

УДК 636.5.082:611.018

DOI 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2026.3.27-41

МЫШЕЧНАЯ МИОПАТИЯ У БРОЙЛЕРОВ: ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ, ГИСТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ

Поливанова К.С., Волкова Н.А.

ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, Подольск -Дубровицы Московской обл.

В статье представлен анализ исторических предпосылок возникновения и современных данных о миопатиях грудных и бедренных мышц бройлеров — «белой полосатости» (WS), «деревянной грудки» (WB) и «мяса-спагетти» (SM). Показано, что интенсивная селекция на высокую скорость роста и увеличение массы грудных мышц, начавшаяся с проекта «Цыплёнок будущего» (1945 г.), привела к беспрецедентному росту продуктивности: за 50 лет живая масса бройлеров в 42 дня увеличивалась на 25–50 г ежегодно, а конверсия корма улучшилась на 2–3 пункта в год. К 2012–2014 годам селекционный успех обернулся массовым распространением миопатий, поражающих до 79–80% поголовья коммерческих кроссов. На основе обобщения литературных данных детально охарактеризованы гистологические и морфометрические изменения при различных формах миопатии: увеличение площади поперечного сечения мышечных волокон (CSA), фиброз, липидоз, воспалительная инфильтрация, а также изменение химического состава мяса. С учётом высокой зависимости российского птицеводства от импортного племенного материала, обоснована необходимость включения в селекционные программы генетических маркеров гистологических и морфометрических характеристик, что позволит вести отбор на устойчивость к миопатиям без снижения продуктивности.

Ключевые слова: бройлер, миопатии, «деревянная грудка», «белая полосатость», «мясо-спагетти», фиброз, качество мяса, селекция.

Проблемы биологии продуктивных животных, 2026, 3:27-42

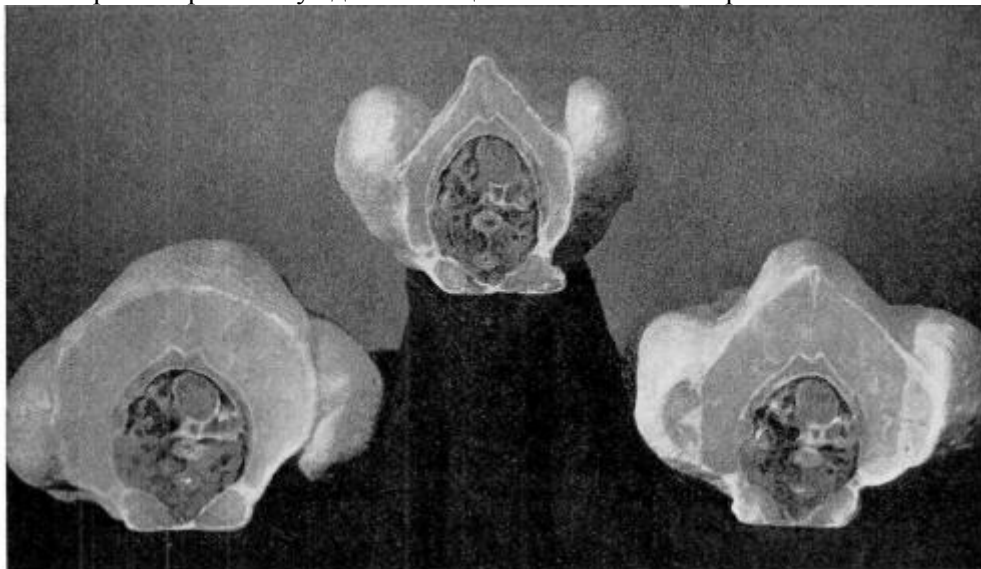
Введение

Современное промышленное птицеводство – это уникальный феномен в истории сельского хозяйства: ни одна другая отрасль животноводства не демонстрировала столь стремительного роста продуктивности за последние сто лет. Птицеводство прошло длинный путь от приусадебного содержания «двойного назначения» к узкоспециализированному содержанию и высокотехнологичному производству, обеспечивающему все человечество доступным белком.

Исторически птицеводство как отрасль животноводства зародилось на основе яичной подотрасли, где основой селекционной стратегией было увеличение количества яиц и их массы, а также повышение жизнеспособности поголовья. И лишь в середине XX века началась осмысленная целенаправленная селекция на скорость роста и увеличение живой массы. Именно тогда сложились уникальные политические, экономические и технологические аспекты, которые способствовали быстрому росту мясной подотрасли птицеводства (Siegel, 2023).

Одним из ключевых катализаторов подотрасли является проект «The Chicken of Tomorrow» – Цыплёнок будущего. Именно его считают началом развития мясного птицеводства. Проект был запущен в США в 1945 году. Главным спонсором и организатором выступила крупнейшая сеть розничных магазинов A&P совместно с Министерством сельского хозяйства США. Целью проекта было найти фермера или селекционера, способного вывести птицу, которая будет расти быстрее, иметь более широкую грудку и мясистые ноги. В рамках данного

проекта были сделаны восковые формы в реальную величину для демонстрации успехов и целей проектов, фото которых широко обсуждались общественностью в то время.



Модель в центре — типичный бройлер рыночного типа до участия в конкурсе. Поперечный разрез справа показывает, как увеличилось количество мяса за годы участия в конкурсах, а упитанная модель слева иллюстрирует цель селекционеров. Обратите внимание на округлую грудку и формирование килевой кости у «идеальной» птицы. (Рисунок заимствован *H. L. SHRADER* 1952 г.)

Рис. 1. Восковые модели «Цыпленок будущего» демонстрируют сравнение «до и после» в рамках общеотраслевой программы селекции.

Конкурс проводился по трехлетнему циклу, начиная от уровней штатов, заканчивая национальным финалом. Всего в финале 1951 года выращивалось 16 000 птиц от 40 участников по 400 голов от каждого (200 курочек и 200 петушков). Оценка проводилась по двум равнозначным шкалам: «экономичность производства» (яйценоскость родительского стада, процент выводимости, сохранность, конверсия корма, живая масса и оперенность) и «качество потрошенной тушки» (развитие грудных и бедренных мышц, состояние кожи и отсутствие пеньков). По итогам конкурса удалось не только вывести новые линии с показателями значительно превосходящие средний уровень по стране, но и привлечь к данному направлению большой научный и коммерческий интерес, что позже обернулось в череду экспериментов, открытий и разработок. По данным опроса участников программы, к 1950 году не менее 67% всех выращенных в США коммерческих бройлеров, что на тот год составляло около 400 миллионов из 616 миллионов, несли кровь улучшенных линий «Цыплёнка будущего» (Huang, Ahn, 2018).

