

**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ
СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ ЖИВОТНЫХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ
НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (НИЛИ)**

**В. В. Малашко¹, И. В. Кулеш¹, А. М. Ламан¹, Д. В. Малашко¹,
Д.-Л. Шенгаут¹, О. Н. Воронис¹, Дм. В. Малашко², Я. Шенгаут³**

¹ – УО «Гродненский государственный аграрный университет»

г. Гродно, Республика Беларусь (Республика Беларусь, 230008,

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

² – УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

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

³ – Вильнюсский университет прикладных наук, Литва

Ключевые слова: аминокислоты, гликоген, капилляры, кровеносные сосуды, лазер, микроциркуляция, миофибриллы, морфометрия, мышцы, низкоинтенсивное лазерное излучение, НИЛИ, органеллы, поросята, скелетные мышцы, ультраструктура, ферменты.

Аннотация. Под влиянием НИЛИ в длиннейшей мышце спины поросят происходит интенсификация обменных процессов, сопровождающихся увеличением плотности капилляров на 11,3 %, относительный объем митохондрий мышечных волокон у поросят опытной группы составляет 2,07 %, в контроле – 0,79 %, количество гранул гликогена на единицу среза выше в 2,1 раза. Концентрация ядер в мышечных волокнах длиннейшей мышцы спины поросят под влиянием НИЛИ составляла 77 шт./мм², что превышает контроль на 24,2 %. Содержание гистидина в мышце увеличилось на 5,7 %, лизина – на 19,7 %, лейцина – на 83,4 %, треонина – в 2,3 раза. Активность сукцинатдегидрогеназы в длиннейшей мышце спины поросят превышает контроль на 45 %.

STRUCTURAL-FUNCTIONAL STATE OF SKELETAL MUSCLE OF ANIMALS UNDER LOW LEVEL LASER THERAPY (LLLT)

V. Malashko¹, I. Kulech¹, A. Laman¹, D. Malashko¹, D.-L. Šengaut¹, O. Voronis¹, Dm. Malashko², J. Šengaut³

¹ – EI «Grodno state agrarian university»

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

² – EI «Belarusian agricultural academy»

Gorki, Republic of Belarus (Republic of Belarus, 213410, Gorki, 10 Michurina str.);

³ – Vilnius University of Applied Sciences, Lithuania

Key words: amino acids, glycogen, capillaries, blood-vessels, laser, microcirculation, miofibrilla, morphometry, muscles, low level laser therapy, LLLT, organelles, piglets, skeletal muscles, ultrastructure, ferments.

Summary. Under low level laser therapy there is metabolic processes intensification in the longissimus muscle of piglets' back which is followed by increasing of the capillary density by 11,3 %, the relative amount of mitochondria of muscle fiber of experimental group of piglets comprises 2,07 %, in control – 0,79 %, the number of crystal glycogenous per unit is higher in 2,1. Concentration of cores in muscle fibers of the longissimus muscle of piglets' back under LLLT comprised 77 ps/mm², that is higher than control by 24,2 %. Amount of histidine in muscle increased by 5,7 %, lysine by 19,7 %, leucine by 83,4 %, threonine in 2,3. Activity of succinate dehydrogenase in the longissimus muscle of piglets' back was higher than the control by 45 %.

(Поступила в редакцию 10.06.2022 г.)

Введение. Лазеры для медицинских и биологических целей чаще используются в диапазоне видимого, УФ- и УК-спектра. Для терапевтических целей в основном используют низкоинтенсивное лазерное излучение с длиной волны 0,632 мкм и 0,830-0,888 мкм (красной и инфракрасной оптической области спектра электромагнитных волн). Установлено, что НИЛИ обладает стимулирующим воздействием на регенерационные процессы в тканях и клетках. Вероятнее всего, этот эффект определяется стимуляцией иммунных механизмов и улучшением микроциркуляции в зоне патологического процесса. Вместе с тем механизмы воздействия лазерного излучения на биологические объекты до настоящего времени изучены недостаточно. Можно выделить три аспекта фотобиологических эффектов: 1) часть энергии лазерного излучения воспринимается объектом, аккумулируется в макроэнергетических химических связях системы АТФ, происходит активация ферментных систем клетки и повышение энергетической активности клеточных структур; 2) с точки зрения физико-химических свойств биологические среды

(тканевая жидкость, лимфа, плазма крови) могут служить и средством восприятия, транспортировки энергии лазерного излучения за счет резонансной спектральной памяти, структурной альтерации, а также переизлучения клетками; 3) под воздействием НИЛИ происходит укорочение фаз воспаления, уменьшается экссудация, стимулируются пролиферативные и активизируются иммунные процессы. Локальное влияние НИЛИ на патологический очаг (воспаление, некроз, нарушение местного крово- и лимфообращения) оказывает положительное действие в виде нормализации функций как местно (в участке ткани, в органе), так и в организме в целом (эффект генерализации) [4, 6, 9].

