

MIOLOGÍA VETERINARIA: AVANCES RECIENTES EN LA ESTRUCTURA, FUNCIÓN Y APLICACIONES DEL SISTEMA MUSCULAR EN ANIMALES

VETERINARY MYOLOGY: RECENT ADVANCES IN THE STRUCTURE, FUNCTION, AND APPLICATIONS OF THE MUSCULAR SYSTEM IN ANIMALS

Néstor Francisco Orlando Indacochea ^{1*}

¹ Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8208-5970>. Correo: nestor.orlando@unesum.edu.ec

Francisco Javier Orlando López ²

² Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2120-4331>. Correo: francisco.orlando@unesum.edu.ec

Yhony Alfredo Valverde Lucio ³

³ Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9792-9400>. Correo: yhonny.valverde@unesum.edu.ec

Richard Antonio Cornejo Cornejo ⁴

⁴ Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5450-8609>. Correo: richard.cornejo@unesum.edu.ec

Liliana Gabriela Andrade López ⁵

⁵ Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8029-2653>. Correo: andrade-liliana2062@unesum.edu.ec

* Autor para correspondencia: nestor.orlando@unesum.edu.ec

Resumen

La miología veterinaria ha superado su enfoque descriptivo al integrar anatomía comparada, histología, biomecánica, imagenología diagnóstica, electrofisiología y ciencias ómicas. Sin embargo, la evidencia

reciente permanece dispersa entre la clínica, la producción animal, la patología forense y la ingeniería de tejidos. El objetivo fue analizar los avances publicados entre enero de 2021 y junio de 2026 sobre la estructura, función y aplicaciones del músculo esquelético en animales, e identificar brechas metodológicas y de conocimiento que limitan su transferencia. Se realizó una revisión sistemática guiada por directrices internacionales de reporte en Scopus y PubMed/MEDLINE. De 74 registros identificados, 26 estudios cumplieron los criterios de inclusión. La síntesis cualitativa se organizó en nueve ejes: anatomía comparada, regulación molecular, evaluación funcional, imagenología, aplicaciones clínicas, medicina regenerativa, patología forense, producción animal y educación anatómica. Los hallazgos evidenciaron un campo traslacional y multidisciplinario, pero con heterogeneidad entre especies, protocolos y desenlaces. Se concluye que el progreso práctico requiere protocolos específicos por especie, valores de referencia validados, estudios longitudinales, validación externa de biomarcadores e integración de los hallazgos anatómicos y funcionales con los desenlaces clínicos o productivos.

Palabras clave: músculo esquelético; anatomía comparada; electromiografía; imagenología diagnóstica; transcriptómica

Abstract

Veterinary myology has moved beyond a purely descriptive approach by integrating comparative anatomy, histology, biomechanics, diagnostic imaging, electrophysiology, and omics sciences. However, recent evidence remains fragmented across clinical practice, animal production, forensic pathology, and tissue engineering. This review aimed to analyze advances published between January 2021 and June 2026 on the structure, function, and applications of skeletal muscle in animals and to identify methodological and knowledge gaps that limit translation. A systematic review guided by international reporting standards was conducted in Scopus and PubMed/MEDLINE. Of 74 records identified, 26 studies met the inclusion criteria. The qualitative synthesis was organized into nine themes: comparative anatomy, molecular regulation, functional assessment, diagnostic imaging, clinical applications, regenerative medicine, forensic pathology, animal production, and anatomy education. The findings depict a translational and multidisciplinary field, although marked heterogeneity persists across species, protocols, and outcomes. Further practical progress requires species-specific protocols, validated reference values, longitudinal studies, external biomarker validation, and closer integration of anatomical and functional findings with clinical or production-related outcomes.

Keywords: skeletal muscle; comparative anatomy; electromyography; diagnostic imaging; transcriptomics

Fecha de recibido: 09/05/2026

Fecha de aceptado: 15/07/2026

Fecha de publicado: 22/07/2026

Introducción

La miología constituye la rama de la anatomía orientada al estudio de la organización, arquitectura, relaciones topográficas y propiedades funcionales del tejido muscular (Friedrich, 2019). En el ámbito veterinario, su relevancia científica trasciende la descripción clásica de orígenes e inserciones; el músculo esquelético participa activamente en la locomoción, la estabilidad articular, la termogénesis, el metabolismo energético y la señalización intra e interespecífica (Feng et al., 2024). Dado que este tejido concentra alrededor del 40 % de la masa corporal en la mayoría de los mamíferos, sus alteraciones fisiopatológicas repercuten directamente en la capacidad de movimiento, el bienestar animal, el rendimiento productivo y el pronóstico de los pacientes (Hu et al., 2026).

La diversidad interespecífica representa uno de los desafíos centrales del campo. La forma, el volumen, la orientación fascicular, la distribución de los tipos de fibra y la relación topográfica con huesos, fascias y tendones responden a demandas locomotoras y ecológicas particulares de cada especie. Los hallazgos sobre la musculatura escapular del tapir, los músculos paravertebrales de lagomorfos y la musculatura facial de cánidos demuestran que las homologías anatómicas entre especies no garantizan una equivalencia funcional (MacLaren, 2024; Sexton et al., 2024; Taewcharoen et al., 2025). Por ello, cualquier extrapolación de resultados entre especies, razas o grupos funcionales debe realizarse con cautela metodológica.