Параллельно с различными опытами по скрещиванию птицы и выведению новых линий в Америке начали внедрять и апробировать новую на тот момент модель вертикальной интеграции в агробизнесе (Эмануэль, 2012). В отличие от горизонтальной интеграции, предполагающей слияние предприятий одного уровня, вертикальная интеграция соединяет разнородные, но технологически связанные этапы, такие как производство кормов, инкубацию, выращивание, убой, переработку и дистрибуцию. Такая модель позволяет компании контролировать качество на всех этапах, снижать зависимость от внешних поставщиков и перераспределять прибыль между звеньями цепочки для оптимизации налогообложения (Храмова, 2002). Начало внедрения данной модели совпало с конкурсом «Цыплёнка будущего», что послужило не только росту отрасли, но и быстрому распространению новой модели. Так сам термин «агропромышленный комплекс» был введен американским экономистом Джоном Дэвисом в 1955 году вместе с

описанием модели вертикальной интеграции. А уже к 1960 годам вертикальная интеграция стала доминирующей моделью в американском птицеводстве, так как давала преимущество на рынке и определяла рост компаний в условиях жесткой конкуренции. Позже данная модель получила широкое распространение и была перенята в большинстве стран, включая СССР (Godley, 2014).

Большое влияние на подотрасль также оказала вторая мировая война, ставшая катализатором взрывного роста направления. Так как после ее окончания в условиях кризиса и нехватки продовольствия была сделана ставка на более дешевых и быстро растущих животных. Это позволяло обеспечить население столь необходимым белком животного происхождения.

Селекция кур по показателям мясной продуктивности быстро набрала обороты и показала феноменальный рост для животноводческой отрасли в силу быстрого оборота стада и внедрения на тот момент самых передовых технологий в генетике, кормлении и ветеринарии.

Одно из первых исследований количественной оценки селекционного прогресса было проведено (Havenstein et al., 2003) еще в 2003 году и отразило феноменальный рост показателей продуктивности в новой на тот момент подотрасли животноводства. Для оценивания вклада генетики и питания в изменения скорости роста сравнивались два кросса, разница между которыми составляла более 40 лет селекционного отбора по массе тушки. В исследовании сравнивали бройлеров кросса Ross 308 с контрольной линией ACRBC (Athens-Canadian Randombred Control) 1957 г.

Птица продемонстрировала кардинальные различия. К 32-дневному возрасту бройлеры кросса Ross 308 достигали массы 1815 г. При конверсии корма 1,47, тогда как для особей линии ACRBC требовался 101 день для достижения аналогичной массы при конверсии корма 4,42. Чтобы оценить влияние питания на улучшение роста и продуктивности бройлеров, половину птиц из каждой группы посадили на рацион, который был типичным для 1957 года, а вторую половину – на современный, по меркам тех лет, рацион 2001 года. Современный рацион выдавался птице в виде стандартного, по нашему времени, гранулированного комбикорма, рацион 1957 года – в виде смеси.

К 42-дневному возрасту разница между кроссами значительно возрастала. Бройлеры кросса Ross 308 в данном возрасте достигали живой массы 2672 г при конверсии корма 1,62, в то время как вес цыплят контрольной группы (линия ACRBC) не превышал 539 г при конверсии корма 2,34. По итогам исследования можно сказать, что бройлеры стали расти в 4 – 5 раз быстрее, в 3 раза эффективнее стало использование кормов и в 2 раза ускорился срок достижения убойной массы. Эти данные стали одним из первых подтверждений исключительной эффективности прикладной генетики в трансформации птицеводства (Havenstein et al., 2003).

Таблица 1. Конверсия корма и живая масса бройлеров кроссов Ross 308 и ACRBC в возрасте 42 дней в зависимости от рациона кормления (Havenstein et al., 2003)

Группа	Живая масса, г	Конверсия корма
Ross 308 (рацион 2001 г)	2 672	1,62
Ross 308 (рацион 1957 г)	2 126	1,92
ACRBC (рацион 2001 г)	578	2,14
ACRBC (рацион 1957 г)	539	2,34

Следующим большим этапом в развитии мясного птицеводства стали работы Soller и Beckmann. Они одни из первых провели серию фундаментальных работ по генетике и в 1980-х годах предложили концепцию маркер-зависимой селекции. Концепция маркер-зависимой селекции была детально разработана для разных типов скрещиваний (Soller, Beckmann, 1983). В работе Soller, Beckmann (1983) были представлены математические модели для оценки эффектов QTL в F₂-популяциях, полученных от скрещивания инбредных линий. Эти модели позволяли разделить аддитивные и доминантные эффекты QTL, а также оценить расстояние между маркером и целевым локусом (Beckmann, Soller, 1983). Предложенный учеными подход включал несколько ключевых применений: идентификацию и картирование QTL, скрининг генетических ресурсов для выявления полезных аллелей, интрогрессию хромосомных сегментов от диких или ресурсных форм в коммерческие линии, а также улучшение гибридов за счет анализа комбинационной способности родительских форм. Работы Soller и Beckmann заложили теоретический фундамент для последующего развития маркер-зависимой селекции, которая стала важным инструментом современной генетики, в том числе способствовала непосредственному развитию мясного птицеводства (Lamont et al., 1996; Lebowitz et al., 1987).

Одной из первых работ, подтверждающих возможность маркер-зависимой селекции по массе тела в рамках подотрасли мясного птицеводства, стало исследование, опубликованное в 1996 году в журнале *Animal Genetics* (Lamont et al., 1996). В работе исследователи использовали ДНК-фингерпринтинг для идентификации генетических маркеров, сцепленных с QTL, отвечающими за рост и репродуктивные признаки у кур. Авторы проанализировали F₂-популяцию, полученную от скрещивания двух генетически различных линий кур яичного направления. В статье не раскрывалась породная принадлежность линий, но описывалось, что эти линии имели сходные фенотипические значения по оцениваемым количественным признакам, но были генетически различны. С помощью анализа ДНК-фингерпринтов было идентифицировано 20 маркерных фрагментов, ассоциированных с признаками роста, воспроизводства и качества яиц. Это исследование доказало принципиальную возможность использования молекулярных маркеров для отбора по продуктивным признакам у сельскохозяйственной птицы. Что в последствии запустило длинную цепочку доказательных работ по генетике и селекции, направленные на совершенствование методологий, а с ними и кроссов птицы (Lamont et al., 1996).