Взаимодействие НИЛИ с поверхностными слоями кожи и, особенно, влияние света на оксигемоглобин артериальной крови в кожных кровеносных сосудах представляет весьма интересный аспект современной фитобиологии и фотомедицины. Локальное повышение концентрации кислорода в ткани в результате фотодиссоциации оксигемоглобина *in vivo* является первичным механизмом биостимулирующего и терапевтического действия НИЛИ [1, 12]. Существуют два основных механизма биологического действия лазерного излучения: фотохимический и фотофизический.

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 [8].

В отличие от многих других лечебных физических факторов лазерное излучение можно использовать как в виде комбинирования, так и в виде сочетания. Среди сочетанных методов применения НИЛИ, прежде всего, следует выделить магнитолазерную терапию (МЛТ) – использование лазерного излучения и постоянного магнитного поля. Этот метод получил широкое распространение благодаря простоте применения и высокой терапевтической эффективности. При этом происходит суммирование биологических эффектов и физических процессов в месте воздействия на ткани. Дополнительное воздействие светом, постоянным магнитным полем потенцирует действие лазерного излучения, увеличивая глубину его проникновения на 2-4 см, соответствующее оптимальному значению плотности мощности (80-100 мВт/см²), создавая эффект синергизма, что позволяет улучшить трофику тканей, повышает эластичность и тургор кожи за счет увеличения количества артерио-венулярных анастомозов и функционально активных капилляров.

Компрессионно-сканирующий метод увеличивает активность в мышцах ферментов дыхания (цитохромоксидаз) и ферментов утилизации конечных продуктов метаболизма. Лазерное воздействие на симпатические нервные волокна сопровождается адаптационно-трофическими изменениями в симпатической нервной системе. В конечном итоге, резко усиливается трофическая функция тканей, которые находились в состоянии трофического дефицита. При лазеротерапии наиболее выраженным является эффект улучшения кровообращения и активация обменно-трофических процессов [7].

В последние годы лазерные технологии стали применяться в ветеринарной медицине. Лазерную энергию применяют во многих отраслях биологии и медицины, как эффективное средство. Причины этого очевидны, лечение больших животных антибиотиками, сульфаниламидами и другими химиотерапевтическими средствами считается традиционным и эффективным методом. Однако отсутствие строгого контроля за животноводческой продукцией при лечении животных способствуют значительному их загрязнению остаточными количествами антибиотиков и продуктами их метаболизма. Это ухудшает качество продуктов, и нередко их запрещено использовать в питании [2].

Лазерная терапия является наиболее перспективным направлением в повышении адаптационных и компенсаторных возможностей организма животных. В аспекте механизма влияния НИЛИ на биоаминный статус элементов периферической крови наблюдается уменьшение уровня серотонина и гистамина и увеличение концентрации катехоламинов в сыворотке крови. НИЛИ активизирует синтез зрелого гепарина. Гепарин связывает медиаторы воспаления гистамин и серотонин, а также избыток катехоламинов. Снимая воспаление, гепарин снимает блокаду β_2 -адренорецепторов [3, 11].

Перспективным направлением в последнее время является применение НИЛИ для повышения качества животноводческой продукции. Таким направлением может быть использование НИЛИ для снижения степени загрязненности организма животных, животноводческой продукции тяжелыми металлами и радионуклидами, особенно в зонах техногенного загрязнения. Подводя итог литературному обзору, можно отметить, что действие красного НИЛИ избирательно влияет на определенные ферментные системы организма, вызывая изменения активности ферментов и соответствующую реакцию клеток. НИЛИ оказывает стимулирующее действие на регенерационные процессы в клетках и тканях.

Изменения энергетического состояния макро- и микросистем меняют реакционную способность отдельных участков макромолекул, их

конформацию, что в конечном итоге сказывается на течении клеточного метаболизма. НИЛИ относится к числу перспективных и информационно значимых средств для коррекции состояния регуляторных систем, обмена веществ, нормализации деятельности поврежденного органа и стимуляции роста животных [5, 8].

Цель работы – исследовать морфофизиологические и биохимические адаптивные преобразования в скелетных мышцах поросят под влиянием низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ).

