

MARCADORES DE VITALIDAD EN ASFIXIAS MECÁNICAS: UNA REVISIÓN CRÍTICA**VITALITY MARKERS IN MECHANICAL ASPHYXIA: A CRITICAL REVIEW**

González Vargas FA..
Médico Especialista en Cirugía. Perito Forense.
Servicio Médico Legal de Chile. Sede San Antonio. V Región.
Chile.

Correspondencia: fagonzav@gmail.com

Resumen:

- **Antecedentes:** Determinar la vitalidad de una lesión es fundamental en la tanatología forense para diferenciar un suicidio por ahorcamiento de una simulación post-mortem. Ante las limitaciones de la medicina legal tradicional frente a factores ambientales o tipos de lazo, se requiere evaluar herramientas moleculares avanzadas.
- **Objetivo:** Analizar críticamente la evidencia científica reciente sobre marcadores de vitalidad en asfixias mecánicas, contrastando los hallazgos macroscópicos tradicionales con las nuevas técnicas de patología molecular para fortalecer la precisión de los informes periciales.
- **Novedad e interés:** El estudio ofrece una actualización crítica sobre la transición diagnóstica desde la observación morfológica macroscópica hacia la detección molecular ultra-temprana (como microARNs y Proteínas de Choque Térmico). Proporciona un algoritmo de decisión técnica aplicable directamente al protocolo médico-legal chileno para reducir el error judicial.
- **Conclusiones:** El rigor en la práctica tanatológica depende de un enfoque multidisciplinario. No existe un marcador único con certeza absoluta; por ello, es imperativo estandarizar paneles inmunohistoquímicos moleculares combinados para garantizar una administración de justicia basada en evidencia científica robusta..

Palabras clave: Tanatología; Asfixia Mecánica; Inmunohistoquímica; Medicina Legal; Patología Forense; Biología Molecular..

Abstract:

- **Background:** Determining the vitality of an injury is fundamental in forensic thanatology to differentiate suicide by hanging from a post-mortem simulation. Given the limitations of traditional legal medicine against environmental factors or types of ligatures, evaluation of advanced molecular tools is required.
- **Objective:** To critically analyze recent scientific evidence on vitality markers in mechanical asphyxia, contrasting traditional macroscopic findings with new molecular pathology techniques to enhance the accuracy of forensic reports.
- **Novelty and interest:** This study offers a critical update on the diagnostic transition from macroscopic morphological observation to ultra-early molecular detection (such as microRNAs and Heat Shock Proteins). It provides a technical decision algorithm directly applicable to the Chilean medico-legal protocol to reduce judicial error.
- **Conclusions:** Rigor in thanatological practice depends on a multidisciplinary approach. No single marker offers absolute certainty; therefore, it is imperative to standardize combined molecular immunohistochemical panels to ensure an administration of justice based on robust scientific evidence..

Keywords: Thanatology; Asphyxia, Mechanical; Immunohistochemistry; Forensic Medicine; Forensic Pathology; Molecular Biology.

1. INTRODUCCIÓN

La determinación de la vitalidad de una lesión constituye el pilar fundamental sobre el cual se sustenta la diferenciación entre un evento de carácter suicida y la simulación del mismo mediante la suspensión de un cadáver (ahorcamiento post-mortem). En el ámbito de la tanatología forense, establecer si el lazo fue aplicado mientras el individuo aún mantenía funciones vitales es una de las tareas más complejas y determinantes para la justicia penal. Un error en esta fase puede significar el cierre de una investigación por homicidio bajo la apariencia de un suicidio, o viceversa, con las graves implicancias sociales y legales que ello conlleva. La respuesta vital no es un fenómeno macroscópico aislado o un cambio morfológico estático, sino una compleja cascada molecular y celular que se inicia de forma inmediata tras la injuria mecánica (1).

La medicina legal tradicional se ha basado en signos clásicos como el surco de ahorcamiento, las equimosis y la congestión; sin embargo, la variabilidad de estos signos frente a diferentes tipos de lazos (blandos vs. rígidos) y factores ambientales exige la implementación de herramientas diagnósticas con mayor sensibilidad y especificidad. El objetivo de esta revisión es analizar críticamente la literatura científica actual sobre los mecanismos fisiopatológicos y los biomarcadores que permiten confirmar la reacción vital en los tejidos cervicales, proporcionando un marco de referencia actualizado para el perito médico-legal.