En los últimos años, la miología veterinaria ha incorporado herramientas como la electromiografía, el análisis cinemático, la ecografía musculoesquelética, la tomografía computarizada, la resonancia magnética, los sensores portátiles y la espectroscopia. Al mismo tiempo, la transcriptómica, la epigenómica y los enfoques multiómicos han abierto vías para estudiar la diferenciación miogénica, la plasticidad de las fibras y los mecanismos moleculares que subyacen a la variación muscular. Estos avances han desplazado el énfasis desde la descripción morfológica estática hacia la cuantificación estructural y funcional en escenarios fisiológicos, patológicos y productivos (Dahl et al., 2023; Sun et al., 2026).

A pesar de este crecimiento, la literatura continúa fragmentada por especie y área de aplicación. Todavía resulta difícil determinar qué herramientas reúnen la validez, la reproducibilidad y la factibilidad necesarias para incorporarse de forma sistemática a la clínica, la rehabilitación, la producción o la docencia. El objetivo de este trabajo fue analizar críticamente los avances recientes en el conocimiento estructural, funcional y aplicado del músculo esquelético animal, identificar los hallazgos de mayor pertinencia veterinaria y señalar las brechas que obstaculizan la transferencia del conocimiento anatómico a la práctica.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión sistemática de la literatura siguiendo las directrices PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021). La búsqueda se efectuó en las bases de datos Scopus y PubMed/MEDLINE y se actualizó hasta el 18 de junio de 2026. También se revisaron las listas de referencias de los trabajos pertinentes y los portales oficiales de las revistas para verificar los metadatos, las fechas de publicación y los identificadores DOI.

Los términos de búsqueda, en inglés y español, incluyeron: “veterinary myology”, “skeletal muscle”, “muscle anatomy”, “comparative anatomy”, “electromyography”, “musculoskeletal ultrasound”, “computed tomography”, “magnetic resonance imaging”, “muscle transcriptomics”, “animal rehabilitation”, “muscle

pathology” y “meat quality”. Estos términos se combinaron mediante los operadores booleanos AND y OR, con ajustes específicos para cada plataforma.

La búsqueda inicial identificó 74 documentos. Tras eliminar ocho duplicados, se examinaron los títulos y resúmenes de 66 registros; 38 se excluyeron por no cumplir los criterios de elegibilidad. Se obtuvo el texto completo de 28 artículos y dos se excluyeron en esta fase por limitaciones del diseño o por insuficiente pertinencia veterinaria. La muestra final quedó constituida por 26 estudios incluidos en la síntesis cualitativa.

Los criterios de inclusión consideraron artículos originales y revisiones con evaluación por pares, publicados entre enero de 2021 y junio de 2026, en inglés o español, relacionados con la estructura, la función y las aplicaciones del sistema muscular en animales domésticos, especies de producción o modelos animales con aplicación veterinaria directa. Se excluyeron los estudios exclusivamente humanos, los documentos sin revisión por pares, los trabajos centrados únicamente en músculo liso o cardíaco sin conexión directa con la pregunta de investigación, las investigaciones sobre residuos en carne que no evaluaban la biología muscular y las publicaciones cuya información no permitía establecer una contribución estructural, funcional o aplicada.

La información se extrajo de forma cualitativa y se organizó en nueve ejes temáticos: anatomía comparada; histología y biología molecular; evaluación funcional; imagenología; aplicaciones clínicas y rehabilitación; medicina regenerativa; patología forense; producción y calidad cárnica; y educación veterinaria. Debido a la heterogeneidad metodológica y a la ausencia de desenlaces homogéneos, no se realizó un metaanálisis ni se aplicó una única herramienta de evaluación del riesgo de sesgo. La valoración crítica consideró la pertinencia veterinaria, la claridad del diseño, el tamaño muestral, la validez de las mediciones y las limitaciones reconocidas en cada estudio. Las fuentes metodológicas y de contextualización general no se contabilizaron dentro del corpus de 26 estudios sintetizados.

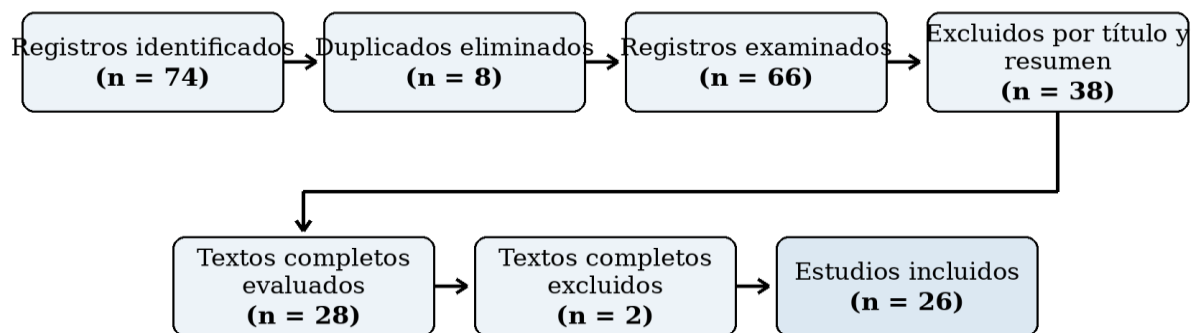


Figura 1. Proceso de identificación y selección de estudios según PRISMA 2020.