Материал и методика исследований. В качестве лазерного источника использовали лазерный аппарат «Люзар-МП» (сертификат соответствия № BV/112 03.1.1 EB 0006), ТУ РБ 00956342.004-98. Рабочая длина волны лазерного излучения для красной области спектра составляла $0,67 \pm 0,02$ мкм. Размер светового пятна от торца излучателя был не более 5 мм. Магнитная индукция создавалась магнитной насадкой не менее 40 ± 10 мТл. Мощность лазерного излучения для красного спектра на выходе излучателя составляла в ходе опытов 15 ± 2 мВт и плотность мощности светового потока – $120-140$ Вт/см². В процессе лазеротерапии использовали коллимированный (нерасходящийся) лазерный луч. Для облучения животных применяли фокусирующую насадку совместно с магнитной насадкой.

Вышеописанным методом проводили облучение длиннейшей мышцы поясницы (*m. longissimus lumborum*) и груди (*m. longissimus thoracis*) с экспозицией 3 мин, с мощностью на выходе излучателя 15 мВт по обе стороны спины, на протяжении 21 дня, с 3-дневным перерывом после 8 сеансов. Облучение проводили, начиная с 1-2 поперечно-реберных отростков поясничных позвонков до 2-3 поперечных отростков грудных позвонков.

Объектом исследований служили поросята 10-40-дневного возраста с первоначальной массой 1050-1250 г. Для проведения эксперимента было сформировано 2 группы животных по 35 голов в каждой группе. Возраст к началу эксперимента составлял 10 дней. Пробы для гистологических, электронно-микроскопических и биохимических исследований, относительно длиннейшей мышцы, брались между 9 и 10 грудными позвонками из правой и левой мышцы у поросят в возрасте 35 дней в количестве по 10 голов из каждой группы. В каждой мышце для 150 мышечных волокон, случайно выбранных и равномерно распределенных по срезу, определяли соответствующие показатели.

Биохимическими методами в мышце концентрацию свободных аминокислот и их дериватов (производных) с использованием катионно-обменной хроматографии по реакции с нингидрином определяли на автоаминоанализаторе аминокислот «Т-339». Для дифференциации ске-

летных мышц использовали гистохимическое определение активности сукцинатдегидрогеназы (СДГ, КФ 1.3.99.1). Определение активности СДГ проводили по методу М. М. Нахласа [10]. В качестве донатора водорода использовали нитросиний тетразолий (нитро-СТ). Время инкубации для СДГ составляло 1,5 часа. Микроциркуляторное русло мышц выявляли с помощью гистохимической реакции на щелочную фосфатазу (ЩФ, КФ 3.1.1.1) по методу Г. Гомори. Количественную оценку активности СДГ проводили с помощью сканирующего микроскопа – фотометра MPV-2 фирмы «Leitz» (Германия) в монохроматическом свете с длиной волны 580 нм, при измерительном окуляре 6,3, объективе – 25, размере зонда на плоскости препарата – 4 x 4 мм в 100-150 точках микрообъекта, взятых произвольно, а также с помощью компьютерной системы «Биоскан». Для светооптического исследования срезы окрашивали гематоксилин-эозином в сочетании с реакцией Перлса, по ван Гизону с докраской эластических волокон резорцин-фуксином Вейгерта.

Для электронно-микроскопического исследования брали кусочки мышц размером 1,5 x 1,5 мм и фиксировали в 2%-м растворе глутарового альдегида. В последующем ткани помещали в 5%-й раствор глутарового альдегида на 2 часа. Глутаровый альдегид готовился на 0,1М фосфатном буфере pH 7,2-7,4 и фиксировали при t +4 °С.

После 3-кратной промывки в 0,1М фосфатном буфере материал обрабатывали 2%-м раствором четырехоксида осмия, дегидрировали в спиртах возрастающей концентрации, контрастировали уранил ацетатом и заключали в аралдит. Срезы готовили на ультрамикротоме ЛКБ (Швеция), контрастировали цитратом свинца и просматривали под микроскопами JEM-100B и JEM-100CX (Япония).

