

PAPEL DEL REGISTRO CLÍNICO ORTOPÉDICO DE MATERIALES DE OSTEOSÍNTESIS EN LA IDENTIFICACIÓN POST MORTEM

ROLE OF CLINICAL RECORDS OF ORTHOPEDIC OSTEOSYNTHESIS MATERIALS IN POSTMORTEM IDENTIFICATION

Rodríguez Fonseca A.
Médico Residente de Medicina Legal.
Universidad de Costa Rica.
Costa Rica.

Correspondencia: draazalearodriguez@gmail.com

Resumen: La identificación humana constituye uno de los pilares fundamentales de la medicina legal, debido a sus implicaciones científicas, jurídicas y humanitarias. En aquellos casos en los que los métodos primarios de identificación, como las huellas dactilares, la odontología forense o el análisis de ADN, no pueden aplicarse de forma inmediata o presentan limitaciones, los métodos secundarios adquieren especial relevancia. Entre estos, los materiales de osteosíntesis representan una herramienta de creciente interés, ya que poseen características individuales, permanecen en el organismo tras la muerte y pueden correlacionarse con registros clínicos e imágenes radiológicas premortem. El objetivo de esta investigación es analizar la evidencia científica disponible sobre la utilidad de los materiales de osteosíntesis en la identificación humana con fines médico-legales, describiendo sus fundamentos, aplicaciones, ventajas, limitaciones y perspectivas futuras. Se realizó una revisión bibliográfica mediante la consulta de las bases de datos PubMed, Scopus, ScienceDirect, SciELO y Google Scholar, incluyendo publicaciones en español e inglés relacionadas con identificación humana, radiología forense, implantes ortopédicos y medicina legal. La evidencia revisada demuestra que la comparación entre estudios radiológicos premortem y post mortem, junto con la trazabilidad de los implantes ortopédicos, permite establecer procesos de identificación confiables, particularmente en cadáveres carbonizados, esqueletizados o con avanzado estado de descomposición. Asimismo, el desarrollo de bases de datos digitales, la estandarización de registros clínicos y la incorporación de herramientas de inteligencia artificial podrían incrementar significativamente el valor identificativo de estos dispositivos. Se concluye que los materiales de osteosíntesis constituyen un método complementario de gran utilidad en la identificación humana.

Palabras clave: Medicina legal; Identificación humana; Osteosíntesis; Radiología forense; Implantes ortopédicos..

Abstract: Human identification is one of the fundamental pillars of forensic medicine due to its scientific, legal, and humanitarian implications. In cases where primary identification methods, such as fingerprint analysis, forensic odontology, or DNA profiling, cannot be applied immediately or present significant limitations, secondary identification methods become particularly relevant. Among these, osteosynthesis materials have emerged as a valuable tool because they possess individual characteristics, remain within the body after death, and can be correlated with clinical records and antemortem radiographic images. The aim of this narrative review is to analyze the available scientific evidence regarding the usefulness of osteosynthesis materials in human identification for medico-legal purposes, describing their principles, applications, advantages, limitations, and future perspectives. A literature review was conducted using the PubMed, Scopus, ScienceDirect, SciELO, and Google Scholar databases, including publications in both English and Spanish related to human identification, forensic radiology, orthopedic implants, and forensic medicine. The reviewed evidence demonstrates that the comparison of antemortem and postmortem radiological examinations, together with the traceability of orthopedic implants, enables reliable identification processes, particularly in charred, skeletonized, or severely decomposed human remains. Furthermore, the development of digital databases, the standardization of clinical records, and the incorporation of artificial intelligence tools may significantly enhance the identification value of these devices. It is concluded that osteosynthesis materials represent a valuable complementary method for human identification.

Keywords: Forensic medicine; Human identification; Osteosynthesis; Forensic radiology; Orthopedic implants.

INTRODUCCIÓN

La identificación humana constituye uno de los objetivos esenciales de la medicina legal y de las ciencias forenses, ya que permite establecer la identidad de personas fallecidas con repercusiones directas en los ámbitos judicial, administrativo, civil y humanitario. La correcta identificación de un cadáver resulta indispensable para la investigación de hechos delictivos, la certificación de defunciones, la restitución de restos humanos a sus familiares, la resolución de

conflictos legales y el respeto de los derechos fundamentales de las víctimas y sus allegados(1). Por esta razón, organismos internacionales como INTERPOL han establecido protocolos estandarizados que priorizan métodos científicos de alta confiabilidad para la identificación de cadáveres, especialmente en escenarios de desastres masivos, conflictos armados y muertes violentas(1).