Resultados y discusión

La evidencia seleccionada se organizó en nueve ejes temáticos que integran los avances estructurales, funcionales y aplicados, así como las limitaciones recurrentes identificadas en la literatura (Tabla 1).

Tabla 1. Síntesis temática de avances recientes en miología veterinaria.

Eje	Estudios representativos	Contribución principal	Limitación recurrente
Anatomía comparada	MacLaren (2024); Sexton et al. (2024); Taewcharoen et al. (2025)	Relaciona la arquitectura muscular, la adaptación locomotora y la evolución en especies con demandas funcionales diferentes.	Muestras pequeñas y escasez de validación funcional in vivo.
Histología y ómicas	Niu et al. (2024); Osiak-Wicha et al. (2024); Hu et al. (2026); Sun et al. (2026)	Caracteriza tipos de fibra, redes de microARN, isoformas y trayectorias celulares del desarrollo muscular.	Predominio de asociaciones moleculares sin validación experimental o clínica.
Evaluación funcional	Dahl et al. (2023); Ribeiro et al. (2024); Schwartz et al. (2024); Cain et al. (2025)	Introduce la electromiografía y otras medidas no invasivas para cuantificar la activación y la recuperación muscular.	Protocolos, normalización de la señal y colocación de sensores no uniformes.
Imagenología	Bailey et al. (2026); Voakes et al. (2026); Wang et al. (2026)	Permite medir volumen, integridad, edema y daño muscular mediante ultrasonido, tomografía computarizada y resonancia magnética multimodal.	Variabilidad interobservador, costos y necesidad de sedación en algunas técnicas.
Clínica y rehabilitación	Llido et al. (2023); Shelton et al. (2024); Pye et al. (2025); Söder et al. (2024)	Vincula la anatomía, la genética y la condición muscular con el diagnóstico, el envejecimiento y el seguimiento terapéutico.	Falta de valores de referencia por raza, edad, sexo y estado funcional.
Medicina regenerativa	El-Husseiny et al. (2022); de Melo et al. (2024)	Explora biomateriales, células progenitoras y matrices descelularizadas para restaurar el tejido muscular.	Evidencia mayoritariamente preclínica y necesidad de validación multicéntrica.
Patología forense	Piegari et al. (2023); Yatsenko y Kazantsev (2024)	Caracteriza marcadores musculares post mortem para estimar el intervalo de muerte y apoyar el diagnóstico forense.	Sensibilidad a la especie, la temperatura, la causa de muerte y las condiciones de conservación.
Producción y calidad	Ayuti et al. (2025); Choi et al. (2024); Hu et al. (2026); Sun et al. (2026)	Relaciona la composición de las fibras, la regulación génica y las alteraciones musculares con el crecimiento y la calidad cárnica.	Riesgo de priorizar la productividad sin integrar suficientemente la salud y el bienestar.
Educación anatómica	Hadžiomerović et al. (2025)	Integra el escaneo 3D y la realidad virtual para representar músculos y cortes cárnicos.	Pocos estudios comparativos sobre aprendizaje, retención y transferencia clínica.

Nota. TC = tomografía computarizada; RM = resonancia magnética. La tabla presenta estudios representativos y no sustituye la evaluación individual de cada artículo.

Anatomía comparada y relación estructura-función

La anatomía comparada sigue siendo el pilar de la miología veterinaria, pero su enfoque actual integra preguntas funcionales y evolutivas. El análisis de la cintura escapular del tapir mostró particularidades en la

configuración muscular asociadas con la estabilización y el soporte del miembro torácico, mientras que el estudio de los músculos paravertebrales en conejos y liebres identificó diferencias vinculadas con patrones locomotores contrastantes (MacLaren, 2024; Taewcharoen et al., 2025). Estos trabajos refuerzan la idea de que la arquitectura muscular debe interpretarse en relación con la mecánica del movimiento y no como una enumeración aislada de estructuras.

La musculatura facial también refleja el efecto de la domesticación y de la comunicación entre especies. La comparación morfológica entre cánidos indica que algunos músculos asociados con expresiones faciales no son exclusivos del perro, aunque su organización pudo modificarse durante la convivencia prolongada con los seres humanos (Sexton et al., 2024). En la clínica, esta variabilidad tiene implicaciones para la exploración neurológica, la cirugía reconstructiva y la interpretación del dolor.