Практическое внедрение маркер-зависимой селекции в коммерческое производство началось после 2000 года. Как указывается в материалах компании Lohmann Breeders, широкое использование маркер-зависимой селекции для полигенных признаков, включая массу тела, было ограничено из-за небольшого эффекта большинства известных на тот момент QTL и из-за затруднений с их точной локализацией (Wolc, 2015). Прорывом в данном направлении стало появление высокоплотных SNP-чипов и разработка методологии геномной селекции, предложенной Meuwissen et al. в 2001 году, которая использует информацию о всех маркерах в геноме для предсказания геномной племенной ценности (Meuwissen et al., 2001). Именно геномная селекция стала тем инструментом, который позволил перейти от отбора по фенотипу к отбору по генотипу для комплексных полигенных признаков, таких как масса тела. Но несмотря на значительный научно-технический прорыв начала 2000 годов рутинное использование данной технологии, а также появление на рынках, в первую очередь рынках США, птиц, отобранных с помощью маркер-зависимой селекции, началось не раньше начала 2010-х годов по заявлениям ведущих коммерческих компаний сектора мясного птицеводства (Sitzenstock et al., 2013; Wolc et al., 2016; Wolc et al., 2015).

Согласно анализу Ravindran и Abdollahi (2017), вклад генетической селекции в достигнутый прогресс скорости роста оценивается в 85 – 90%, тогда как совершенствование кормления обеспечило лишь 10 – 15% прироста. За пять десятилетий живая масса бройлеров в 42 дня

увеличивалась на 25 – 50 г ежегодно, а конверсия корма улучшилась на 2 – 3 пункта в год (Ravindran, Abdollahi, 2017). Хронология изменения продуктивности отражена в таблице 2.

Таблица 2. Динамика продуктивности бройлеров по обобщённым литературным данным

Год	Возраст достижения живой массы 1,8 кг, дн	Коэффициент конверсии корма, кг корма / кг живой массы
1950	84	3,25
1957	101	4,42
1960	70	2,50
1980	51	2,10
2000	36	1,55
2001	32	1,47
2010	33	1,50

Триумф прикладной генетики начала 2000-х гг. обернулся проблемой современности. Начиная с 2012 – 2014 годов, в литературе стали массово описываться ранее неизвестные спонтанные миопатии — «деревянная грудка», «мясо спагетти» и «белая полосатость». Новые аномалии поражают до 79 – 80% поголовья коммерческих кроссов, причём 2,1% птиц демонстрируют тяжелую форму миопатий (Petracci et al., 2015; Bailey, Watson, 2015).

Длительная и интенсивная селекция последних 20 лет, направленная на скорость роста и основные показатели мясной продуктивности, привела птицеводство к парадоксальной ситуации, где попытка удовлетворить растущий спрос на доступное куриное мясо, привела к резкому снижению его качественных характеристик за счет множества дефектов микроструктуры мышц птицы.

В основе вкусовых характеристик мяса лежат морфометрические параметры волокон, типологический состав, архитектура соединительнотканного каркаса и метаболический профиль. Миопатии не представляют угрозы для здоровья потребителей, но существенно снижают качество мяса и вызывают экономические потери.

Понимание механизмов наследования строения микроструктуры мышц напрямую влияет на селекционные программы, направленные на улучшение качества продукции с использованием современных генетических и геномных технологий.

Цель исследования. Целью данного обзора являлось обобщение и систематизация современных данных о миопатиях грудных мышц быстрорастущих кроссов кур — «белой полосатости» (white striping, WS), «деревянной грудке» (wooden breast, WB) и «мясе-спагетти» (spaghetti meat, SM) — с акцентом на их гистологическую характеристику, морфометрические изменения и экономические последствия. В работе также прослеживаются исторические этапы развития мясного птицеводства — от проекта «Цыплёнок будущего» (1945 г.) до современных селекционных программ, анализируется вклад генетических и геномных технологий в улучшение продуктивных качеств птицы, а также оценивается связь между селекционным прогрессом и ростом частоты встречаемости миопатий.

Материалы и методы

В качестве материала для обзорной статьи были использованы научные публикации отечественных и зарубежных авторов, посвящённые истории развития мясного птицеводства, генетическим и геномным методам селекции, а также морфо - гистологическим изменениям мышечной ткани при миопатиях грудных мышц бройлеров. Поиск научных публикаций осуществлялся в открытых базах данных и библиотечных ресурсах: PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), Google Scholar (<https://scholar.google.com/>), eLIBRARY.RU (<https://elibrary.ru/>). Поиск производился по следующим ключевым словам и их комбинациям на русском и английском языках: бройлеры, миопатии, «деревянная грудка» (wooden breast, WB), «белая полосатость» (white striping, WS), «мясо спагетти» (spaghetti meat, SM), площадь поперечного сечения мышечных волокон (CSA), фиброз, липидоз, качество мяса, селекция, маркер-зависимая селекция (MAS), геномная селекция.

Результаты и их обсуждение

Миопатия – это широкий термин, обозначающий любое первичное, не воспалительное, не нейрогенное заболевание мышечной ткани, которое проявляется в дегенерации и структурных изменениях. Выделяют три основные миопатии – «белая полосатость» (White Striping, WS), «деревянная грудка» (Wooden Breast Myopathy, WB) и «мясо спагетти» (Spaghetti Meat, SM). Несмотря на накопленные данные, этиология миопатий до конца не изучена, на данный момент основными причинами считаются – гипоксия и окислительный стресс, возникающие из-за гипертрофического роста мышц и недостаточной васкуляризации (Jung et al., 2024).

Основой патогенетического механизма образования миопатий является интенсивный генетический отбор, приведший к значительному опережению роста грудной мышцы по сравнению с сердечно-сосудистой и костной системой. У птицы развивается гипоксия на фоне повышенной потребности в кислороде для гипертрофированных мышечных волокон. Но капиллярная сеть не успевает развиваться с той же скоростью, что приводит к относительному снижению плотности капилляров и ишемии. Гипоксический стресс запускает каскад патологических реакций, повреждающий мембраны мышечных клеток, развивающий воспаление и запускающий процессы аномальной регенерации.

