 сеансов 2-дневный перерыв, мощность на выходе излучателя – 15 мВт, красная область спектра, плотность мощности светового потока – 120-140 мВт/см<sup>2</sup>. Выбор длиннейшей мышцы спины обоснован тем, что данный объект является хорошо доступным для облучения и по морфофункциональному составу относится к динамическому типу. Объектом для исследований служили телята молозивно-молочного периода с живой массой при рождении от 27 до 38 кг. Облучение НИЛИ проводили с 10-дневного возраста. Всего в эксперименте было задействовано 15 телят (опытная группа) и 15 телят служили в качестве контроля.

Образцы мышцы от 5 телят в опыте и контроле были взяты на уровне 1-3 поясничных позвонков и в области 5-6 грудных позвонков согласно методике R. A. Lawrie и др. [19]. Биопсию длиннейшей мышцы спины и надколенных лимфоузлов проводили после инфльтрационной анестезии 1%-м раствором новокаина по Э. И. Веремею и др. [3] при помощи иглы COLT для режущей биопсии мягких тканей.

Для светооптического исследования фрагменты длиннейшей мышцы спины обрабатывали по стандартной методике и заключали в парафин или целлоидин, при этом учитывали ориентацию мышечных волокон. Пробы пропитывали парафином 1,5-8 часов в термостате ТВЗ-25 при t+54<sup>0</sup>С. Срезы готовили на ротационном микротоме МПС-2 и МС-2 толщиной 5-8 мкм. Гистосрезы монтировали на предметных стеклах Ц1923. Для дегидрирования гистосрезов использовали калибровочные спиртовые растворы. Для получения обзорной информации структурных компонентов гистосрезы окрашивали гематоксилин-эозином по П. Эрлиху, прочным зеленым по И. Ван Гизону, эозин метиленовым синим по М. Лейшману, альциновым синим с докраской ядер гематоксилином.

Подсчет числа капилляров в мышечных волокнах, их диаметр производился на поперечных срезах мышц с учетом зон преимущественного расположения красных и белых мышечных волокон. Функциональное состояние микроциркуляторного русла мышц оценивали по методике В. И. Козлова и др. (1982) и проводили подсчет согласно методу, предложенному С. М. Блинковым и др. (1961). Кровеносное русло длиннейшей мышцы спины и лимфатических узлов выявляли с помощью гистохимической реакции на щелочную фосфатазу (ЩФ, КФ 3.1.1.1) по методу Гомори и методом импрегнации серебром по В. В. Куприянову (1965).

Для электронно-микроскопического исследования брали кусочки мышц размером 1,5x1,5 мм и фиксировали в 2%-м растворе глутарового альдегида. В последующем ткани помещали в 5%-й раствор глута-

рового альдегида на 2 ч. Глутаровый альдегид готовили на 0,1М фосфатном буфере pH 7,2-7,4 и фиксировали при t+4°C. После 3-кратной промывки в 0,1М фосфатном буфере материал обрабатывали 2%-м раствором четырехокси осмия, дегидрировали в спиртах возрастающей концентрации, контрастировали уранилацетатом и цитратом свинца в ультростейнере фирмы LKB Bromma 2168 (Швеция) и заключали в аралдит. Ультратонкие срезы изготавливали с помощью алмазных ножей LKB JUMDI (Япония) на ультрамикротоме LKB Ultratome Bromma Nova (Швеция). Срезы длиннейшей мышцы спины телят изучали с помощью трансмиссионного электронного микроскопа JEM-100CX фирмы JEOL (Япония).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Нами установлено, что в длиннейшей мышце спины новорожденных телят преобладают красные мышечные волокна, количество которых достигает 67%. К 30-дневному возрасту телят содержание красных мышечных волокон снижается до 52,8%. В то же время содержание белых мышечных волокон с 1 до 30-дневного возраста телят возрастает с 27,3 до 65,2%. На долю промежуточных волокон приходится от 7,2 до 20,2%. Развитие мышечной системы в постнатальном онтогенезе определяется рядом количественных показателей таких, как диаметр мышечного волокна, количество ядер на единицу площади. С учетом отмеченного изучены количественные изменения некоторых ключевых параметров длиннейшей мышцы спины телят под воздействием НИЛИ (таблица 1).