La composición histológica añade otro nivel de diversidad. En perros de trabajo y de compañía se han descrito diferencias en el área fascicular, el tamaño de las fibras y la expresión de isoformas de cadenas pesadas de miosina, lo que indica que la selección para tareas específicas y el nivel de actividad habitual modelan el fenotipo muscular (Osiak-Wicha et al., 2024). El tamaño limitado de las muestras y la heterogeneidad de edad, raza y condición física impiden, por ahora, establecer valores normativos. La prioridad es construir atlas morfométricos específicos por especie y raza, vinculados con medidas objetivas de rendimiento y salud.

Regulación molecular, transcriptómica y heterogeneidad celular

Los avances moleculares han transformado la comprensión del músculo como un tejido dinámico y plástico. En animales de producción, la regulación de genes estructurales como ACTA1 se ha relacionado con el desarrollo de las fibras, la velocidad de crecimiento y los atributos de calidad cárnica; sin embargo, gran parte de la evidencia disponible es de naturaleza asociativa y requiere confirmación experimental antes de trasladarse a decisiones de manejo (Ayuti et al., 2025). En yaks, la integración de datos transcriptómicos de ARN mensajero y microARN posibilitó la identificación de redes regulatorias y genes candidatos vinculados con el diámetro de las fibras y el desempeño productivo (Niu et al., 2024).

La secuenciación de lectura larga está revelando una complejidad antes subestimada. Un atlas transcriptómico del músculo porcino describió miles de isoformas, muchas de ellas no anotadas, y mostró que la regulación a nivel de isoforma puede aportar información que escapa a los análisis convencionales de expresión génica (Hu et al., 2026). El hallazgo es relevante tanto para la selección genética como para la identificación de isoformas vinculadas con miopatías o con la respuesta al ejercicio.

La transcriptómica de célula única añade otra capa de resolución al diferenciar poblaciones progenitoras, células mesenquimales y trayectorias de maduración. En el pato Pekín se construyó un atlas del desarrollo embrionario que propuso una transición de fibras lentas a rápidas y señaló factores de transcripción conservados entre aves y mamíferos (Sun et al., 2026). La principal contribución de estos enfoques es demostrar que el músculo no constituye una unidad homogénea. Su principal limitación es que la interpretación biológica depende de la validación histológica, espacial y funcional; por tanto, los resultados ómicos no deben interpretarse como equivalentes a un cambio clínicamente significativo.

Evaluación funcional y electrofisiología

La evaluación funcional es uno de los campos con mayor expansión reciente. Una revisión de alcance identificó 18 categorías de métodos no invasivos para valorar la función muscular canina, entre ellas el análisis de la marcha, las escalas clínicas, la dinamometría, la electromiografía, la ecografía y los sensores de actividad. Esta diversidad refleja innovación, pero también dificulta la comparación entre estudios y la elección de la herramienta adecuada para cada contexto clínico (Dahl et al., 2023).

La electromiografía de superficie permite registrar la activación muscular durante tareas dinámicas sin necesidad de electrodos intramusculares. En perros con enfermedad del disco intervertebral se han documentado patrones alterados en la musculatura espinal; en pacientes sometidos a hemilaminectomía se observaron asimetrías de activación entre miembros y diferencias respecto de controles sanos (Ribeiro et al., 2024; Schwartz et al., 2024). De forma complementaria, la evaluación de perros durante la marcha en pendiente mostró que la inclinación modifica la demanda de los músculos del miembro torácico, un dato útil para diseñar programas de rehabilitación progresiva (Cain et al., 2025).

A pesar de su potencial, la electromiografía veterinaria requiere avances sustanciales en estandarización. Variables como el grosor del pelaje, la preparación cutánea, la ubicación de los electrodos, la velocidad de marcha, la normalización de la amplitud y el filtrado de la señal pueden influir de manera decisiva en los resultados. Sin protocolos reproducibles ni rangos de referencia bien establecidos, existe el riesgo de interpretar como patológico lo que en realidad constituye variabilidad técnica o individual. Por ello, resulta más adecuado integrar la electromiografía con el examen clínico, la cinemática, los datos imagenológicos y los desenlaces funcionales, en lugar de utilizarla como una prueba diagnóstica aislada.

Imagenología cuantitativa y tecnologías no invasivas

La imagenología permitió pasar de la apreciación subjetiva de la atrofia a mediciones cuantitativas. Un estudio con tomografía computarizada mostró una confiabilidad intraobservador e interobservador excelente al estimar el volumen de los músculos supraespinoso e infraespinoso en perros asintomáticos, aunque la muestra fue pequeña y se limitó a una sola raza (Voakes et al., 2026). Este tipo de medición puede ser útil para el seguimiento posquirúrgico, la evaluación de la atrofia y la comparación bilateral, siempre que se definan protocolos de segmentación y rangos de referencia.

La ecografía musculoesquelética ofrece ventajas relacionadas con el costo, la portabilidad y la ausencia de radiación; no obstante, un estudio del tendón de inserción del iliopsoas mostró una buena repetibilidad dentro de un mismo observador y una baja concordancia entre observadores (Bailey et al., 2026). Este hallazgo evidencia que la utilidad clínica de una técnica no depende solo de su disponibilidad: también es necesario demostrar su validez, confiabilidad y sensibilidad al cambio.