«Белая полосатость» (*White Striping*) характеризуется появлением на поверхности грудного филе отчетливых белых полос и прожилок, идущих параллельно мышечным волокнам. Гистологически эта миопатия проявляется замещением мышечной ткани жировыми и соединительнотканными элементами. Это напрямую сказывается на химическом составе мяса. В пораженном мясе снижается содержание белка и повышается содержание жира, что ухудшает его вкусовые качества и сочность. При этом «белая полосатость» в ряде случаев воспринимается, в первую очередь, потребителями как вариант мраморности мяса по аналогии со свиной и говяжьей (Bordignon et al., 2022).

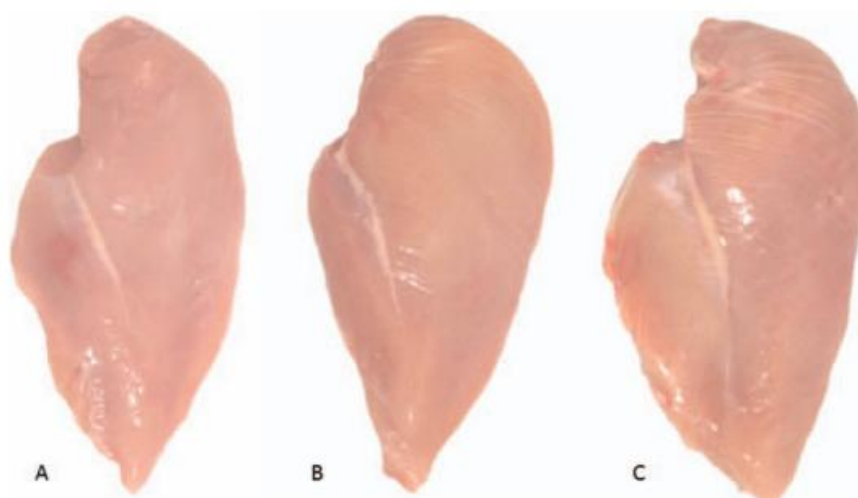


Рис. 2. Репрезентативные образцы филе куриной грудки с проявлением дефекта «Белая полосатость»: А - нормальная (*NORM*; без полос); В - с умеренной степенью проявления белых полос (*MOD*); С - с сильной степенью проявления белых полос (*SEV*) (Kuttappan et al., 2012).

Дефект «белая полосатость» выделяют на основе визуальной оценки интенсивности полос на три категории филе. Норма (*NORM*, normal) – отсутствие видимых белых полос. Умеренная форма (*MOD*, moderate) – характеризуется тонкими полосками (менее 1 мм), хорошо заметными на поверхности филе. Тяжелая форма (*SEV*, severe) – характеризуется белыми полосами (более 1 мм), покрывающими большую часть поверхности филе.

При гистологическом исследовании описанных Kuttappan et al. (2012), были проанализированы образцы краниальной области вентральной поверхности грудной мышцы (*pectoralis major*). На выборке из 60 бройлеров в возрасте 45 дней по 20 птиц на каждую форму дефекта. А также были проанализированы еще 18 птиц с взятием образцов с дорсальной поверхности филе, тендеров (*pectoralis minor*), бедренной мышцы (*iliotibialis*) и голени (*gastrocnemius*). Особенностью данного дефекта является одновременное наличие как острых, так и хронических изменений в рамках одного образца. Среди острых изменений чаще всего встречаются фолликулярная и вакуолярная дегенерация, лизис волокон, гиперэозинофилия с потерей поперечной исчерченности. Среди хронических изменений чаще всего встречаются фиброз, липидоз, интерстициальное воспаление с инфильтрацией лимфоцитами и макрофагами, очаговая регенерация в виде ядерных цепочек. Данные наблюдения могут свидетельствовать о постоянном, продолжающемся воздействии повреждающего фактора, а не о разовом событии.

Исследования подтверждают, что с усилением видимых белых полос мышечная ткань в значительной степени замещается соединительной и жировой тканью. Данное утверждение следует из количественной оценки гистологических изменений, где при дегенерации и некрозе средний балл повышался с 0,6 до 1,9 (*MOD*) и 2,3 (*SEV*). Фиброз прогрессировал с 0,4 балла в норме до 1,8 при умеренной и 2,3 при тяжелой степени. Наиболее выраженный рост отмечен для липидоза с 0,5 балла в группе без полос до 1,6 (*MOD*) и 2,4 (*SEV*) (Kuttappan et al., 2012).

Неравномерность распределений гистологических поражений внутри одной мышцы и между разными мышечными группами выражалась в следующих параметрах: вентральная поверхность филе страдает значительно сильнее дорсальной, при тяжелой степени белой полосатости средний балл дегенерации на вентральной стороне составил 2,83 против 1,67 на дорсальной. Также при сравнении различных мышц, пораженных «белой полосатостью» было выявлено, что белые гликолитические мышцы поражаются существенно сильнее, чем красные окислительные, а тендер занимает промежуточное положение.

Таким образом, основой данной миопатии являются хроническая гипоксия, которая нарушает кальциевый гомеостаз миоцитов, активирует кальций-зависимые протеазы и фосфолипазы, что вызывает дегенерацию волокон. При продолжительном повреждении регенерация оказывается неэффективной. В результате полипотентные стволовые клетки мышц (сателлитные клетки) переключают свою дифференцировку с миогенного на фиброгенный и адипогенный пути, что и приводит к фиброзу и липидозу, и вызывает характерные белые полосы (Kuttappan et al., 2013).

Исследование «белой полосатости» установило, что увеличение толщины грудных мышц является фактором риска развития данной патологии. При тяжелой степени «белой полосатости» наблюдается значительное увеличение содержания липидов в мышечной ткани по сравнению с нормой: если содержание липидов в нормальной мышце принято за базовый уровень 100 процентов, то при тяжелой форме «белой полосатости» оно выше на 27 процентов. Кроме того, при тяжелой степени «белой полосатости» наблюдается увеличение содержания общего коллагена в мышечной ткани на 29%, по сравнению с нормой. Прочность на сдвиг является прямым показателем жесткости мяса. При тяжелой форме «белой полосатости» данный показатель выше на 27% по сравнению с нормой, что объясняется повышенным содержанием коллагена и фиброзом соединительной ткани (Fortunato et al., 2026). Влагоудерживающая способность и потери при варке являются критическими показателями для переработки мяса, и при тяжелой степени «белой полосатости» потери при варке выше на 26%, по сравнению с нормой, что означает, что при тепловой обработке пораженное мясо теряет значительно больше влаги, снижая выход готового продукта и ухудшая сочность (Kuttappan et al., 2012).