Tradicionalmente, la identificación forense se fundamenta en los denominados métodos primarios de identificación, entre los que destacan el análisis de huellas dactilares, la odontología forense y los estudios de ADN, considerados actualmente los procedimientos con mayor nivel de certeza científica. Sin embargo, estos métodos no siempre pueden aplicarse de manera inmediata debido al estado de conservación del cadáver, la ausencia de registros premortem o las limitaciones logísticas propias de determinadas investigaciones(1,2). En este contexto, los métodos secundarios de identificación adquieren un papel relevante como herramientas complementarias capaces de orientar o incluso confirmar la identidad cuando son interpretados conjuntamente con otros hallazgos periciales.

Dentro de estos métodos secundarios, la radiología forense ha experimentado un importante desarrollo durante las últimas décadas. La comparación entre imágenes diagnósticas obtenidas en vida y los hallazgos radiológicos post mortem permite reconocer características anatómicas individuales, variantes congénitas, secuelas traumáticas, enfermedades degenerativas y procedimientos médicos previos que poseen un elevado valor identificativo. Entre estos últimos destacan los materiales de osteosíntesis, cuya presencia se ha incrementado de forma considerable como consecuencia del envejecimiento poblacional, el aumento de los procedimientos ortopédicos y el tratamiento quirúrgico de lesiones traumáticas(2).

Los materiales de osteosíntesis incluyen placas, tornillos, clavos intramedulares, prótesis articulares, fijadores externos y otros dispositivos diseñados para estabilizar fracturas o reemplazar estructuras óseas lesionadas. Muchos de estos implantes poseen características específicas relacionadas con su fabricante, dimensiones, diseño, composición y, en algunos casos, números de serie que permiten establecer una trazabilidad desde su implantación hasta su recuperación post mortem. Cuando esta información se complementa con expedientes clínicos, registros hospitalarios e imágenes radiológicas previas, constituye una fuente objetiva de información que puede contribuir significativamente a la identificación humana(2).

Su importancia adquiere especial relevancia en cadáveres carbonizados, esqueletizados, fragmentados o con avanzado estado de descomposición, donde los métodos tradicionales pueden verse limitados por la destrucción de tejidos blandos o la pérdida de estructuras anatómicas útiles para la identificación. En estos escenarios, la permanencia de los implantes metálicos y su resistencia a altas temperaturas convierten a los materiales de osteosíntesis en elementos de gran utilidad para el perito médico forense(3).

En los últimos años, el desarrollo de la radiología digital, la tomografía computarizada post mortem (PMCT), la impresión tridimensional y las herramientas basadas en inteligencia artificial han ampliado las posibilidades diagnósticas de la medicina legal. Estas tecnologías permiten mejorar la comparación entre estudios premortem y post mortem, optimizar la reconstrucción anatómica y fortalecer los procesos de identificación mediante el análisis automatizado de características morfológicas de los implantes y del tejido óseo circundante(4).

A pesar del creciente número de publicaciones relacionadas con la identificación mediante materiales de osteosíntesis, la información disponible permanece dispersa y existen escasas revisiones que integren la evidencia científica desde una perspectiva médico-legal, especialmente en Latinoamérica. Esta situación justifica la necesidad de revisar de forma crítica la literatura disponible para establecer el verdadero alcance de estos dispositivos dentro de los procesos modernos de identificación humana(5).

OBJETIVO

Identificar los elementos del registro clínico ortopédico que aportan valor para la identificación post mortem, incluyendo la documentación quirúrgica, las imágenes diagnósticas y la información técnica de los implantes.

METODOLOGÍA

Se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de recopilar y analizar la evidencia científica relacionada con la importancia del registro clínico de los materiales de osteosíntesis como estrategia para facilitar la identificación humana post mortem en el ámbito de la medicina legal.

La búsqueda bibliográfica se efectuó, utilizando las bases de datos PubMed/MEDLINE, Scopus, ScienceDirect, Web of Science y SciELO, por ser fuentes ampliamente reconocidas en las áreas de medicina, ciencias forenses, traumatología y radiología. Adicionalmente, se consultaron documentos técnicos y guías internacionales emitidas por organismos especializados, entre ellos la Organización Internacional de Policía Criminal (INTERPOL), la International Society of Forensic Radiology and Imaging (ISFRI) y la American Academy of Forensic Sciences (AAFS), cuando resultaron pertinentes para el desarrollo del tema.