Las estrategias multimodales amplían la caracterización del daño. En un modelo porcino de lesión por aplastamiento, la combinación de resonancia magnética T2-Dixon y ecografía bidimensional permitió seguir el edema, la necrosis y la progresión temporal del daño, con correlación con marcadores bioquímicos (Wang et al., 2026). De manera complementaria, la espectroscopia de infrarrojo cercano se ha explorado para estimar propiedades ópticas y parámetros hemodinámicos en el músculo de perros, caballos y ovinos, aunque la

evidencia continúa siendo preliminar (Frabasile et al., 2023). En conjunto, estas tecnologías apuntan a evaluaciones integradas de la estructura, la perfusión y la función.

Aplicaciones clínicas, envejecimiento y rehabilitación

La integración entre la anatomía y la genética ha mejorado la caracterización de las miopatías. En bulldogs franceses jóvenes se encontraron variantes en CLCN1 y PDE4C asociadas con hipertrofia muscular, disfagia y alteraciones de la marcha, lo que ilustra cómo el fenotipo muscular puede orientar tanto la investigación molecular como las decisiones diagnósticas (Shelton et al., 2024). Aun así, la presencia de una variante no sustituye la correlación clínica, electrodiagnóstica e histopatológica.

En animales geriátricos, la pérdida de masa muscular puede pasar inadvertida cuando solo se registra el peso corporal. Un seguimiento longitudinal de gatos demostró cambios no lineales con la edad en el peso, la condición corporal y la condición muscular, y subrayó la conveniencia de evaluar estos indicadores por separado (Pye et al., 2025). La condición muscular debería incorporarse de manera sistemática a la consulta geriátrica, sobre todo ante una enfermedad crónica, dolor, reducción de la actividad o pérdida de peso.

La rehabilitación también demanda medidas objetivas de respuesta. En perros sometidos a un programa de ejercicio estructurado se observaron cambios favorables en la condición corporal y en la circunferencia del muslo; no obstante, la ausencia de un grupo de control y de mediciones directas de masa magra restringe la atribución causal (Söder et al., 2024). Por otra parte, el análisis morfométrico del hombro canino mediante resonancia magnética sirvió de base para diseñar endoprótesis impresas en 3D destinadas a pacientes con osteosarcoma del húmero proximal, un ejemplo concreto del aporte de la anatomía cuantitativa a la cirugía personalizada (Llido et al., 2023). El futuro de la rehabilitación veterinaria dependerá de la combinación de escalas clínicas con métricas objetivas de actividad, volumen muscular, fuerza y activación, respaldadas por estudios longitudinales que establezcan el cambio mínimo clínicamente relevante.

Medicina regenerativa y reparación muscular

La medicina regenerativa busca restablecer la estructura y la función muscular mediante células progenitoras, factores bioactivos y biomateriales. Las aplicaciones veterinarias de células madre han mostrado resultados prometedores en modelos preclínicos, aunque la diversidad de fuentes celulares, protocolos de dosificación, vías de administración y criterios de desenlace dificulta la comparación sistemática de su eficacia (El-Husseiny et al., 2022). En 2024, las matrices descelularizadas derivadas de músculo bovino demostraron la preservación de componentes de la matriz extracelular y compatibilidad con la adhesión y proliferación de mioblastos fetales, lo que respalda su empleo potencial como andamios tridimensionales para la regeneración tisular (de Melo et al., 2024). El reto principal es demostrar que la regeneración histológica se traduce en una recuperación sostenida de la fuerza, la coordinación y la función, con controles rigurosos, seguimiento a largo plazo y evaluación de la seguridad.

Aplicaciones forenses

El músculo esquelético también constituye una fuente valiosa de información post mortem. Se ha propuesto que la degradación diferencial de proteínas musculares puede emplearse para estimar el intervalo post mortem en patología veterinaria forense, mientras que los cambios en la rigidez, la excitabilidad eléctrica y las propiedades mecánicas del tejido pueden contribuir a la datación de la muerte (Piegari et al., 2023; Yatsenko

& Kazantsev, 2024). Estos marcadores están influidos por la temperatura ambiental, el tamaño corporal, la causa del deceso, la especie y las condiciones de conservación; por ello, su aplicación debe fundamentarse en modelos validados localmente y complementarse con hallazgos tanatológicos, histológicos y bioquímicos. La estandarización de los procedimientos de muestreo y almacenamiento es indispensable para prevenir sobreinterpretaciones en contextos judiciales o de bienestar animal.

Producción animal, calidad cárnica y bienestar

En producción animal, la biología muscular se relaciona con el crecimiento, la eficiencia alimentaria, la composición de la canal y la calidad de la carne. Los estudios de transcriptómica y microARN en yaks, junto con los atlas de isoformas en cerdos, muestran que la regulación del desarrollo muscular es multinivel y no puede reducirse a un solo gen candidato (Niu et al., 2024; Hu et al., 2026). La transcriptómica de célula única en aves aporta una base para comprender cómo se establecen los tipos de fibra durante el desarrollo embrionario (Sun et al., 2026).