Результаты исследований и их обсуждение. Метаболические процессы под влиянием НИЛИ сопровождаются интенсификацией микроциркуляции в длиннейшей мышце спины поросят. Плотность капилляров в длиннейшей мышце спины увеличивается на 11,3 % ($P < 0,05$), показатель васкуляризации равняется 1,33 против 1,25 в контроле (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели васкуляризации длиннейшей мышцы спины поросят

Показатель	Поросята, опыт	Поросята, контроль
<i>Длиннейшая мышца спины</i>		
Плотность мышечных волокон, пуд. МВ	54,6 ± 3,47*	52,2 ± 3,42
Плотность капилляров, пуд. Кап.	72,8 ± 4,80*	65,4 ± 4,72
Показатель васкуляризации мышечных волокон, Кап./МВ	1,33	1,25

*Примечание – МВ – мышечные волокна; Кап. – капилляры; пуд. – единица площади; * $P < 0,05$*

Взаимоотношения (геометрия) между мышечными волокнами и капиллярами представлены на рисунке 1, где воспроизведена модель распределения всех имеющихся в мышце капилляров. Модель имеет следующие параметры в расчете на единицу площади поперечного сечения мышцы: число мышечных волокон – 28; число капилляров – 24, из них 45 % капилляров кровоснабжают 2 мышечных волокна; 55 % капилляров обслуживают 3 мышечных волокна; МВ/Кап. = 0,70; Кап./МВ = 1,84. Распределение функционирующих капилляров (они обозначены красными кружками) под влиянием НИЛИ более плотное, их количество достигает 21 капилляр против 12 капилляров в контрольной группе (рисунок 1).

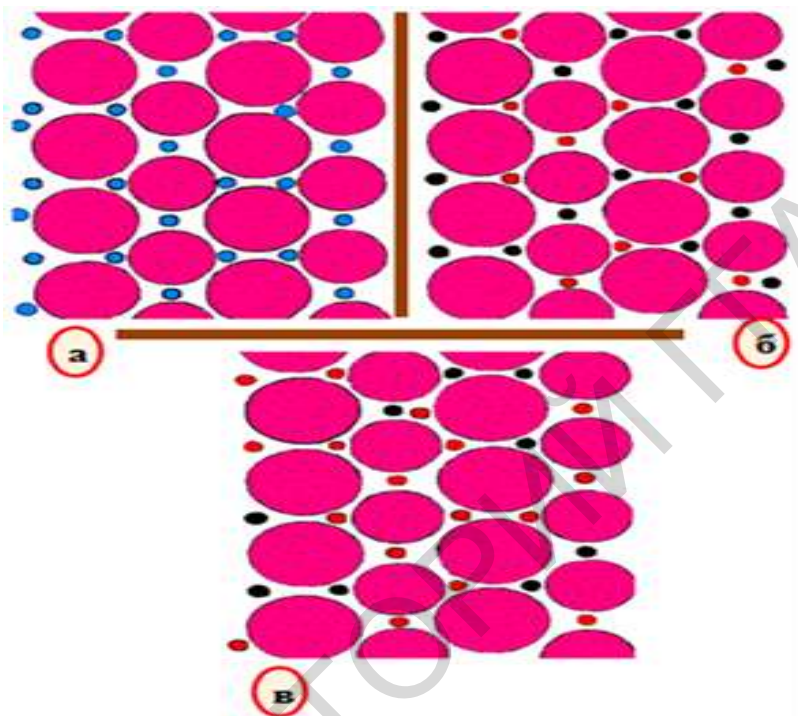
Под воздействием НИЛИ на первый план со стороны микроциркуляторного русла выступают признаки гемодинамической нагрузки, нарастающей капилляротрофической активности, что в итоге сказывается на физиологической деятельности мышц. Интенсификация регионального кровотока усиливает метаболическую активность эндотелиоцитов и стимулирует ангиогенез терминальных сосудов (рисунок 2), что способствует росту волокон скелетных мышц. Более активный миофибриллогенез и интенсификация регионального кровотока способствует росту скелетных мышц и соответственно живой массы животных (рисунок 3).

Таким образом, наблюдаемое усложнение конструкции микроциркуляторного русла длиннейшей мышцы спины пороят под воздействием НИЛИ происходит за счет увеличения количества микрососудов и формирования разветвленной капиллярной сети. Под влиянием НИЛИ активизируется микроциркуляция в мышечных волокнах.

Активизация транспортных процессов в эндотелии кровеносных сосудов мышечных волокон длиннейшей мышцы спины пороят на фоне использования НИЛИ сопровождается:

- 1) расширением эндоплазматической сети;
- 2) увеличением перинуклеарного пространства эндотелиоцитов;
- 3) увеличением количества пиноцитозных везикул;
- 4) появлением извилистости и инвагинаций в кариеолемме и цитолемме.

Повышение проницаемости сосудов происходит, по-видимому, за счет увеличения скорости эндотелиального транспорта и нарастания перичеллюлярной активности.