Таким образом, на основании различных источников и анализов можно сделать однозначный вывод, что «белая полосатость» представляет собой хроническую дегенеративную миопатию с полифазным течением, а не вариант нормальной мраморности, наследственной мышечной дистрофией или изолированный алиментарный дефицит, несмотря на схожесть внешних проявлений (Hoving-Bolink et al., 2000; Richardson, Mead, 1999).

«Деревянная грудка» (Wooden Breast, WB) – это миопатия грудных мышц (*pectoralis major*), макроскопически характеризующаяся пальпируемой твердостью, вздутием, бледностью, наличием кровоизлияний и вязкого прозрачного экссудата, преимущественно в крапильной части мышцы. Этот дефект текстуры связан с более выраженным фиброзом и диффузным разрастанием соединительной ткани в толще мышцы, что делает мясо непригодным для потребления в виде цельного филе из-за его жесткости и сниженной способности удерживать влагу при приготовлении (Rajčić et al., 2024; Chakrabarti et al., 2007).

Исследования миопатии на тяжёлых кроссах Ross 308 и Cobb 500 показали прямую корреляцию между возрастом птицы и частотой встречаемости тяжелой формы WB. С увеличением возраста доля тяжёлых форм значительно возрастает: с 11,67% на 42-й день до 36,67% на 70-й день. При этом общая частота встречаемости остается стабильно высокой (> 73%) в периоды откорма 42, 60 и 70 дней, достигая максимума на 70-й день (83% для Ross, 90% для Cobb) (Wang et al., 2023).

Поражение распределено не равномерно по всей мышце. Передний отдел *M. pectoralis major* страдает сильнее, чем задний. Толщина переднего отдела у бройлеров с WB на 30% больше, чем у здоровых птиц, и более чем на 350% больше, чем толщина заднего отдела (Zhu et al., 2023; Clark, Velleman, 2017).



Рис.3 Репрезентативное сравнение филе куриной грудки с проявлением дефекта «Деревянная грудка» и контрольного образца: 1 - большая грудная мышца бройлера контрольного образца, макроскопически не имеет особенностей; 2 - большая грудная мышца бройлера, пораженная миопатией «деревянная грудка»; мышца вздутая, бледная, покрыта прозрачной вязкой жидкостью, на каудальном конце мышцы видна гребневидная выпуклость (стрелка); в нескольких местах расположены многочисленные петехии (по Rajčić et al., 2024).

При миопатии «деревянная грудка» выявлена дисрегуляция пролиферации и дифференцировки сателлитных клеток, которая проявляется на поздних стадиях роста. При этом у птиц с легкой стадией WB наблюдается попытка регенерации, а при переходе в тяжелую форму эти процессы истощаются (Ferreira et al., 2020).

При проведении гистоморфометрических изменений мышечных волокон было выявлено увеличение площади поперечного сечения волокон в филе с умеренной и тяжелой WB (3 359 и 2 973 μm^2) по сравнению с нормой (2 375 μm^2). Показатели среднего диаметра волокна при тяжелой WB составляют 49,00 μm против 43,08 μm в норме. Доля волокон диаметром 40 – 70 μm была выше при тяжелой WB – 61,80% против 54,12% в норме, тогда как доля мелких волокон (менее 20 – 40 μm) была ниже. Что свидетельствует о развитии гипертрофии волокон, сопровождающейся их дегенерацией и замещением соединительной тканью (Assuncao et al., 2022).

Исследования 2020 года показали, что на 25-й день относительная экспрессия коллагена не различалась между группами с разной степенью проявления «деревянной грудки». Однако к 43-му дню у птиц, пораженных WB, экспрессия коллагена была значимо выше, чем у здоровых птиц. Доля коллагена на поле зрения также была выше при тяжелой WB вне зависимости от возраста.

Средний диаметр коллагеновых фибрилл в эндомизии при тяжелой форме WB составляет 56,93 нм, тогда как в норме – 34,19 нм. Средний диаметр коллагеновых фибрилл в перимизии при тяжелой форме WB достигает 69,73 нм и 36,61 нм в норме (Rajčić et al., 2024).

Данные наблюдения подтвердили, что фиброз является структурным признаком WB, причём коллагеновые волокна диффузно утолщают перимизий и эндомизий, замещая мышечную ткань.

Количество и качество коллагена в грудке прямо влияет на показатели прочности на сдвиг. В исследованиях образцы с тяжелой формой «деревянной грудки» показывали результаты, значительно превышающие норму. Так образцы с тяжелой формой *WB* достигали 5,55 Ньютона, тогда как в норме этот показатель составляет 2,05 Ньютона, что означает увеличение более чем в 2,7 раза. Также отмечается значимое повышение потерь при варке мяса, пораженного *WB*. Так для нормальных грудок потери при варке составляют примерно 22,1%, а при миопатии потери достигают 25,6%. Потери при хранении также возрастают с 1,0% у нормального филе до 1,8% при оценке на 1-й день. В различных исследованиях упоминаются разные проценты, но большинство авторов сходятся в утверждении, что при тяжелой форме *WB* все показатели потерь влаги значимо увеличивались. Снижение водосвязывающей способности объясняется дегенерацией миофибриллярных белков и их замещением соединительной тканью (Rajčić et al., 2024; Trocino et al., 2015).

Таким образом, на основании различных источников миопатия «деревянная грудка» характеризуется полифазной миодегенерацией, некрозом волокон, инфильтрацией Т-лимфоцитами и макрофагами, замещением мышечной ткани соединительной тканью и адипоцитами, а также дисрегуляцией сателлитных клеток. Поражённое мясо отличается повышенными *pH*, потерями влаги, жёсткостью и изменёнными цветовыми характеристиками. Для производителей и переработчиков *WB* ведёт к прямым экономическим потерям из-за выбраковки или снижения сортности филе, ограничения возможности маринования и дальнейшей переработки.

«Мясо спагетти» (*Spaghetti Meat, SM*) – это миопатия грудных мышц, дефект которых связан с повышенной легкостью разделения и расслаивания мышечных волокон, придающий мясу вид вареных макарон или кисточки. Мясо становится очень мягким, рыхлым и распадается на волокна, что делает его непригодным в использовании в качестве цельного филе (Choi et al., 2024). Пораженные мышцы не становятся твердыми, наоборот, приобретают мягкую, кашицеобразную текстуру (Baldi et al., 2021). Миопатия *SM* в значительной степени нарушает структуру мяса при тяжелых формах, что делает невозможным проведение многих стандартных измерений и исследований, а также определение оценки степени тяжести сопутствующих миопатий (*WS* и *WB*).