Las alteraciones musculares asociadas con el crecimiento rápido constituyen un problema productivo y de bienestar. El análisis metabolómico de las anomalías conocidas como “spaghetti meat” y “wooden breast” en pollos identificó similitudes y diferencias metabólicas relacionadas con degeneración, estrés y cambios en la calidad, lo que refuerza la necesidad de abordar estas alteraciones como trastornos biológicos y no solo como defectos comerciales (Choi et al., 2024). La contribución de la miología a la producción sostenible exige equilibrar el rendimiento, la salud animal y el bienestar. Orientar la selección exclusivamente hacia el incremento de la masa muscular puede aumentar la predisposición a miopatías, trastornos locomotores y alteraciones metabólicas. Los programas de mejoramiento genético deberían incorporar fenotipos funcionales, indicadores de dolor, capacidad locomotora y calidad tisular, además de las variables productivas convencionales.

Innovación en la enseñanza de la anatomía

La enseñanza anatómica ha experimentado una transformación notable mediante los modelos tridimensionales, la digitalización y la realidad virtual. La obtención de representaciones digitales de cortes cárnicos y estructuras musculares permite al estudiante rotar, segmentar y relacionar planos anatómicos sin depender exclusivamente de material cadavérico, lo que resulta valioso tanto para la formación anatómica como para la inspección de alimentos y la planificación quirúrgica (Hadžiomerović et al., 2025). No obstante, estas herramientas deben concebirse como complemento y no como sustituto de la práctica con especímenes. La disección, la palpación y la manipulación directa de tejidos proporcionan información táctil y espacial que los entornos virtuales actuales no reproducen por completo. La investigación educativa futura debería evaluar comparativamente los resultados de aprendizaje, la retención a largo plazo, la transferencia a la práctica clínica y la relación costo-beneficio.

Implicaciones y agenda de investigación

La evidencia revisada apunta a cuatro necesidades fundamentales. En primer lugar, los protocolos deben diseñarse de forma específica para cada especie, raza, grupo etario y nivel de actividad: una medición válida en perros adultos sanos de una raza determinada no es directamente transferible a otros grupos poblacionales. En segundo lugar, las técnicas deben acreditar no solo confiabilidad, sino también validez clínica y

sensibilidad al cambio terapéutico. En tercer lugar, los datos anatómicos, moleculares y funcionales deberían articularse en diseños longitudinales que permitan rastrear trayectorias individuales. Por último, los estudios en producción animal deben incorporar de manera explícita desenlaces relacionados con el bienestar.

Como agenda inmediata, se considera prioritaria la creación de atlas digitales multimodales y bancos de imágenes y tejidos con metadatos estandarizados; la validación multicéntrica de la ecografía, la electromiografía y la segmentación de imágenes de tomografía computarizada y resonancia magnética; el desarrollo de modelos predictivos transparentes; y la integración de la transcriptómica espacial con la biomecánica. También resulta indispensable reportar con mayor detalle el sexo, la edad, la raza, la condición corporal, el nivel de actividad, el tipo de anestesia o sedación, el lado anatómico, la velocidad de movimiento y los procedimientos de procesamiento de la señal, porque todas estas variables condicionan la reproducibilidad.

Fortalezas y limitaciones de la revisión

La principal fortaleza de esta revisión radica en la integración de evidencia anatómica, clínica, tecnológica y productiva actualizada hasta junio de 2026, junto con la aplicación de criterios PRISMA 2020 para favorecer la transparencia del proceso de selección. La organización temática permite identificar conexiones entre disciplinas que suelen publicarse de forma separada y contribuye a presentar la miología como un campo en evolución. Sin embargo, la heterogeneidad entre especies, técnicas y desenlaces impidió una síntesis cuantitativa mediante metaanálisis. Además, pueden existir sesgos de publicación e idioma, y no se aplicó una herramienta única de evaluación del riesgo de sesgo debido a la diversidad de diseños incluidos. La rápida incorporación de estudios ómicos e imagenológicos también podría modificar parte de las conclusiones. Por tanto, los hallazgos deben interpretarse como una síntesis del estado actual del conocimiento y no como una estimación definitiva del efecto de una intervención o de una prueba diagnóstica concreta.

Conclusiones

La miología veterinaria contemporánea ha superado el enfoque exclusivamente descriptivo y se ha consolidado como un campo que articula anatomía comparada, histología, biomecánica, electrofisiología, imagenología y biología molecular. Esta integración contribuye a explicar la variabilidad muscular entre especies y a establecer vínculos entre la arquitectura tisular y los procesos de locomoción, enfermedad, recuperación funcional y productividad.