Таблица 1 – Доля мышечных волокон разного диаметра в длиннейшей мышце спины телят

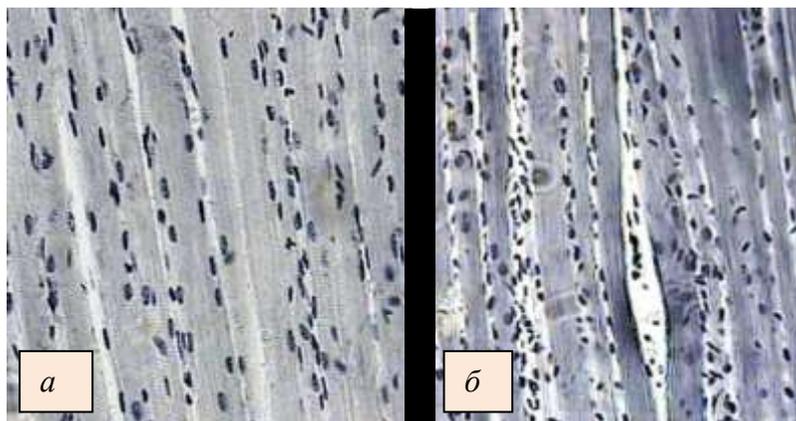
Количество мышечных волокон, %	Группа		
	до начала облучения	контроль	опыт (НИЛИ)
Толстые мышечные волокна	16,5±0,8	17,3±0,6	23,9±0,7
Средние мышечные волокна	40,3±0,9	42,9±0,8	46,6±0,9
Тонкие мышечные волокна	36,6±0,4	39,8±0,3	29,5±0,4

Анализ данных таблицы 1 показывает, что наблюдаются различия в процентном содержании мышечных волокон разного диаметра. В опытной группе на толстые мышечные волокна приходится 23,9%, в контрольной группе телят – 17,3%, количество средних мышечных волокон составляло 46,6 и 42,9% соответственно. В контрольной группе животных преобладали тонкие мышечные волокна, на долю которых приходилось 39,8%, в опытной группе – 29,5%. Увеличение количества толстых мышечных волокон, по нашему мнению, происходит за счет гипертрофии миофибрилл, митохондрий, саркоплазматической сети. Диаметр мышечных волокон в опытной группе телят превышает контрольные данные на 45,2% (P<0,01). Существенно увеличивается

концентрация ядер на единицу площади мышечного волокна, где этот показатель под воздействием НИЛИ выше на 28,9% ( $P < 0,05$ ) по отношению к контролю (рисунок 2).

Адаптивные возможности скелетных мышц выражаются в их работоспособности, которая определяется двумя главными группами факторов: метаболическими ресурсами, а также потенциалом регуляторных механизмов на тканевом, клеточном и субклеточном уровнях. В этой связи проведен стереологический анализ ультраструктур длиннейшей мышцы спины телят под влиянием НИЛИ (таблица 2).

Рассматривая ультраструктурные сдвиги в длиннейшей мышце спины телят под влиянием НИЛИ, установлено, что длина саркомеров достигала в опыте  $1,96 \pm 0,07$  мкм, в контроле –  $1,02 \pm 0,09$  мкм, что больше на 92,2% ( $P < 0,01$ ). В условиях эксперимента значительно лучше происходит кровоснабжение мышцы, о чем свидетельствует плотность капилляров, которая составляет  $74 \pm 4,81$  п.уд. кап., в контрольной группе данный показатель равнялся  $52 \pm 3,15$  п.уд. кап., что соответственно выше на 42,3% ( $P < 0,05$ ).