La estrategia de búsqueda combinó términos controlados Medical Subject Headings (MeSH) y Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS), así como palabras libres relacionadas con el objeto de estudio. Entre los principales términos empleados se incluyeron: Medicina legal; Identificación humana; Osteosíntesis; Radiología forense; Implantes ortopédicos.

Se incluyeron artículos originales, revisiones sistemáticas, revisiones narrativas, estudios observacionales, series de casos, reportes de casos con relevancia médico-legal y documentos técnicos publicados en español e inglés entre 2005 y 2026, priorizando la evidencia publicada durante los últimos diez años.

IDENTIFICACIÓN HUMANA EN MEDICINA LEGAL

La identificación humana constituye uno de los pilares fundamentales de la medicina legal y de las ciencias forenses, ya que permite establecer la identidad de una persona fallecida mediante la integración sistemática de información biológica, médica, antropológica y documental(1). Este proceso posee importantes implicaciones jurídicas, administrativas, humanitarias y sociales, debido a que permite la certificación legal de la muerte, la restitución de los restos a sus familiares, la resolución de procesos judiciales, la investigación de delitos y el respeto del derecho de las víctimas y sus familias a conocer la verdad. La identificación de restos humanos representa además un requisito indispensable para garantizar la adecuada administración de justicia y preservar la cadena de custodia de la evidencia médico-legal(4).

Desde el punto de vista forense, la identificación no consiste únicamente en asignar un nombre a unos restos humanos, sino en demostrar científicamente la correspondencia entre la información obtenida durante el examen post mortem y los datos antemortem disponibles de una persona desaparecida. Este proceso requiere la comparación objetiva de características individualizantes, cuya coincidencia permita alcanzar un grado de certeza suficiente para establecer una identificación positiva. La confiabilidad del proceso depende tanto de la calidad de la información obtenida del cadáver como de la disponibilidad y precisión de los registros clínicos, odontológicos, radiológicos y documentales existentes antes del fallecimiento(4,5).

La creciente movilidad de la población, el incremento de los fenómenos migratorios, los desastres naturales, los accidentes de transporte, los conflictos armados y el aumento de personas desaparecidas han convertido la identificación humana en una prioridad para los sistemas médico-legales de todo el mundo. Paralelamente, el envejecimiento poblacional y el incremento de procedimientos médicos invasivos han generado una mayor disponibilidad de información

clínica susceptible de utilizarse con fines identificativos, particularmente estudios de imagen e implantes quirúrgicos permanentes. Esta evolución ha favorecido el desarrollo de nuevas estrategias complementarias que fortalecen los métodos tradicionales de identificación(5).

En la actualidad, la guía de Disaster Victim Identification (DVI) de INTERPOL constituye el principal referente internacional para la identificación de personas fallecidas tanto en casos individuales complejos como en incidentes con múltiples víctimas. Dicho protocolo establece que la identificación debe realizarse mediante un procedimiento sistemático compuesto por cuatro fases: recuperación de los restos en la escena, obtención de información post mortem, recopilación de información antemortem y reconciliación de ambos conjuntos de datos. Este enfoque busca minimizar el riesgo de errores de identificación y garantizar que toda conclusión se base en evidencia científica objetiva(5).

Los protocolos internacionales distinguen entre identificadores primarios e identificadores secundarios. Los identificadores primarios corresponden al análisis de huellas dactilares, la odontología forense y el estudio del ADN, métodos ampliamente reconocidos por su elevada especificidad y reproducibilidad. La guía DVI de INTERPOL también reconoce que determinados implantes médicos con números únicos de identificación o seriales trazables pueden constituir identificadores altamente confiables cuando es posible vincularlos documentalmen te con un paciente específico. Por otra parte, los identificadores secundarios incluyen características físicas, antecedentes médicos, cicatrices, tatuajes, hallazgos radiológicos, variaciones anatómicas y dispositivos quirúrgicos, cuya utilidad aumenta considerablemente cuando se analizan de manera integrada con la información primaria disponible(5).