Las tecnologías no invasivas y los análisis ómicos generan oportunidades de considerable alcance, aunque su utilidad clínica está condicionada al desarrollo de protocolos reproducibles, valores de referencia validados y evidencia de aplicabilidad en escenarios reales. En particular, la electromiografía, la ecografía musculoesquelética y la segmentación de imágenes de tomografía computarizada y resonancia magnética requieren estandarización antes de establecerse como herramientas diagnósticas o de seguimiento en la práctica habitual.

El progreso del campo requerirá estudios longitudinales, multicéntricos y comparativos que conecten los cambios anatómicos y moleculares con desenlaces funcionales medibles. En producción animal, esta perspectiva debe contemplar el bienestar y la salud muscular junto con la eficiencia y la calidad cárnica. En los ámbitos clínico y docente, la miología debe mantenerse como puente entre el conocimiento básico y la

toma de decisiones aplicada, reconociendo que el valor de cualquier avance técnico o molecular depende, en última instancia, de su capacidad para mejorar los resultados en los animales.

Referencias

- Ayuti, S. R., Shin, S., Kim, E. J., Lamid, M., Warsito, S. H., Al Arif, M. A., Lokapirnasari, W. P., Rosyada, Z. N. A., Khairullah, A. R., Akmal, M., Ritonga, M. Z., Rimayanti, R., & Delima, M. (2025). ACTA1 gene regulation in livestock: A multidimensional review on muscle development, meat quality, and genetic applications. *Veterinary World*, 18(8), 2520–2541. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.2520-2541>
- Bailey, K. E., Langenbach, A., Carr, B. J., & Marcellin-Little, D. J. (2026). The assessment of the tendon of insertion of the iliopsoas muscle in dogs using diagnostic ultrasound has good intraobserver consistency but lacks interobserver consistency. *Animals*, 16(5), 711. <https://doi.org/10.3390/ani16050711>
- Cain, R. M., Stanford, K., Drum, M., Richards, J., Levine, D., Millis, D., & Ursini, T. (2025). Forelimb muscle activity during level and progressive incline and decline walking in dogs and implications for rehabilitation. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1649009. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1649009>
- Choi, J., Shakeri, M., Kim, W. K., Kong, B., Bowker, B., & Zhuang, H. (2024). Comparative metabolomic analysis of spaghetti meat and wooden breast in broiler chickens: Unveiling similarities and dissimilarities. *Frontiers in Physiology*, 15, 1456664. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1456664>
- Dahl, K. H., Zebis, M. K., Vitger, A. D., Miles, J. E., & Alkjær, T. (2023). Non-invasive methods to assess muscle function in dogs: A scoping review. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1116854. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1116854>
- de Melo, L. F., Almeida, G. H. D. R., Azarias, F. R., Carreira, A. C. O., Astolfi-Ferreira, C., Ferreira, A. J. P., Pereira, E. S. B. M., Pomini, K. T., de Castro, M. V. M., & Rici, R. E. G. (2024). Decellularized bovine skeletal muscle scaffolds: Structural characterization and preliminary cytocompatibility evaluation. *Cells*, 13(8), 688. <https://doi.org/10.3390/cells13080688>
- El-Husseiny, H. M., Mady, E. A., Helal, M. A. Y., & Tanaka, R. (2022). The pivotal role of stem cells in veterinary regenerative medicine and tissue engineering. *Veterinary Sciences*, 9(11), 648. <https://doi.org/10.3390/vetsci9110648>
- Feng, L. T., Chen, Z. N., & Bian, H. (2024). Skeletal muscle: Molecular structure, myogenesis, biological functions, and diseases. *MedComm*, 5(7), e649. <https://doi.org/10.1002/mco2.649>
- Frabasile, L., Amendola, C., Buttafava, M., Chincari, M., Contini, D., Cozzi, B., De Zani, D., Guerri, G., Lacerenza, M., Minero, M., Petrizzi, L., Qiu, L., Rabbogliatti, V., Rossi, E., Spinelli, L., Straticò, P., Vignola, G., Zani, D. D., Dalla Costa, E., & Torricelli, A. (2023). Non-invasive estimation of in vivo optical properties and hemodynamic parameters of domestic animals: A preliminary study on horses, dogs, and sheep. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1243325. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1243325>