*а – содержание ядер в мышечных волокнах длиннейшей мышцы спины теленка (контроль); б – увеличение количества ядер в мышечных волокнах длиннейшей мышцы спины теленка (опыт, НИЛИ)*

Рисунок 2 – Содержание ядер в мышечных волокнах длиннейшей мышце спины 30-дневного теленка. Железный гематоксилин. Микрофото. Биоскан. Ув.: – 400

Об энергетической мощности длиннейшей мышцы спины свидетельствует степень развития митохондрий. Одним из таких показате-

лей является количество профилей митохондрий на  $10 \text{ мкм}^2$ . Количество профилей митохондрий на единицу площади в опытной группе телят составляло  $3,33 \pm 0,48$ , в контрольной группе телят –  $1,47 \pm 0,41$  (больше в 2,3 раза). Значительно возрастают запасы гликогена в мышечных волокнах под влиянием НИЛИ. В экспериментальных образцах количество гранул гликогена на  $10 \text{ мкм}^2$  ультрасреза составляло  $61,33 \pm 4,18$ , в контрольных ультраструктурах –  $40,21 \pm 2,28$ , что превышает контрольный уровень на 52,5% ( $P < 0,05$ ).

Известно, что максимальная аэробная мощность зависит, главным образом, от плотности митохондрий в мышечных волокнах, запасов гликогена. Обращает на себя внимание локализация и структура гликогена. В красных мышечных волокнах под влиянием НИЛИ гранулы гликогена крупные контрастные, которые в отличие от контроля наблюдаются во всех отделах волокон – вокруг митохондрий, липидных капелек, между миофибриллами, под сарколеммой, вблизи каналов саркоплазматического ретикулума и особенно в области I-зон саркомеров (рисунок 3). Объемная плотность миофибрилл в опыте достигает  $518,4 \pm 14,34 \text{ мм}^3/\text{см}^3$ , в контрольной группе –  $416,5 \pm 12,31 \text{ мм}^3/\text{см}^3$ , что в процентном соотношении выше на 24,5% ( $P < 0,01$ ).

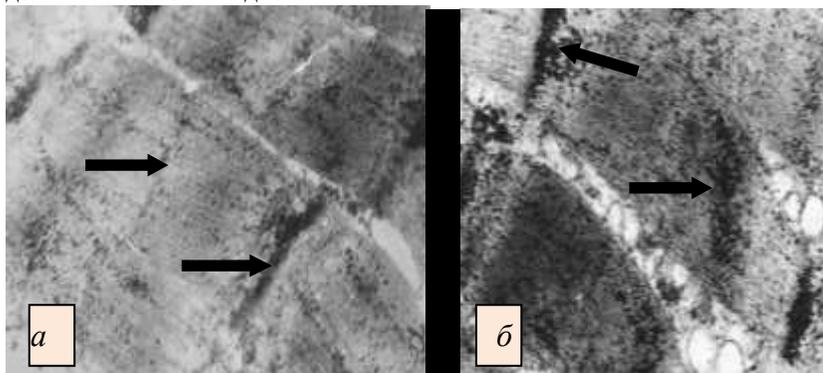
Таблица 2 – Стереологические показатели длиннейшей мышцы спины телят

Показатель	Группа	
	контроль	опыт (НИЛИ)
Длина саркомеров, мкм	$1,02 \pm 0,09$	$1,96 \pm 0,07^{**}$
Плотность капилляров, $n_{\text{уд. кап.}}$	$52 \pm 3,15$	$74 \pm 4,81^*$
Относительный объем митохондрий, %	$1,21 \pm 0,14$	$2,11 \pm 0,55^{H/D}$
Количество профилей митохондрий на $10 \text{ мкм}^2$ среза	$1,47 \pm 0,41$	$3,33 \pm 0,48^*$
Относительный объем саркоплазматической сети, %	$5,21 \pm 0,37$	$6,17 \pm 0,24^{H/D}$
Количество гранул гликогена на $10 \text{ мкм}^2$ среза	$40,21 \pm 2,28$	$61,33 \pm 4,18^*$
Объемная плотность миофибрилл, $\text{мм}^3/\text{см}^3$	$416,5 \pm 12,31$	$518,4 \pm 14,34^{**}$
Поверхностная плотность саркоплазматической сети, $\text{м}^2/\text{см}^3$	$0,337 \pm 0,11$	$0,713 \pm 0,15^*$

Примечание – \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ;  $^{H/D}$  – *недостаточно*