Aunque las técnicas basadas en ADN representan actualmente el estándar de referencia para la identificación humana, su utilización puede verse limitada por múltiples factores, entre ellos la degradación del material genético, la ausencia de muestras de comparación, el elevado costo de los análisis o el tiempo requerido para obtener resultados. Situaciones similares pueden presentarse con las huellas dactilares cuando existe carbonización, maceración, putrefacción avanzada o destrucción de tejidos blandos. Asimismo, la identificación odontológica depende de la existencia de registros dentales previos y de la conservación de las estructuras maxilofaciales. Estas limitaciones explican la creciente importancia de métodos complementarios basados en imágenes médicas, características anatómicas e implantes quirúrgicos(6).

En este contexto, la radiología forense ha adquirido un papel cada vez más relevante dentro de la identificación humana. El incremento del uso de radiografías digitales, tomografía computarizada, resonancia magnética y otras modalidades diagnósticas ha generado una gran cantidad de información antemortem susceptible de compararse con los hallazgos obtenidos durante el examen post mortem. La tomografía computarizada post mortem (PMCT) ha demostrado especial utilidad al permitir la evaluación tridimensional del esqueleto, la localización precisa de cuerpos extraños, materiales de osteosíntesis, prótesis y otras intervenciones médicas, facilitando la comparación objetiva con estudios obtenidos en vida(6). Diversas revisiones recientes consideran que la PMCT constituye una herramienta de gran potencial para la identificación individual y para la gestión de incidentes con múltiples víctimas(7).

La antropología forense también desempeña un papel fundamental cuando los restos presentan un avanzado estado de descomposición, carbonización, fragmentación o reducción esquelética. En estas circunstancias, la evaluación del perfil biológico, las variaciones anatómicas, las fracturas consolidadas, las enfermedades óseas y los dispositivos médicos implantados permiten establecer múltiples puntos de concordancia entre los registros antemortem y los hallazgos post mortem. La evidencia científica demuestra que, cuanto mayor sea el número de características individuales compartidas y adecuadamente documentadas, mayor será la robustez científica de la identificación positiva(7).

Dentro de las características individualizantes con mayor crecimiento durante las últimas décadas destacan los materiales de osteosíntesis y otros implantes ortopédicos permanentes. El incremento de los procedimientos quirúrgicos traumatológicos ha ocasionado que un número cada vez mayor de personas porte placas, tornillos, clavos intramedulares, prótesis articulares y otros dispositivos metálicos que permanecen en el organismo durante toda la vida. Estos implantes poseen características morfológicas específicas relacionadas con su diseño, fabricante, dimensiones y composición, y en determinados casos incorporan números de serie o identificadores únicos que permiten establecer su trazabilidad clínica. Incluso cuando carecen de seriales visibles, su configuración radiológica puede constituir una característica altamente individualizante al compararse con estudios de imagen obtenidos antes del fallecimiento(7).

Sin embargo, el verdadero valor identificativo de estos dispositivos depende de la calidad y disponibilidad del registro clínico asociado. La documentación adecuada de las características del implante, el procedimiento quirúrgico, el fabricante, el modelo, el número de lote cuando exista y las imágenes radiológicas pre y postoperatorias permiten establecer una correlación objetiva entre la información antemortem y los hallazgos obtenidos durante la autopsia o el estudio radiológico post mortem. En ausencia de esta documentación, gran parte del potencial identificativo de los materiales de osteosíntesis puede perderse, aun cuando los implantes permanezcan íntegros tras procesos de carbonización o descomposición avanzada. Por ello, diversos autores destacan la necesidad de fortalecer los sistemas de registro clínico y promover la trazabilidad de los dispositivos médicos como parte integral de los procesos modernos de identificación humana(7,14).

MATERIALES DE OSTEOSÍNTESIS Y CLASIFICACIÓN

Los materiales de osteosíntesis corresponden al conjunto de dispositivos biomédicos diseñados para estabilizar fragmentos óseos, restaurar la anatomía y favorecer la consolidación de fracturas o deformidades esqueléticas mediante fijación interna o externa. Su desarrollo ha transformado la cirugía ortopédica moderna, permitiendo una movilización temprana, una reducción de complicaciones asociadas a la inmovilización prolongada y una recuperación funcional más rápida. Paralelamente, el incremento sostenido de los procedimientos traumatológicos y reconstructivos ha ocasionado que un número cada vez mayor de personas sea portador permanente de implantes ortopédicos, situación que ha despertado un creciente interés en la medicina legal debido al potencial identificativo que estos dispositivos representan cuando se dispone de registros clínicos adecuados(8,10).

