

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

**В. В. Малашко<sup>1</sup>, И. В. Кулеш<sup>1</sup>, А. М. Ламан<sup>1</sup>, Д. В. Малашко<sup>1</sup>,  
Д.-Л. Шенгаут<sup>1</sup>, О. Н. Воронис<sup>1</sup>, Дм. В. Малашко<sup>2</sup>, Я. Шенгаут<sup>3</sup>**

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

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

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

<sup>2</sup> – УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

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

<sup>3</sup> – 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./мм<sup>2</sup>, 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. Malashko<sup>1</sup>, I. Kulech<sup>1</sup>, A. Laman<sup>1</sup>, D. Malashko<sup>1</sup>, D.-L. Šengaut<sup>1</sup>, O. Voronis<sup>1</sup>, Dm. Malashko<sup>2</sup>, J. Šengaut<sup>3</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> – EI «Belarusian agricultural academy»

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

<sup>3</sup> – 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/mm<sup>2</sup>, 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/см<sup>2</sup>), 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  $\beta_2$ -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  $40 \pm 10$  мТл. Мощность лазерного излучения для красного спектра на выходе излучателя составляла в ходе опытов  $15 \pm 2$  мВт и плотность мощности светового потока –  $120-140$  Вт/см<sup>2</sup>. 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 рН 7,2-7,4 и фиксировали при t +4 °С.

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

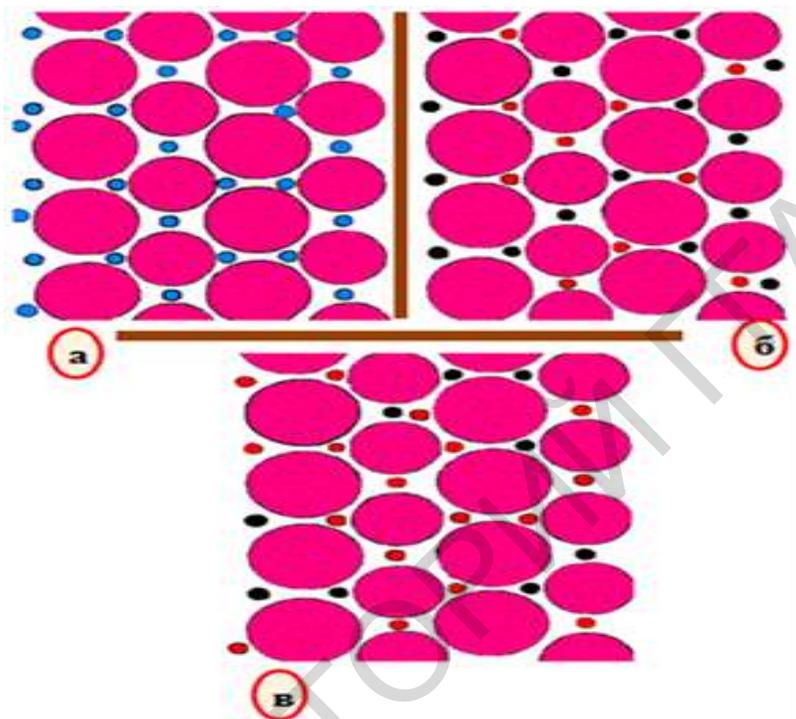
Под воздействием НИЛИ на первый план со стороны микроциркуляторного русла выступают признаки гемодинамической нагрузки, нарастающей капилляротрофической активности, что в итоге сказывается на физиологической деятельности мышц. Интенсификация регионального кровотока усиливает метаболическую активность 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)

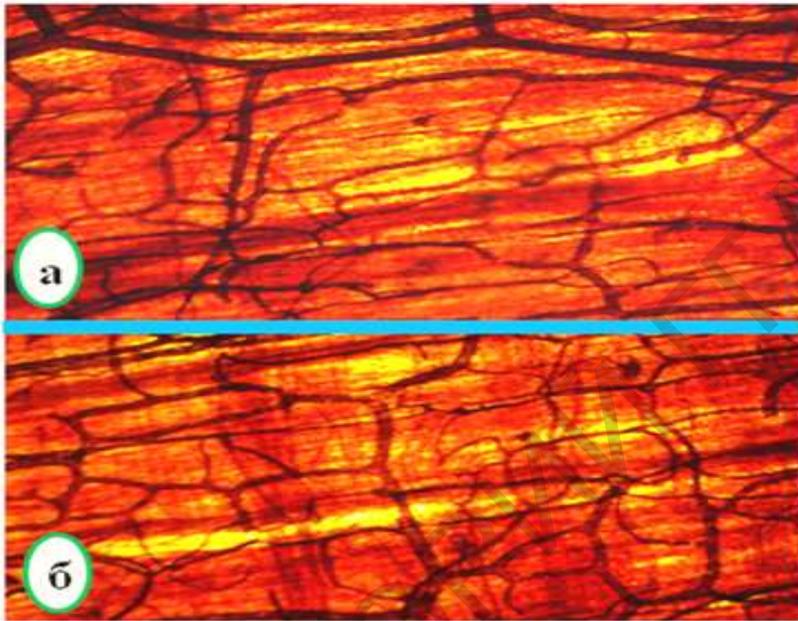


Рисунок 2 – Интенсивность кровоснабжения длиннейшей мышцы спины поросят в контроле (а) и под влиянием НИЛИ (б). Метод Бильшовского-Грос. Микрофото. Биоскан. Ув.: а, б х280