Проведенные морфометрические измерения свидетельствуют о том, что под влиянием НИЛИ активизируется миогенез и метаболические процессы в скелетных мышцах. Активный миофибриллогенез, увеличение объема саркоплазмы и площади, покрывающей их сарколеммы, а также новообразование миофибрилл и мышечных волокон из камбиальных элементов – признак интенсивного развития скелетных мышц телят при использовании НИЛИ. В опытной группе телят внутриклеточные структуры хорошо идентифицируются во всех полях зре-

ния. Миофибриллы имеют четкие контуры, лежат в основном параллельно друг другу, отчетливо просматриваются миофиламенты и отдельные вставочные диски.



*а – контроль; б – увеличение концентрации гликогена (стрелки), (опыт, НИЛИ)*

Рисунок 3 – Ультраструктурные изменения в длиннейшей мышце спины 30-дневного теленка под воздействием НИЛИ. Электронограмма.

Ув.: – 15000

Адаптация соматической мускулатуры телят к стимулирующему воздействию НИЛИ сопровождается формированием в мышечных волокнах микропочек и микровыростов, в саркоплазме которых наблюдается значительное скопление митохондрий. В новоформирующихся микропочках саркоплазма содержит многочисленные гранулы гликогена и полисомы. Митохондрии расположены непосредственно у плазмолеммы и ориентированы рядами на уровне Z-линий крайних миофибрилл мышечного волокна. В опытных образцах митохондрии имеют более электронноплотный матрикс и плотно упакованные кристы. В созревающих микротрубочках и незрелых мышечных волокнах цепочки ядер дислоцированы в центральной части волокна, а у полюсов образуются «шлейфы» из мелких митохондрий. Подобных мышечных волокон в опытных образцах было на 21,6-22,7% больше по сравнению с контролем. Под влиянием лазерного облучения повышается пролиферация миосателлитов. За счет миосателлитов происходит увеличение количества ядер мышечного волокна и стимуляция его белоксинтезирующего потенциала и в итоге образование новых миофибрилл.

По строению капилляров можно судить о функциональном состоянии ткани и органа, т. к. структура капиллярных сетей отображает

специфику органа. Чем интенсивнее обмен в тканях, тем гуще расположены капилляры (таблица 3).

Таблица 3 – Морфометрические показатели капилляризации длиннейшей мышцы спины телят

Показатель	Группа	
	контроль	опыт (НИЛИ)
Количество капилляров вокруг мышечного волокна (миона), шт.	3,89±0,31	5,74±0,14*
Плотность капилляров на 1 мм <sup>2</sup> мышечного волокна, шт.	1181,34±62,32	1533,18±68,44*
Удельная площадь просветов капилляров, %	2,90±0,50	4,56±0,76 <sup>Н/Д</sup>
Площадь миона, приходящегося на 1 капилляр, мкм <sup>2</sup>	205,33±15,23	380,17±23,66**
Длина капилляров, мкм	255,08±11,45	450,31±18,72**
Длина артериол, мкм	91,15±11,02	98,97±9,36 <sup>Н/Д</sup>
Длина венул, мкм	76,23±6,77	77,75±8,91 <sup>Н/Д</sup>

Примечание – \* P<0,05; \*\* P<0,01; <sup>Н/Д</sup> – недостоверно

Анализируя данные таблицы 3, можно обратить внимание на то, что по многим ультраструктурным параметрам имеются достоверные различия между опытными и контрольными измерениями. Под влиянием НИЛИ увеличивается на 47,6% (P<0,05) количество функционирующих капилляров вокруг мышечного волокна.

Одновременно происходит увеличение плотности капилляров на 1 мм<sup>2</sup> мышечного волокна, в контроле этот показатель составил 1181,34±62,32 шт., в опыте – 1533,18±68,44, что выше контрольных показателей на 29,8% (P<0,05). Интенсификация кровоснабжения сопровождается увеличением площади мышечного волокна (миона), что соответственно сказывается на функции мышцы. Площадь мышечного волокна при использовании НИЛИ увеличивается на 85,2% (P<0,01). Длина обменных микрососудов (капилляров) в контроле равнялась в среднем 255,08±11,45 мкм, в опытной группе – 450,31±18,72 мкм, что соответственно превышает контрольные данные на 76,5% (P<0,01).