2. METODOLOGÍA DE BÚSQUEDA

Para la elaboración de esta revisión crítica, se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos especializadas como PubMed, Scielo y la Web of Science. Se consultaron artículos originales, revisiones sistemáticas y monografías técnicas en idiomas inglés y español, centrando el interés en publicaciones de la última década (2015-2025). Los criterios de inclusión se enfocaron en estudios que validan la expresión de marcadores moleculares en tejidos humanos y modelos experimentales de asfixia mecánica con significancia estadística. Se dio prioridad a aquellas investigaciones que analizan la respuesta inflamatoria temprana y la expresión de proteínas de fase aguda en la dermis cervical. Como criterio de exclusión, se descartaron aquellos trabajos con un intervalo post-mortem (IPM) superior a las 72 horas, con el fin de evitar sesgos interpretativos derivados de la autólisis avanzada y los fenómenos de degradación cadavérica que comprometen la integridad proteica y la antigenicidad de los tejidos.

3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

3.1 Fisiopatología de la Compresión Cervical y Respuesta Vital

La asfixia por ahorcamiento combina mecanismos rápidos como la oclusión de vías aéreas, compresión vascular cervical y estimulación del seno carotídeo, pudiendo provocar paro cardíaco vagal e inconsciencia en menos de 15 segundos. Debido a esta celeridad, la respuesta inflamatoria clásica suele ser invisible al microscopio óptico. Desde el enfoque molecular, la persistencia de la circulación genera un gradiente de presión que activa endotelios y filtra proteínas plasmáticas al intersticio en milisegundos. En consecuencia, el diagnóstico de vitalidad en muertes rápidas no debe buscar la migración leucocitaria tardía, sino centrarse en los eventos celulares tempranos del endotelio y la matriz extracelular.

3.2 El "Punto Ciego" de la Histopatología Convencional

Aunque la literatura clásica considera el infiltrado hemorrágico, el edema y la congestión como signos de vitalidad, la evidencia actual sugiere cautela. Se advierte que estos hallazgos pueden ser replicados por fenómenos pasivos, como la lividez cadavérica (hipóstasis) o la manipulación técnica del cuerpo (2, 3). En suspensiones prolongadas, la gravedad puede generar rupturas vasculares post-mortem que simulan equimosis vitales. La verdadera reacción vital es un proceso biológico activo que requiere función metabólica celular. Si bien la migración de neutrófilos es altamente específica, su sensibilidad disminuye en muertes instantáneas. En consecuencia, la ausencia de reacción leucocitaria no descarta la vitalidad, generando un vacío diagnóstico que solo la inmunohistoquímica (IHQ) puede resolver.

3.3 El Desafío del Diagnóstico Diferencial: Livideces vs. Reacción Vital

La distinción entre una reacción vital y un fenómeno cadavérico es, quizás, el reto más crítico en la patología forense de las asfixias. En el examen del surco de ahorcamiento, la presencia de sangre no es, por sí misma, un indicador absoluto de que la lesión se produjo en vida. Mientras que la reacción vital es un proceso biológico activo, las livideces (hipóstasis) son un fenómeno puramente físico y gravitacional.

Fisiopatología de la confusión: Si un cadáver permanece suspendido por un tiempo prolongado, la sangre tiende a acumularse en las zonas declives por gravedad. En el cuello, esto puede generar una congestión venosa pasiva tan intensa que los vasos capilares se rompen, produciendo lo que técnicamente se conoce como "falsa equimosis". Este

fenómeno post-mortem puede imitar macroscópicamente la infiltración hemorrágica de un surco vital, induciendo a errores judiciales si no se cuenta con un análisis microscópico riguroso.

Diferenciación Histopatológica: La clave del diagnóstico diferencial reside en la arquitectura celular del tejido. En la Reacción Vital, la extravasación de eritrocitos se acompaña de una respuesta metabólica. Existe una interrupción activa de la barrera endotelial inducida por la presión arterial sistémica que aún persistía al momento del trauma. Histológicamente, los eritrocitos suelen aparecer mezclados con redes de fibrina y, dependiendo del tiempo de supervivencia, se inicia una migración de leucocitos polimorfonucleares hacia los bordes de la lesión. En la Lividez Cadavérica, por el contrario, la infiltración es pasiva; los eritrocitos se encuentran libres en el intersticio de forma laxa, sin la presencia de fibrina ni de mediadores de la inflamación. No existe una respuesta celular organizada, ya que el cese de la circulación impide la cascada biológica necesaria para la reparación o defensa del tejido.