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  $10 \text{ мкм}^2$  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 $10 \text{ мкм}^2$ 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 $10 \text{ мкм}^2$ среза	$31,72 \pm 10,29$	$65,47 \pm 10,51^{**}$

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

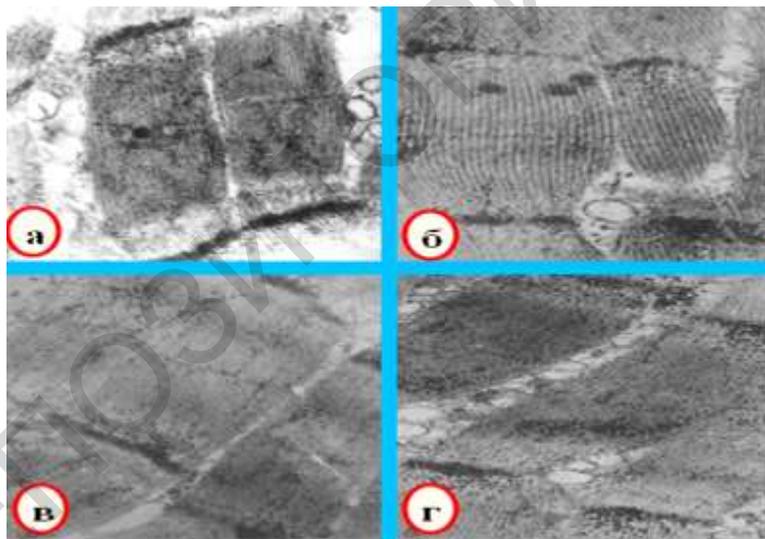


Рисунок 3 – Ультраструктурная организация мышечных волокон длиннейшей мышцы спины поросят под влиянием НИЛИ (б, г); б – гипертрофия миофибрилл; г – большие скопления гликогена; а, в – контроль. Электронограммы. Ув.: а, б, в, г х 20 000

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./мм<sup>2</sup>, что превышает контроль на 24,2 % ( $P < 0,01$ ). Структурные изменения мышечных волокон под влиянием НИЛИ представлены на рисунке 4.

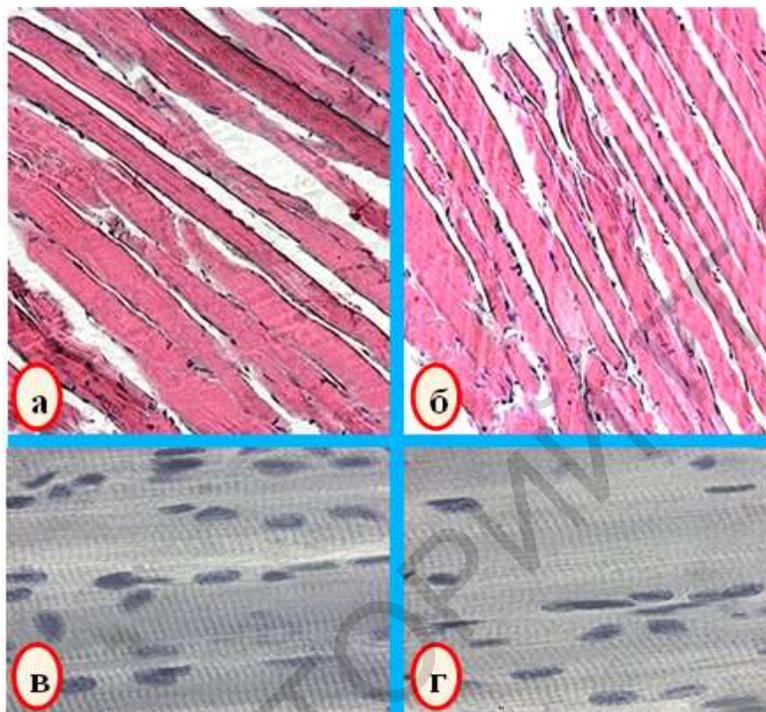


Рисунок 4 – Диаметр мышечных волокон длиннейшей мышцы спины под влиянием НИЛИ (а); б – контроль. Концентрация ядер в мышечных волокнах длиннейшей мышцы спины под влиянием НИЛИ (в); г – контроль, а, б – гематоксилин-эозин, в, г – железный гематоксилин. Микрофото. Биоскан. а, б – ув.: x280; в, г – ув.: 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. Малашко<sup>1</sup>, Г. А. Тумилович<sup>1</sup>, А. М. Ламан<sup>1</sup>, Д. В. Малашко<sup>1</sup>,  
В. Л. Ковалевич<sup>1</sup>, Дм. В. Малашко<sup>2</sup>, Е. Л. Микулч<sup>2</sup>,  
С. Н. Лавушева<sup>2</sup>, В. И. Бородулина<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@ggau.by);

<sup>2</sup> – 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.