- Friedrich Oliver, Haug Michael, B Reischl, G Pröhl, Leon Kiriaev, Stewart I Head, Michael B Reid. (2019). Single muscle fibre biomechanics and biomechatronics – The challenges, the pitfalls and the future, The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, Volume 114, ISSN 1357-2725, <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2019.105563>.
- Hadžiomerović, N., Čaklovica, K., Dučić, N., Gjoni Gündemir, M., Vejzović, A., Fazlović, N., Avdić, R., Čaklovica, F., & Tandir, F. (2025). Anatomy of meat cuts: Integrating 3D scanning and virtual reality in veterinary education and training. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1680785. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1680785>
- Hu, J., Ding, Z., Yao, T., Zou, X., & Wu, Z. (2026). Full-length transcriptome atlas of porcine skeletal muscle reveals isoform-resolved genetic regulatory mechanisms for muscle growth. *BMC Genomics*, 27, 359. <https://doi.org/10.1186/s12864-026-12710-1>
- Llido, M., Le Bras, L. A., Brailovski, V., Séguin, B., Masseau, I., Petit, Y., & Lussier, B. (2023). Muscular morphometric study of the canine shoulder for the design of 3D-printed endoprostheses in dogs with osteosarcoma of the proximal humerus: A pilot cadaveric study by MRI. *American Journal of Veterinary Research*, 84(6), ajvr.22.12.0220. <https://doi.org/10.2460/ajvr.22.12.0220>
- MacLaren, J. A. (2024). Looking back over the shoulder: New insights on the unique scapular anatomy of the tapir (Perissodactyla: Tapiridae). *The Anatomical Record*, 307(6), 1783–1801. <https://doi.org/10.1002/ar.25352>
- Niu, Y., Guo, D., Wei, Y., Li, J., Bai, Y., Liu, Z., Jia, X., Chen, Z., Li, L., & Shi, B. (2024). Comparative transcriptome analysis of mRNA and miRNA during the development of longissimus dorsi muscle of Gannan yak and Tianzhu white yak. *Animals*, 14(15), 2278. <https://doi.org/10.3390/ani14152278>
- Osiak-Wicha, C., Kras, K., & Arciszewski, M. B. (2024). Comparative analysis of muscle fibers in selected muscles of working and companion dog breeds. *Animals*, 14(24), 3576. <https://doi.org/10.3390/ani14243576>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Piegari, G., De Pasquale, V., d'Aquino, I., De Biase, D., Caccia, G., Campobasso, C. P., Tafuri, S., Russo, V., & Paciello, O. (2023). Evaluation of muscle proteins for estimating the post-mortem interval in veterinary forensic pathology. *Animals*, 13(4), 563. <https://doi.org/10.3390/ani13040563>
- Pye, C. R., Dowgray, N. J., Eyre, K., Pinchbeck, G., Biourge, V., Moniot, D., Comerford, E., & German, A. J. (2025). Longitudinal changes in bodyweight, body condition, and muscle condition in ageing pet cats: Findings from the Cat Prospective Ageing and Welfare Study. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1654002. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1654002>

- Ribeiro, A. M., Pereira, D., Gaspar, G. B., dos Santos, M. C., Plácido da Silva, H., & Requicha, J. F. (2024). Surface electromyography: A pilot study in canine spinal muscles. *MethodsX*, 13, 103007. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.103007>
- Schwartz, J. A., Carrera-Justiz, S., & Repac, J. A. (2024). Surface electromyography of the vastus lateralis and gluteus medius muscles in post-operative T3–L3 hemilaminectomy dogs: A prospective controlled observational study. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1431843. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1431843>
- Sexton, C. L., Diogo, R., Subiaul, F., & Burrows, A. M. (2024). Raising an eye at facial muscle morphology in canids. *Biology*, 13(5), 290. <https://doi.org/10.3390/biology13050290>
- Shelton, G. D., Mickelson, J. R., Friedenberg, S. G., Cullen, J. N., Graham, K., Carpentier, M. C., Guo, L. T., & Minor, K. M. (2024). Variants in CLCN1 and PDE4C associated with muscle hypertrophy, dysphagia, and gait abnormalities in young French Bulldogs. *Animals*, 14(5), 722. <https://doi.org/10.3390/ani14050722>
- Söder, J., Roman, E., Berndtsson, J., Lindroth, K., & Bergh, A. (2024). Effects of a physical exercise programme on bodyweight, body condition score and chest, abdominal and thigh circumferences in dogs. *BMC Veterinary Research*, 20, 299. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04135-3>
- Sun, Y., Li, Z., Jie, Y., Yang, N., Yin, Z., & Hou, Z. (2026). Single-cell transcriptomics reveal mechanisms of skeletal muscle differentiation across duck embryonic development. *Communications Biology*, 9, 404. <https://doi.org/10.1038/s42003-026-09665-0>
- Taewcharoen, N., Sherratt, E., Stott, P., & Norris, R. (2025). Revisiting paravertebral muscles in European rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) and European brown hares (*Lepus europaeus*) (Leporidae; Lagomorpha). *The Anatomical Record*, 308(4), 1024–1041. <https://doi.org/10.1002/ar.70009>
- Voakes, A.-L., Reunanen, V., & Boström, A. (2026). Muscle volume of supraspinatus and infraspinatus in dogs: A computed tomography reliability study. *Frontiers in Veterinary Science*, 13, 1844733. <https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1844733>
- Wang, G., Wang, J., Li, D., Wang, Q., Zhao, Z., Chen, R., Lv, Q., & Fan, H. (2026). Dynamic muscle damage monitoring in pig crush injury: T2-weighted Dixon and 2D ultrasound applications. *Frontiers in Veterinary Science*, 13, 1692050. <https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1692050>
- Yatsenko, I., & Kazantsev, R. (2024). Informativeness of postmortem dynamics of skeletal muscles of dog and cat corpses for forensic veterinary diagnosis of death due to acute hypoxia. *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences*, 15(1), 139–149. <https://doi.org/10.31548/veterinary1.2024.139>