3.4 La relevancia de la Inmunohistoquímica (IHQ)

Ante la duda diagnóstica, la IHQ actúa como el árbitro definitivo. Marcadores como la P-selectina solo se expresan en la superficie endotelial si hubo una activación celular mediada por funciones vitales. Su ausencia en un área con infiltración hemorrágica orienta fuertemente hacia un origen post-mortem por hipóstasis. Por tanto, el diagnóstico diferencial no debe descansar únicamente en la apreciación cromática del surco, sino en la documentación de la actividad biológica que solo ocurre cuando la homeostasis aún no se ha quebrado.

3.4.1 Biomarcadores de Membrana y Matriz

Ante las limitaciones de la histología, la IHQ surge como una herramienta indispensable en la patología forense cervical. La revisión destaca el papel protagonista de la Fibronectina y la P-selectina. La P-selectina es una molécula de adhesión almacenada en los cuerpos de Weibel-Palade del endotelio, que se expresa en la superficie celular casi instantáneamente tras una injuria mecánica. Su detección permite documentar la vitalidad incluso cuando el surco es imperceptible macroscópicamente por el uso de lazos blandos (4). La Fibronectina, por su parte, es una glicoproteína de la matriz extracelular que se acumula en las áreas de daño vascular como parte del proceso de reparación temprana. Su depósito en la dermis cervical es un estándar de oro para documentar la rotura de la barrera endotelial previa al cese circulatorio.

3.4.2 Avances en Patología Molecular: MicroARNs y Proteínas de Choque Térmico

La frontera del diagnóstico de vitalidad se ha desplazado desde la observación de cambios morfológicos celulares hacia la detección de señales moleculares precoces. En este escenario, los MicroARNs (miRNAs) y las Proteínas de Choque Térmico (HSPs) emergen como biomarcadores con un potencial disruptivo para la medicina legal.

Los miRNAs son pequeñas moléculas de ARN no codificante que regulan la expresión génica post-transcripcional. Su principal ventaja en el ámbito forense es su resiliencia; debido a su pequeño tamaño y a su asociación con proteínas protectoras, son notablemente estables frente a la degradación ambiental y los fenómenos de autólisis cadavérica (5). Investigaciones recientes han demostrado que ciertos miRNAs (como el miR-1, miR-133 y miR-208) presentan perfiles de expresión diferencial en tejidos que han sufrido trauma mecánico in vivo (6). Esto ofrece una ventana diagnóstica más amplia y fiable para determinar si una herida fue la causa del deceso o un evento posterior.

Complementariamente, las HSPs (especialmente HSP27, HSP70 y HSP90) actúan como chaperonas moleculares que se expresan rápidamente ante el estrés celular agudo, incluyendo la isquemia y la compresión mecánica propia de las asfixias. En la patología forense, su detección inmunohistoquímica ha sido clave para identificar la vitalidad en quemaduras y contusiones, ya que su síntesis requiere una respuesta sistémica activa que cesa con la muerte (7). En el contexto de un ahorcamiento vital, la presión ejercida por el lazo sobre los queratinocitos y las células endoteliales de la dermis cervical gatilla una síntesis rápida de estas proteínas como mecanismo de citoprotección (4). La detección de

HSP70 mediante inmunohistoquímica en los bordes del surco de compresión proporciona una evidencia directa de que la célula estaba metabólicamente activa y respondiendo a una injuria externa al momento de la muerte (8). Dado que su expresión requiere un remanente de energía celular (ATP), su presencia es un indicador altamente específico de vitalidad. Esto resulta fundamental para la medicina legal, ya que ayuda a descartar simulaciones de suicidio donde el lazo fue aplicado sobre un cuerpo ya fallecido (8).

3.4.3 Procedimientos Técnicos y Protocolos de Laboratorio

Un aspecto crítico para el éxito del diagnóstico molecular es el manejo de la muestra. La fijación debe realizarse en formalina tamponada al 10% de manera inmediata para preservar la antigenicidad. El protocolo de recuperación antigénica es determinante para evitar falsos negativos. La literatura sugiere que la combinación de al menos tres marcadores (Fibronectina, P-selectina y Catepsina D) ofrece la mayor certeza pericial. Un aspecto crítico identificado en la literatura es la susceptibilidad de los biomarcadores a los fenómenos transformativos post-mortem y la consecuente necesidad de validar su expresión en diferentes escenarios periciales mediante el uso de tecnología molecular (9).