*а – все имеющиеся капилляры в мышце (синие кружки);
 б – функционирующие капилляры в мышце поросят контроль;
 в – функционирующие капилляры в мышце под влиянием НИЛИ.
 Функционирующие капилляры в мышце обозначены красными кружками. Большие кружки (схема поперечных волокон мышцы)*

Рисунок 1 – Геометрия распределения капилляров в длиннейшей мышце спины поросят (схема по: В. В. Малашко и др., 2021)

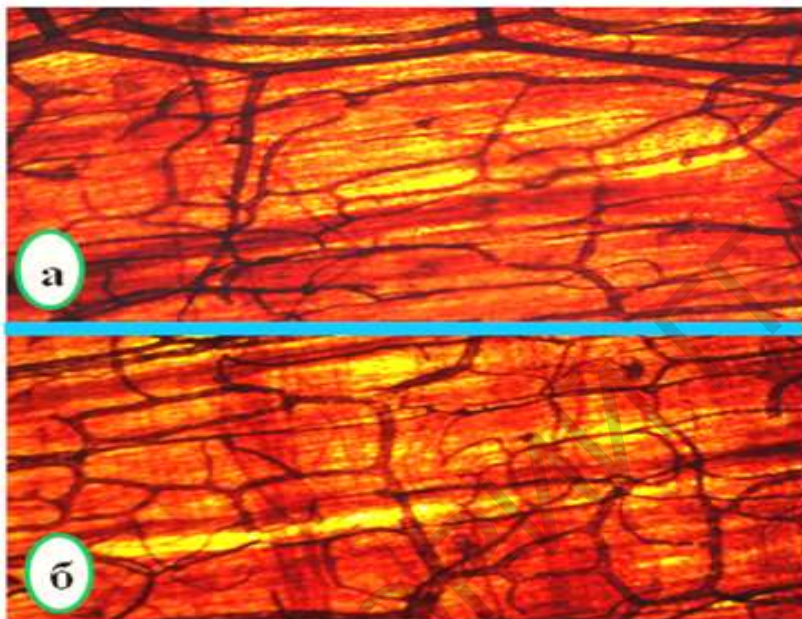


Рисунок 2 – Интенсивность кровоснабжения длиннейшей мышцы спины поросят в контроле (а) и под влиянием НИЛИ (б). Метод Бильшовского-Грос. Микрофото. Биоскан. Ув.: а, б х280

Обращает на себя внимание локализация и структура гликогена. Под влиянием НИЛИ гранулы гликогена крупные контрастные, которые в отличие от контроля наблюдаются во всех отделах волокон: вокруг митохондрий, липидных капель, между миофибриллами, под сарколеммой, вблизи каналов саркоплазматического ретикулума и особенно в области I – зон саркомеров (рисунок 3). Ультраструктурные сдвиги в длиннейшем мускуле спины сопровождаются следующими изменениями. Относительный объем митохондрий мышечных волокон длиннейшей мышцы спины у поросят опытной группы составляет $2,07 \pm 0,54\%$, в контрольной группе – $0,79 \pm 0,12\%$, количество профилей митохондрий на 10 мкм^2 среза превышает контрольные показатели в 2,3 раза ($P < 0,01$), относительный объем саркоплазматической сети достигает в опыте – $5,77 \pm 0,18\%$, в контроле – $3,83 \pm 0,41\%$ и количество гранул гликогена на единицу среза выше в 2,1 раза ($P < 0,01$) (таблица 2).

С учетом важности аминокислот в функциональной деятельности мышечной системы поросят проведен биохимический анализ их со-

держания в длиннейшей мышце спины поросят (таблица 3). Содержание гистидина имело тенденцию к увеличению на 5,7 % ($P < 0,05$) по сравнению с контролем. Важно отметить, что установлены достоверные различия в содержании лизина, где этот показатель выше на 19,7 % ($P < 0,05$) в сравнении с контролем. Аналогичная тенденция увеличения концентрации наблюдается и в отношении лейцина, его содержание в длиннейшей мышце спины поросят на 83,4 % ($P < 0,05$).

Таблица 2 – Морфометрические показатели ультраструктур длиннейшей мышцы спины поросят

Наименование ультраструктур	Поросята, контроль	Поросята, опыт
Длиннейшая мышца спины		
Относительный объем митохондрий, %	$0,79 \pm 0,12$	$2,07 \pm 0,54^*$
Количество профилей митохондрий на 10 мкм^2 среза	$1,46 \pm 0,40$	$3,29 \pm 0,66^{**}$
Относительный объем саркоплазматической сети, %	$3,83 \pm 0,41$	$5,77 \pm 0,18^*$
Количество гранул гликогена на 10 мкм^2 среза	$31,72 \pm 10,29$	$65,47 \pm 10,51^{**}$