Рис. 4 Репрезентативные изображения куриного филе с проявлением дефекта «Мясо спагетти»: 1) без миопатии (норма, 0 баллов); 2) с умеренной степенью «мяса-спагетти» (1 балл); 3) с тяжелой степенью «мяса-спагетти» (2 балла) (по Bošković Cabrol et al., 2023).

Для мяса-спагетти характерна дегенерация мышечных волокон, некроз, инфильтрация воспалительными клетками, отёк, а также прогрессирующее разрежение эндомизия и перимизия, которые в норме удерживают мышечные пучки. Большинство авторов приходят к мнению, что именно разрежение эндомизия и перимизия является отличительным признаком миопатии «мясо спагетти» и приводит к характерному разделению волокон. При данном типе миопатии

соединительная ткань становится рыхлой, незрелой и не способна выполнять свою механическую функцию (Tasoniero et al., 2020). В поврежденных филе наблюдаются значительные изменения химического состава, представленные в таблице 3.

Таблица 3. Влияние миопатии «мясо спагетти» на химический состав филе грудки бройлеров (Tasoniero et al., 2020)

Показатель	Normal (S)	Normal (D)	SM (S)	SM (D)
Влага, %	75,6	75,6	76,9	76,0
Белок, %	22,5	22,2	20,3	21,6
Жир, %	1,20	1,01	1,80	1,22
Зола, %	1,13	1,16	1,01	1,13
Общий коллаген, мг/г	5,10	4,42	5,15	4,31
Растворимый коллаген, мг/г	1,39	1,14	1,29	1,04

Примечание: SM (S) – поверхностный слой поражённого филе; SM (D) – глубокий слой поражённого филе. Normal (S) и Normal (D) – поверхностный и глубокий слои нормального филе.

Исследования показывают, что более значительное негативное влияние на химический состав грудных филе отмечается в поверхностном слое поражённых мышц. При этом глубокие слои филе, поражённые миопатией типа «мясо спагетти» по составу практически не отличались от нормальных. Снижение содержания белка авторы связывают с дегенерацией миофибриллярных белков и замещением мышечной ткани адипоцитами (Sanden et al., 2021).

Миопатия «мясо-спагетти» чаще всего встречается совместно с другими миопатиями грудных мышц. Но в различных исследованиях отмечается, что именно наличие умеренной и тяжелой формы миопатии «мясо спагетти» вместе с другими дефектами дает значимое повышение pH до 6,04 при норме в 5,71. Приводит к увеличению потерь при хранении до 1,62%, что вдвое превышает показатель нормальных филе (0,81%). Это позволяет предположить, что именно миопатия по типу «мясо спагетти» является ключевым фактором, ухудшающим влагоудержание. Также потери влаги при варке были повышены во всех группах с дефектом «мясо спагетти» по сравнению с другим сочетаниями миопатий разных типов (Baldi et al., 2021).

В исследованиях Wang et al. (2023) был проведен анализ компрессионной силы сырых филе. Он показал, что присутствие дефекта «мясо спагетти» в любой комбинации с другими типами миопатий приводило к снижению компрессионной силы по сравнению с филе, имеющими только наличие миопатий по типу WB и WS сопоставимой степени тяжести. Это указывает на то, что миопатия «мясо спагетти» делает филе мягче, а не жестче, в отличие от миопатии по типу «деревянная грудка» (Baldi et al., 2021).

В гистологических исследованиях Sanden et al. (2021) было выявлено, что в образцах с миопатией «мясо спагетти» перимизий имел более рыхлую структуру с большим количеством промежутков, чем в норме. При окраске пикросириусом в поляризованном свете при данной патологии мышечной ткани преобладали зелёные нити, свидетельствующие о тонкости и незрелости коллагеновых волокон, тогда как в норме должны преобладать красные нити (толстые зрелые волокна). Из чего можно сделать вывод, что миопатия «мясо спагетти» представляет собой соединительную ткань с незрелыми, тонкими, рыхло упакованными

коллагеновыми волокнами, которые не способны удерживать мышечные пучки, что и приводит к характерному «спагетти-эффекту» (Sanden et al., 2021).

Заключение

Несмотря на разные визуальные и текстурные проявления, микроскопическая картина всех трех миопатий схожа и включает дегенерацию и некроз мышечных волокон, воспалительную инфильтрацию, накопление жировой ткани и фиброз. Все виды миопатий снижают физико-химические показатели мяса, что прямо влияет на стоимость конечного продукта, его питательную ценность и привлекательность для потребителя. При этом стоит отметить высокую связь миопатий между собой.

По данным из заявлений с Международной научно-практической конференции ветеринарных врачей птицефабрик РФ и стран СНГ (от 2025 г.), в России доля отечественных кроссов в производстве мясных пород занимает не более 5%, что прямо указывает на высокую зависимость российского производства от импорта племенного материала и инкубационных яиц. А это прямо свидетельствует о том, что несмотря на невысокую частоту упоминаний в отечественной литературе и СМИ о наличии миопатий в бройлерном птицеводстве, данная проблема является критически важным направлением для селекции птицы в стране, так как несет за собой значимые экономические потери ввиду усложнения процесса переработки и высокой отбраковки филе, что делает вопрос корректировок селекционных программ и изучение динамики распространения и генетических механизмов появления миопатий крайне важным аспектом, как для конечного потребителя мяса, так и для производителя.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, тема ГЗ № FGGN-2026-0004.