Таким образом, наблюдаемое усложнение конструкции микроциркуляторного русла длиннейшей мышцы спины телят под воздействием НИЛИ происходит за счет увеличения количества микрососудов и формирования разветвленной капиллярной сети. Под влиянием НИЛИ активизируется микроциркуляция в мышечных волокнах. Плотность капилляров в длиннейшей мышце спины телят увеличивается на 24,6% (P<0,05), и показатель васкуляризации равняется 1,25 против 1,10 в контрольной группе. Более активный миофибриллогенез и интенсификация регионального кровотока способствует росту скелетных мышц и, соответственно, живой массы животных.

**Заключение.** При проведении комплексного исследования скелетных мышц животных выявлено, что компенсаторно-приспособительные процессы в динамике эксперимента происходят на внутриклеточном и клеточном уровнях, ассоциируясь с активацией ядер мышечных волокон, цитоплазматических структур, а также клеток-сателлитов. Использование НИЛИ позволяет формировать локальный структурно-метаболический фон, т. к. скелетные мышцы обладают большой пластичностью и имеют значительную внутреннюю способность к регенерации за счет миосателлитоцитов. Накопление знаний о механизмах развития адаптационных процессов в мышечной системе под воздействием НИЛИ поможет создать терапевтические подходы к ускоренному накоплению мышечной массы у животных и проведению лечебно-профилактических мероприятий.

*Работа выполнена при поддержке БРФФИ, проект № 17МС-007.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аринчин, Н. И. Становление и развитие периферических «сердец» в онтогенезе / Н. И. Аринчин, Я. Т. Володько, Г. Д. Недвецкая. – Минск: Наука и техника, 1986. – 208 с.
2. Бэгшоу, К. Мышечное сокращение / К. Бэгшоу. – М.: Мир, 1985. – 128 с.
3. Веремей, Э. И. Справочник по применению лекарственных средств в ветеринарной хирургии / Э. И. Веремей, А. Н. Елисеев, В. А. Лукьяновский. – Минск: Ураджай, 1989. – 263 с.
4. Волотковская, А. В. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на процессы перекисного окисления липидов и активность супероксиддисмутазы крови / А. В. Волотковская // Лазерная физика и применение лазеров: сб. науч. тр. – Минск, 2003. – С. 255-260.
5. Вольский, Л. Н. Органный кровоток и вес тела лабораторных грызунов / Л. Н. Вольский, Т. Т. Глазко, В. В. Вязовой // Кровообращение. – 1980. – Т. 13, № 4. – С. 50-54.
6. Дюба, В. М. Лазеротерапия при лечении кожных и венерических заболеваний / В. М. Дюба, А. П. Веремейчик, В. А. Мостовников // Лазерная физика и применение лазеров: сб. науч. тр. – Минск, 2003. – С. 247-248.
7. Ляндрес, И. Г. Механизмы биостимуляции низкоинтенсивного лазерного излучения / И. Г. Ляндрес, С. И. Леонович, В. А. Мостовников. – Минск, 1998. – 116 с.
8. Малашко, Д. В. Эффективность лечебного низкоинтенсивного лазерного излучения при заболевании молочной железы у коров / Д. В. Малашко // Лазерно-оптические технологии в биологии и медицине: материалы междунар. конф.; Минск, 14-15 октября 2000 г.; в 2 т. / Ин-т физики НАН Беларуси; редкол.: А. Н. Рубинов [и др.]. – Минск, 2004. – Т. 2. – С. 413-416.
9. Машанский, В. Ф. Ранние реакции клеточных органоидов / В. Ф. Машанский, И. М. Рабинович. – Л.: Наука, 1987. – 120 с.
10. Обертас, Э. И. Развитие мышц и мышечных волокон у свиней / Э. И. Обертас // Морфология и генетика кабана: сб. науч. тр. – М.: Наука, 1985. – С. 137-145.
11. Остронослова, Н. С. Гепариновый механизм действия низкоинтенсивного лазерного излучения при лечении больных бронхиальной астмой / Н. С. Остронослова // Иммунология. – 2004. – Т. 25, № 6. – С. 355-358.
12. Рубинов, А. Н. Физические принципы применения градиентных лазерных полей в медицине / А. Н. Рубинов, А. А. Афанасьев // Лазеры в медицине: сб. науч. тр. – Минск, 2002. – С. 16-23.