Примечание – * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

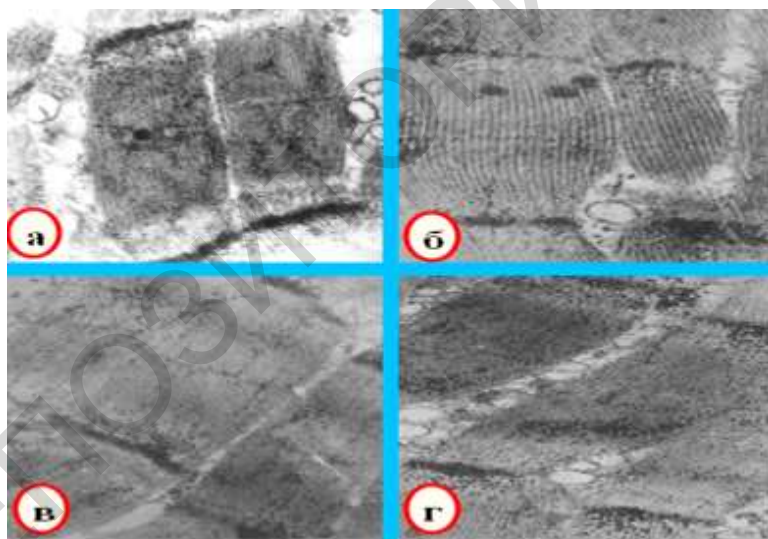


Рисунок 3 – Ультраструктурная организация мышечных волокон длиннейшей мышцы спины поросят под влиянием НИЛИ (б, г); б – гипертрофия миофибрилл; г – большие скопления гликогена; а, в – контроль. Электронограммы. Ув.: а, б, в, г х 20 000

В отношении изолейцина, метионина достоверных различий не обнаружено. Концентрация данных аминокислот у поросят обеих

групп – $86,08 \pm 16,11$ и $52,84 \pm 14,92$ нмоль/г ткани и $85,62 \pm 13,09$ и $49,17 \pm 14,90$ нмоль/г ткани соответственно. Содержание треонина превышает контрольный показатель в 2,3 раза ($P < 0,01$). Концентрация фенилаланина превышала содержание данной аминокислоты у поросят контрольной группы на 25,6 % ($P < 0,05$). Активность СДГ в длиннейшей мышце спины поросят превышает этот показатель в контроле на 45 % ($P < 0,01$).

Таблица 3 – Концентрация свободных аминокислот в длиннейшей мышце спины поросят, нмоль/г ткани

Аминокислоты	Длиннейшая мышца спины	
	поросята, опыт	поросята, контроль
Валин (Val)	$283,91 \pm 18,51$	$282,54 \pm 20,21$
Гистидин (His)	$125,57 \pm 18,06^*$	$118,82 \pm 17,46$
Лизин (Lys)	$84,98 \pm 5,98^*$	$70,97 \pm 4,32$
Лейцин (Leu)	$237,94 \pm 29,76^*$	$129,73 \pm 17,72$
Изолейцин (Ile)	$86,08 \pm 16,11$	$85,62 \pm 13,09$
Метионин (Met)	$52,84 \pm 14,92$	$49,17 \pm 14,90$
Триптофан (Trp)	$1593,12 \pm 175,16$	$1617,34 \pm 338,21$
Треонин (Thr)	$482,63 \pm 27,36^{**}$	$212,48 \pm 23,12$
Фенилаланин (Phe)	$119,78 \pm 12,43^*$	$95,34 \pm 10,78$
Пролин (Pro)	$735,28 \pm 46,10^{**}$	$1131,22 \pm 62,63$
Орнитин (Orn)	$117,72 \pm 10,04$	$133,14 \pm 19,64$

Примечание – В скобках международные символы аминокислот;

** $P < 0,05$; ** $P < 0,01$*

Развитие мышечной системы в постнатальном онтогенезе определяется рядом количественных показателей, такими как: диаметр мышечного волокна, количество ядер на единицу площади. С учетом отмеченного изучены количественные изменения указанных параметров в длиннейшей мышце спины поросят под воздействием НИЛИ.

Диаметр мышечных волокон длиннейшей мышцы спины у поросят в контроле равнялся $18,23 \pm 1,06$ мкм, в опытной группе – $15,73 \pm 0,93$ мкм ($P < 0,05$). Концентрация ядер в мышечных волокнах длиннейшей мышцы спины поросят под влиянием НИЛИ составляла $77 \pm 1,86$ шт./мм², что превышает контроль на 24,2 % ($P < 0,01$). Структурные изменения мышечных волокон под влиянием НИЛИ представлены на рисунке 4.