Список литературы

1. Храмова. И. Вертикальная интеграция в продовольственном комплексе России // Научные труды Фонда «Институт экономической политики им. Е. Т. Гайдара». 2002. №47.
2. Эмануэль И. В. Развитие интегрированных структур холдингового типа в агропродовольственном комплексе // Промышленность: экономика, управление, технологии. 2012. №1 (40)
3. Assuncao A. S. A., Garcia R. G., Komiyama C. M., Martins R. A., Caldara F. R., Souza J. R., Burbarelli M. F. C., Cavichiolo F. Histomorphometry of muscle fibers in breast fillets of broilers with wooden breast myopathy // Acta Scientiae Veterinariae. – 2022. – Vol. 50. – Art. 1841. – DOI: 10.22456/1679-9216.120719.
4. Bailey R. A., Watson K. A., Bilgili S. F., Avendano S. The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler chicken lines // Poultry Science. – 2015. – Vol. 94, No. 12. – P. 2870–2879.
5. Baldi G., Soglia F., Petracci M. Spaghetti meat abnormality in broilers: current understanding and future research directions // Frontiers in Physiology. – 2021. – Vol. 12. – Art. 684497. – DOI: 10.3389/fphys.2021.684497.
6. Beckmann J. S., Soller M. Restriction fragment length polymorphism in genetic improvement: methodologies, mapping and costs // Theoretical and Applied Genetics. — 1983. — Vol. 67, No. 1. — P. 35–43.
7. Bordignon F., Xiccato G., Boskovic Cabrol M., Birolo M., Trocino A. Factors affecting breast myopathies in broiler chickens and quality of defective meat: a meta-analysis // Frontiers in Physiology. – 2022. – Vol. 13. – Art. 933235. – DOI: 10.3389/fphys.2022.933235.
8. Bošković Cabrol M., Petracci M., Trocino A. Wooden breast, white striping and spaghetti meat: chemical composition, technological quality, microbiological profile and sensory attributes of broiler breasts // Meat Technology. – 2023. – Vol. 64, No. 2. – P. 75–80. – DOI: 10.18485/meattech.2023.64.2.13.
9. Chakrabarti S., Chatterjee U., Sarkar S., Senapati A., Guha D., Mukherjee K. A study of morphometric and histopathological features of muscle biopsies from patients of myopathy // Indian Journal of Pathology and Microbiology. – 2007. – Vol. 50, No. 2. – P. 288–292. – PMID: 17883047..

10. Choi J., Shakeri M., Kim W. K., Kong B., Bowker B., Zhuang H. Comparative metabolomic analysis of spaghetti meat and wooden breast in broiler chickens: unveiling similarities and dissimilarities // *Frontiers in Physiology*. – 2024. – Vol. 15. – Art. 1456664. – DOI: 10.3389/fphys.2024.1456664.
11. Clark D. L., Velleman S. G. Spatial influence on breast muscle morphological structure, myofiber size, and gene expression associated with the wooden breast myopathy in broilers // *Poultry Science*. – 2017. – Vol. 95, No. 12. – P. 2930–2945. – DOI: 10.3382/ps/pew243.
12. Ferreira T. Z., Kindlein L., Flees J. J., Shortnacy L. K., Vieira S. L., Nascimento V. P., Meloche K. J., Starkey J. D. Characterization of Pectoralis major muscle satellite cell population heterogeneity, macrophage density, and collagen infiltration in broiler chickens affected by wooden breast // *Frontiers in Physiology*. – 2020. – Vol. 11. – Art. 529. – DOI: 10.3389/fphys.2020.00529.
13. Fortunato M., Tufarelli V., Colonna M. A., Tarricone S., Selvaggi M. White Striping Myopathy in Broilers: A Review of Genetic Factors and Non-Genetic Modulators // *Agriculture*. – 2026. – Vol. 16. – Art. 1020.
14. Godley A. The emergence of Agribusiness in Europe and the development of the Western European broiler chicken industry, 1945- 73 // *Agricultural History Review*. — 2014. — Vol. 62, No. 2. — ISSN 0002- 1490.
15. Havenstein G. B., Ferket P. R., Qureshi M. A. Growth, Livability, and Feed Conversion of 1957 Versus 2001 Broilers When Fed Representative 1957 and 2001 Broiler Diets // *Poultry Science*. — 2003. — Vol. 82, No. 10. — P. 1500–1508. — DOI: 10.1093/ps/82.10.1500.
16. Hoving-Bolink A. H., Kranen R. W., Klont R. E., Gerritsen C. L. M., de Greef K. H. Fibre area and capillary supply in broiler breast muscle in relation to productivity and ascites // *Meat Science*. – 2000. – Vol. 56, No. 4. – P. 397–402. – DOI: 10.1016/S0309-1740(00)00071-0.
17. Huang X., Ahn D. U. The Incidence of Muscle Abnormalities in Broiler Breast Meat – A Review // *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. – 2018. – Vol. 38, No. 5. – P. 835–850. – DOI: 10.5851/kosfa.2018.e2.
18. Jung U., Kim M., Voy B. H. Fibroadipogenic progenitors: a potential target for preventing breast muscle myopathies in broilers // *Frontiers in Physiology*. – 2024. – Vol. 15. – Art. 1458151. – DOI: 10.3389/fphys.2024.1458151.
19. Kuttappan V. A., Brewer V. B., Apple J. K., Waldroup P. W., Owens C. M. Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets // *Poultry Science*. – 2012. – Vol. 91. – P. 2677–2685. – DOI: 10.3382/ps.2012-02259.
20. Kuttappan V. A., Lee Y., Erf G. F., Meullenet J. F., Owens C. M. Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping // *Poultry Science*. – 2012. – Vol. 91. – P. 1240–1247.
21. Kuttappan V. A., Shivaprasad H. L., Shaw D. P., Valentine B. A., Hargis B. M., Clark F. D., McKee S. R., Owens C. M. Pathological changes associated with white striping in broiler breast muscles // *Poultry Science*. – 2013. – Vol. 92, No. 2. – P. 331–338. – DOI: 10.3382/ps.2012-02646.
22. Lamont S. J., Lakshmanan N., Plotsky Y., Kaiser M. G., Kuhn M., Arthur J. A., Beck N. J., O'Sullivan N. P. Genetic markers linked to quantitative traits in poultry // *Animal Genetics*. – 1996. – Vol. 27, No. 1. – P. 1–8. – DOI: 10.1111/j.1365-2052.1996.tb01170.x.
23. Lebowitz R. J., Soller M., Beckmann J. S. Trait-based analyses for the detection of linkage between marker loci and quantitative trait loci in crosses between inbred lines // *Theoretical and Applied Genetics*. — 1987. — Vol. 73, No. 4. — P. 556–562
24. Mahon M. Muscle abnormalities: Morphological aspects // *Poultry Meat Science (Poultry Science Symposium Series, Vol. 25) / R. I. Richardson, G. C. Mead, ed. – Wallingford, UK : CABI Publishing, 1999. – P. 19–64.*
25. Meuwissen T. H. E., Hayes B. J., Goddard M. E. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps // *Genetics*. – 2001. – Vol. 157, No. 4. – P. 1819–1829. – DOI: 10.1093/genetics/157.4.1819.
26. Petracci M., Mudalal S., Soglia F., Cavani C. Meat quality in fast-growing broiler chickens // *World's Poultry Science Journal*. – 2015. – Vol. 71, No. 2. – P. 363–374.
27. Rajčić A., Bošković Cabrol M., Glišić M., Čobanović N., Tomović V., Laudanović M., Nešić S. Pathomorphological and meat quality alterations connected with wooden breast in broiler chickens of different genotypes and slaughter ages // *Acta Veterinaria (Beograd)*. – 2024. – Vol. 74, No. 1. – P. 183–209. – DOI: 10.2478/acve-2024-0013.