13. Трофимов, А. Ф. Лазерные технологии в ветеринарии и животноводстве / А. Ф. Трофимов, М. В. Шалак, Д. В. Малашко // Наука – производству: сб. науч. тр. / Гродн. гос. аграр. ун-т; В. К. Пестис (отв. ред.) [и др.]. – Гродно, 2001. – С. 339-342.
14. Черток, В. М. Роль оксида азота в реакции артериальных сосудов на лазерное облучение / В. М. Черток, А. Е. Кошоба, Е. В. Беспалова // Бюл. эксперим. биол. и мед. – 2008. – Т. 145, № 6. – С. 699-703.
15. Шевцов, В. И. Мышечные веретена при удлинении конечности: проприорецептивный конфликт или дефицит активности? / В. И. Шевцов, М. С. Сайфутдинов, Н. К. Чикорина // Бюл. эксперим. биол. и мед. – 2008. – Т. 146, № 7. – С. 114-116.
16. Шейко, Е. А. Использование низкоинтенсивного красного светового излучения для повышения противоопухолевой эффективности циклофосфана в эксперименте / Е. А. Шейко, А. И. Шихлярова, Т. А. Куркина // Бюл. эксперим. биол. и мед. – 2004. – Т. 138, № 12. – С. 665-667.
17. Abergel, R. A. Biostimulation of wound healing by lasers: Experimental approaches in animal models and in fibroblast cultures / R. A. Abergel, R. F. Lyons, J. C. Castel // J. Dermatol. Surg. Oncol. – 2010. – Vol. 13. – P. 169-172.
18. Henriksson, K. Distribution of different fibre types in human skeletal muscle / K. Henriksson, J. Lexell, M. Sjöstrom // Histochem. – 2002. – Vol. 15, N 2. – P. 167-178.
19. Lawrie, R. A. Studies of the muscles of meat animal / R. A. Lawrie, R. W. Pomeroy, A. Cuthbertson // J. of Agricultural Sci. – 2003. – Vol. 60, № 2. – P. 195-209.
20. Tomanek, R. I. Ultrastructural differentiation of skeletal muscle fibres and the irdiversity / R. I. Tomanek // J. Ultrastruct. Res. – 2006. – Vol. 55. – P. 212-227.

УДК 612.42+612.135]:612-086

## **СТРУКТУРНЫЕ И ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛАХ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НИЗКОИНТЕНСИВНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ (НИЛИ)**

**В. Латвис<sup>1</sup>, М. Анишаушкас<sup>1</sup>, В. В. Малашко<sup>2</sup>, Д. В. Малашко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> – Jakovo veterinarijos centras

Lithuania, 03147, Vilnius

<sup>2</sup> – УО «Гродненский государственный аграрный университет»

г. Гродно, Республика Беларусь

(Республика Беларусь, 230008, г. Гродно, ул. Терешковой, 28; e-mail: ggau@ggau.by)

<sup>3</sup> – УО «Белорусская сельскохозяйственная академия»

г. Горки, Могилевская область, Республика Беларусь

(Республика Беларусь, 213410, г. Горки, ул. Мичурина, 10)

**Ключевые слова:** лазер, лимфоузлы, плазмоциты, лимфоциты, апоптоз, телата, морфометрия, иммунология, НИЛИ.

**Аннотация.** Под влиянием НИЛИ наблюдается активное формирование лимфатических узелков с хорошо выраженными светлыми центрами. Их количество в опыте увеличивается на 12,5%. Содержание лимфоидных узелков с центрами размножения в опыте увеличивается на 18,5%, в контроле узелков без центров размножения было больше на 6,7%. Митотический индекс в опы-