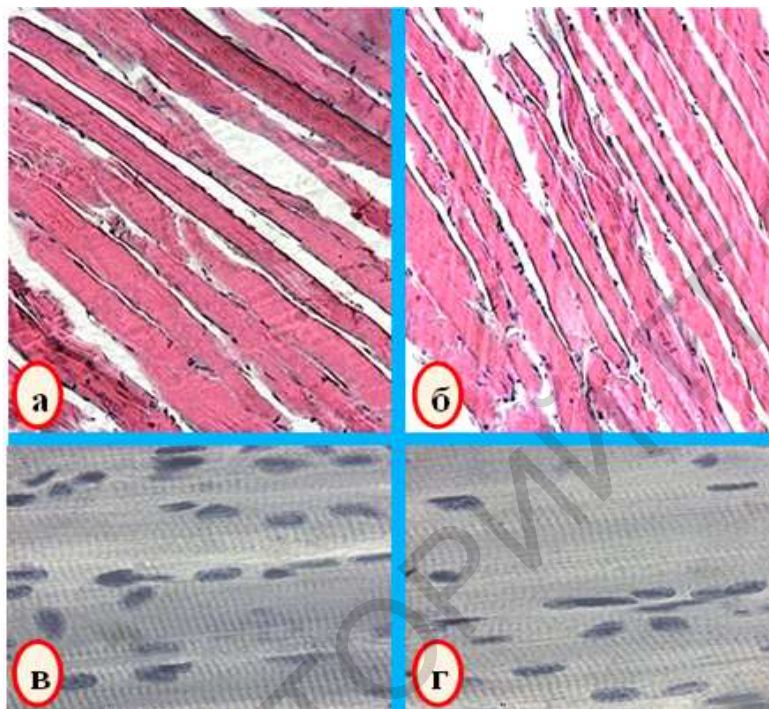


Рисунок 4 – Диаметр мышечных волокон длиннейшей мышцы спины под влиянием НИЛИ (а); б – контроль. Концентрация ядер в мышечных волокнах длиннейшей мышцы спины под влиянием НИЛИ (в); г – контроль, а, б – гематоксилин-эозин, в, г – железный гематоксилин. Микрофото. Биоскан. а, б – ув.: x280; в, г – ув.: x400

Известно, что с появлением внеутробного дыхания после рождения поросят возникает мышечный тонус. Однако в отличие от взрослых животных скелетная мускулатура у новорожденных поросят все время находится в состоянии активности, что требует высоких энергетических затрат. Это является неперенным условием высокого уровня анаболизма, обеспечивающего рост животного, становление теплорегуляторных функций. В этой связи применение НИЛИ является важным приемом в повышение энергетических потенциалов скелетной мускулатуры и организма в целом. Таким образом, физиологические отправления в послеутробный период развития поросят теснейшим образом связаны с особенностями развития скелетной мускулатуры.

Заключение. В современном свиноводстве, характеризующемся концентрацией производства свинины на крупных фермах и комплек-

сах с промышленной технологией, придается большое значение изучению биологических и физиологических особенностей животных. Основываясь на энергетическом правиле скелетных мышц, уровень физиологических отправлений различных органов и организма в целом в каждом возрастном периоде определяется текущими особенностями функционирования соматической мускулатуры, что определило приоритетность исследований в области физиологической науки.