28. Ravindran V., Abdollahi M. R. Advances and future directions in poultry feeding: an overview // Achieving sustainable production of poultry meat. Volume 2: Breeding and nutrition / Ed. by T. Applegate. – Burleigh Dodds Science Publishing, 2017. – P. 181–202.
29. Sanden K. W., Böcker U., Ofstad R., Pedersen M. E., Høst V., Afseth N. K., Rønning S. B., Pleshko N. Characterization of collagen structure in normal, wooden breast and spaghetti meat chicken fillets by FTIR microspectroscopy and histology // *Foods*. – 2021. – Vol. 10, No. 3. – Art. 548. – DOI: 10.3390/foods10030548.
30. Siegel P. B. Broiler genetics and the future outlook // *Frontiers in Physiology*. — 2023. — Vol. 14, Art. 1150620.
31. Sitzenstock F., Ytournal F. Efficiency of genomic selection in an established commercial layer breeding program // *Genetics Selection Evolution*. – 2013. – Vol. 45, No. 1. – Art. 29. – DOI: 10.1186/1297-9686-45-29.
32. Soller M., Beckmann J. S. Genetic polymorphism in varietal identification and genetic improvement // *Theoretical and Applied Genetics*. — 1983. — Vol. 67, No. 1. — P. 25–33.
33. Tasoniero G., Zhuang H., Gamble G. R., Bowker B. C. Effect of spaghetti meat abnormality on broiler chicken breast meat composition and technological quality // *Poultry Science*. – 2020. – Vol. 99, No. 3. – P. 1724–1733. – DOI: 10.1016/j.psj.2019.10.069.
34. Trocino A., Piccirillo A., Birolo M., Radaelli G., Bertotto D., Filiou E., Petracci M., Xiccato G. Effect of genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality and the occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens // *Poultry Science*. – 2015. – Vol. 94, No. 12. – P. 2996–3004. – DOI: 10.3382/ps/pev296.
35. Wang C., Che S., Susta L., Barbut S. Textural and physical properties of breast fillets with myopathies (wooden breast, white striping, spaghetti meat) in Canadian fast-growing broiler chickens // *Poultry Science*. – 2023. – Vol. 102, No. 2. – Art. 102309.
36. Wolc A., Arango J., Settar P., Fulton J. E., O'Sullivan N. P., Preisinger R., Habier D., Fernando R. L., Garrick D. J., Dekkers J. C. M. Response and inbreeding from a genomic selection experiment in layer chickens // *Genetics Selection Evolution*. – 2015. – Vol. 47, No. 1. – Art. 59. – DOI: 10.1186/s12711-015-0133-5.
37. Wolc A., Kranis A., Arango J., Settar P., Fulton J. E., O'Sullivan N. P., Avendano A., Watson K. A., Hickey J. M., de los Campos G., Fernando R. L., Garrick D. J., Dekkers J. C. M. Implementation of genomic selection in the poultry industry // *Animal Frontiers*. – 2016. – Vol. 6, No. 1. – P. 23–31.
38. Wolc A., Zhao H. H. Response and inbreeding from a genomic selection experiment in layer chickens // *Genetics Selection Evolution*. – 2015. – Vol. 47. – P. 1–12. – DOI: 10.1186/s12711-015-0133-5.
39. Zhu X., Puolanne E., Erbjerg P. Changes in texture, intramuscular connective tissue properties and collagen profiles in broiler wooden breast pectoral muscle during early storage // *Foods*. – 2023. – Vol. 12, No. 7. – Art. 1530. – DOI: 10.3390/foods12071530.

References (for publications in Russian)

1. Hramova. I. Vertikal'naya integraciya v prodovol'stvennom komplekse Rossii // *Nauchnye trudy Fonda «Institut ekonomicheskoy politiki im. E. T. Gajdara»*. 2002. №47.
2. Emanuel' I. V. Razvitie integrirovannyh struktur holdingovogo tipa v agroprodovol'stvennom komplekse // *Promyshlennost': ekonomika, upravlenie, tekhnologii*. 2012. №1 (40)

UDC: 636.5.082:611.018

**Muscle myopathy in broilers: historical background,
histological characteristics, and significance for breeding**

Polivanova K.S.

*Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Podolsk -Dubrovitsy,
Moscow Region*

ABSTRACT. This article presents an analysis of the historical prerequisites for the emergence and current data on myopathies of the pectoral and femoral muscles in broilers — White Striping (WS), Wooden Breast (WB), and Spaghetti Meat (SM). It is shown that intensive selection for high growth rates and increased breast muscle yield, initiated by the "Chicken of Tomorrow" project (1945), led to an unprecedented increase in productivity: over 50 years, the body weight of broilers at 42 days increased by 25–50 g annually, and feed conversion improved by 2–3 points per year. By 2012–2014, this breeding success resulted in the widespread occurrence of myopathies, affecting up to 79–80% of the flocks of commercial crosses. Based on a synthesis of literature data, the histological and morphometric changes characteristic of each myopathy are described in detail: increased cross-sectional area (CSA) of muscle fibers, fibrosis, lipidosis, inflammatory infiltration, as well as alterations in meat chemical composition. Given the high dependence of Russian poultry farming on imported breeding stock, the necessity of incorporating histological and morphometric markers into breeding programs is substantiated. This would enable selection for resistance to myopathies without compromising productivity.

Keywords: broiler, myopathies, "wooden breast", "white stripe", "spaghetti meat", fibrosis, meat quality, breeding.

Problemy biologii productivnykh zhivotnykh – Problems of Productive Animal Biology. 2026. 3: 27-41

Поступило в редакцию: 12.06.2026

Получено после доработки: 06.08.2026

Сведения об авторах:

Поливанова Кира Сергеевна; аспирант, ведущий специалист, тел. 89807255157;
e-mail: polivanova_kira@mail.ru, ORCID ID: 0009-0002-1810-2155;

Волкова Наталья Александровна; г.н.с., и.о. руководителя центра, тел. 8(4967)651143,
e-mail: natavolkova@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0001-7191-3550