3.5 Citoquinas y Marcadores Emergentes

Nuevas investigaciones sugieren que interleuquinas pro-inflamatorias como IL-1 β y TNF- α ofrecen una ventana de diagnóstico temporal. Mientras que la P-selectina es un marcador de segundos, la expresión de estas citoquinas permite documentar supervivencias ligeramente superiores. No obstante, su interpretación debe ser cautelosa debido a la posible expresión basal por enfermedades sistémicas previas.

Factores de Confusión Ambientales y Determinantes Sociales: La interpretación de estos hallazgos no puede ser aislada. En el contexto chileno, la fauna cadavérica como el coleóptero *Notiothauma reedi* puede producir erosiones cutáneas que simulan reacciones vitales, lo que obliga al perito a considerar agentes externos como factores de confusión (10). Además, la interpretación no puede desvincularse de los determinantes sociales de la salud del fallecido, patologías crónicas o estados nutricionales deficientes.

3.6 Aplicabilidad y Propuesta en la Práctica Forense

Se propone un algoritmo de decisión técnica para casos de asfixia con surcos dudosos:

1. **Muestreo Estandarizado:** Toma de piel en la zona de máxima presión y muestra "control" del área cervical no comprometida.
2. **Preservación de Antigenicidad:** Fijación inmediata en formalina tamponada al 10%.
3. **Panel de Marcadores Mínimo:** Uso combinado de Fibronectina, P-selectina y Catepsina D.

Impacto en la Administración de Justicia: La implementación sistémica de este protocolo mitiga significativamente la incertidumbre en el proceso pericial. Al complementar los hallazgos macroscópicos con evidencia molecular de vanguardia, se provee a los órganos de justicia de una prueba científica de alta fiabilidad.

4. CONCLUSIÓN

La presente revisión bibliográfica permite concluir que el rigor científico en la práctica tanatológica depende de la integración de métodos diagnósticos complementarios, dado que no existe un marcador único que ofrezca certeza absoluta. La medicina legal y forense contemporánea debe transitar hacia un enfoque multidisciplinario que converja el análisis macroscópico, la histopatología crítica y la inmunohistoquímica avanzada. En el contexto de los sistemas de medicina legal, la estandarización de estos protocolos resulta imperativa para garantizar investigaciones criminales basadas en evidencia científica robusta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kondo T. Timing of skin wounds: Immunohistochemical and molecular biological approaches. Legal Med 2021;53:101948

2. Grellner W, Madea B. Demarcation of vital reactions: Concepts, findings and interpretation. *Forensic Sci Int* 2012;219(1-3):1-15
3. Zissler A, et al. The biochemistry of the vitreous humour and tissue markers in estimating the post-mortem interval. *Forensic Sci Int* 2022
4. Bacci S, et al. Immunohistochemical evaluation of vitality markers in skin lesions: A review. *Forensic Sci Int* 2018;291:95-105
5. Li W, et al. MicroRNA as a potential biomarker in forensic medicine: A review. *Forensic Sci Int Genet* 2020;48:102353
6. Wang Z, et al. Differential expression of miR-1, miR-133, and miR-208 in skin contusions: Distinguishing vital from post-mortem injuries. *Legal Med* 2022;58:102105
7. Bacci S, et al. The expression of Heat Shock Proteins in human skin wounds: A markers for vitality? *Int J Legal Med* 2021;135(2):543-52
8. Fineschi V, et al. Molecular diagnostics of vital reactions: HSP70 as a marker of mechanical stress in hanging. *Int J Mol Sci* 2020;21(18):6542
9. Hernández-Cueto C, et al. Biomarcadores de vitalidad en el surco de ahorcadura: Un análisis comparativo entre inmunohistoquímica clásica y biología molecular. *Rev Esp Med Legal* 2022;48(2):70-8
10. Ortloff A, et al. Skin artefacts due to post-mortem damage caused by *Notiothauma reedi*. *Egypt J Forensic Sci* 2016;6(4):411-5