Важным научным направлением в области физиологии и биологии свиней являются исследования по определению эффективности лазерного воздействия на динамику постнатального миогенеза скелетной мускулатуры. Концептуальным подходом в научном исследовании является то, что существует возможность использования лазерных технологий в регуляции развития функциональных систем и организма в целом в раннем постнатальном онтогенезе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулеш, И. В. Морфофункциональное состояние скелетных мышц поросят под воздействием низкоинтенсивного лазерного излучения / И. В. Кулеш, В. В. Малашко // Докл. НАН Беларуси. – 2008. – Т. 52, № 2. – С. 106-109.
2. Кулеш, И. В. Структурно-метаболические изменения в скелетных мышцах поросят при облучении низкоинтенсивным лазерным излучением / И. В. Кулеш // Ученые записки ВГАВМ. – 2007. – Т. 43, вып. 2. – С. 397-400.
3. Кулеш, И. В. Функциональная морфология мышечных волокон отдельных мышц поросят под влиянием низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) / И. В. Кулеш, В. В. Малашко // Вестник ГГУ им. Я. Купалы. – 2008. Сер. 2. – № 1(64). – С. 103-109.
4. Малашко, В. В. Морфологические изменения в скелетных мышцах поросят под влиянием низкоинтенсивного лазерного излучения / В. В. Малашко, В. Л. Ковалевич, И. В. Кулеш // Лазерная физика и оптические технологии: сб. науч. тр. VII междунар. конф.; Минск, 17-19 июня 2008 г.: в 3 т. / Ин-т физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси; редкол.: Н. С. Казак [и др.]. – Минск, 2008. – Т. 2. – С. 389-392.
5. Малашко, В. В. Перспективы применения низкоинтенсивного лазерного излучения в ветеринарной медицине и зоотехнии / В. В. Малашко, И. В. Кулеш, Д. В. Малашко // Лазерная физика и оптические технологии: сб. науч. тр. VI междунар. конф.; Гродно, 25-29 сентября 2006 г.; в 2 ч. / Ин-т физики им. Б. С. Степанова НАН Беларуси; редкол.: Н. С. Казак [и др.]. – Гродно, 2006. – Ч. 2. – С. 228-230.
6. Низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) в практике ветеринарной медицины / В. В. Малашко [и др.] // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. науч. тр., посвящ. 75-летию зооинженерного фак. БГСХА: в 2 ч. / Белорус. гос. с-х. акад.; редкол.: А. В. Соляник [и др.]. – Горки, 2005. – Вып. 8, ч. 2. – С. 48-50.
7. Структурно-функциональные аспекты лазерного воздействия и активатора метаболизма катозала на организм животных / В. В. Малашко [и др.] // Научные проблемы производства продукции животноводства и улучшения её качества: сб. науч. тр. / БГСХА: редкол.: Л. Н. Гамко [и др.]. – Брянск, 2007. – С. 450-455.
8. Улащик, В. С. Современные тенденции и перспективы развития лазерной терапии / В. С. Улащик // Лазеры в медицине: сб. науч. тр. – Минск, 2002. – С. 6-5.
9. Mito, K. Photodynamic efficiency of macrophage activity in a photosensitizer, lumin with near -IR laserlight for photoimmunotherapy of cancer / K. Mito // Front. Med. Biol. Eng. – 1996. – Vol. 7, № 2. – P. 81-92.

10. Nachlas, M. M. Cytochemical demonstration of succinic dehydrogenase by the use of a new p-nitrophenylsulstituted ditetrasole / M. M. Nachlas, K. C. Tsou, De Souza // J. Histochem. Cytochem. – 1957. – Vol. 5, № 4. – P. 420-436.
11. Wroblewski, R. Fine structure of single fibres of human skeletal muscle / R. Wroblewski, E. Yansson // Cell Tissul. Res. – 1975. – Vol. 161, № 4. – P. 471-476.
12. Tomanek, R. I. Ultrastructural differentiation of skeletal muscle fibres and their diversity / R. I. Tomanek // J. Ultrastruct. Res. – 1976. – Vol. 55. – P. 212-227.

УДК 619:616.33/34 – 085:636.2:611.083

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ РЕОРГАНИЗАЦИЯ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО РУСЛА ТОНКОГО КИШЕЧНИКА ТЕЛЯТ В ПРОЦЕССЕ ДЕГИДРАТАЦИИ

**В. В. Малашко¹, Г. А. Тумилович¹, А. М. Ламан¹, Д. В. Малашко¹,
В. Л. Ковалевич¹, Дм. В. Малашко², Е. Л. Микулич²,
С. Н. Лавушева², В. И. Бородулина²**

¹ – УО «Гродненский государственный аграрный университет»
г. Гродно, Республика Беларусь (Республика Беларусь, 230008,
г. Гродно, ул. Терешковой, 28; e-mail: ggau@ggau.by);

² – УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»
г. Горки, Республика Беларусь (Республика Беларусь, 213410, г. Горки,
ул. Мичурина, 10)

Ключевые слова: атрофия, ворсинки, гипоксия, дегидратация, иммунология, капилляры, микроциркуляция, морфология, органеллы, телята, тонкий кишечник, ультраструктура.

Аннотация. При дегидратации организма телят микроциркуляторные изменения в тонком кишечнике характеризуются неравномерностью распределения сосудов, повышенной извитостью, деформацией сосудистых сетей, меньшим количеством функционирующих капилляров на единицу площади. В условиях дегидратации количество тучных клеток в состоянии дегрануляции возрастает на 14-22 % по сравнению с нормой. В энтероцитах тощей кишки происходит расширение цистерн и канальцев эндоплазматической сети, уменьшение протяженности профилей аппарата Гольджи, появляются органеллы лентовидной формы, набухание митохондрий и снижение в количества рибосом.