Desde el punto de vista biomecánico, la osteosíntesis persigue proporcionar estabilidad suficiente para mantener la reducción anatómica hasta que el tejido óseo recupere su capacidad de soportar cargas fisiológicas. Para ello, los implantes deben reunir propiedades específicas como elevada resistencia mecánica, adecuada rigidez, biocompatibilidad, resistencia a la corrosión y mínima respuesta inflamatoria local. La evolución de la ingeniería biomédica ha permitido el desarrollo de aleaciones metálicas y biomateriales cada vez más sofisticados, optimizando tanto la supervivencia del implante como la integración con el tejido óseo. Actualmente, los materiales más empleados incluyen acero inoxidable quirúrgico, aleaciones de titanio, cobalto-cromo y, en determinadas aplicaciones, materiales poliméricos como el poliéter-éter-cetona (PEEK), además de aleaciones biodegradables de magnesio que continúan en desarrollo experimental(8).

La clasificación de los materiales de osteosíntesis puede realizarse según diferentes criterios, siendo la clasificación funcional una de las más utilizadas en traumatología. Dentro de esta se incluyen las placas de osteosíntesis, destinadas a estabilizar fracturas diafisarias, metafisarias y periarticulares mediante fijación cortical o bloqueada; los tornillos, que pueden utilizarse de manera independiente o como complemento de otros sistemas de fijación; los clavos intramedulares, empleados principalmente en fracturas de huesos largos; los sistemas de fijación externa, indicados en lesiones complejas o con importante compromiso de tejidos blandos; los alambres y cerclajes utilizados para estabilizar

fragmentos óseos pequeños o fracturas conminutas; y las prótesis articulares destinadas al reemplazo parcial o total de una articulación destruida por enfermedad degenerativa, trauma o neoplasias. Cada uno de estos dispositivos presenta características morfológicas específicas que pueden ser reconocidas mediante estudios radiográficos y que, en determinadas circunstancias, adquieren valor individualizante durante los procesos de identificación humana(9).

Las placas representan uno de los implantes más frecuentes en cirugía ortopédica. Existen múltiples variantes, entre ellas placas de compresión dinámica (DCP), placas de compresión dinámica limitada (LC-DCP), placas bloqueadas (LCP), placas anatómicas precontorneadas y placas específicas para regiones anatómicas como clavícula, radio distal, húmero proximal, pelvis o tobillo. La geometría de cada diseño, el número y disposición de los orificios, el espesor, la longitud y la configuración de los sistemas de bloqueo constituyen características fácilmente identificables mediante radiología convencional y tomografía computarizada, permitiendo en muchos casos reconocer incluso el fabricante o la línea comercial del implante(9,10).

Los tornillos ortopédicos constituyen otro grupo de gran importancia. Pueden clasificarse en corticales, esponjosos, canulados, bloqueados, de compresión interfragmentaria o de fijación cefálica, entre otros. Sus diferencias incluyen el diámetro, longitud, tipo de rosca, diseño de la cabeza y mecanismo de acople con la placa correspondiente. Aunque individualmente poseen menor capacidad identificativa que una prótesis completa, la combinación de múltiples tornillos con una placa específica genera un patrón radiográfico altamente característico que puede compararse con imágenes antemortem(10).

Los clavos intramedulares constituyen actualmente el tratamiento de elección para numerosas fracturas de fémur, tibia y húmero. Estos dispositivos presentan variaciones relacionadas con su curvatura, diámetro, longitud, configuración proximal y distal, número de orificios para bloqueo y sistemas de fijación cefálica. Dichas diferencias permiten reconocer modelos comerciales específicos e incluso inferir la época aproximada de fabricación cuando se comparan con catálogos históricos de implantes. Esta información resulta particularmente útil en contextos médico-legales cuando el cadáver presenta escasos elementos identificativos adicionales.

Las prótesis articulares constituyen probablemente los implantes ortopédicos con mayor potencial identificativo. Las artroplastias de cadera, rodilla, hombro, codo y tobillo poseen múltiples componentes fabricados por diferentes compañías comerciales, cada uno con dimensiones, geometrías, superficies y mecanismos de fijación propios. En numerosos países estos implantes se registran mediante códigos de producto, número de lote y, en algunos casos, identificadores únicos que permiten reconstruir la cadena de distribución desde el fabricante hasta el paciente receptor. Los registros nacionales de artroplastias desarrollados en Europa han demostrado que la estandarización de esta información mejora tanto la vigilancia sanitaria como la trazabilidad de los implantes, incrementando indirectamente su utilidad para fines de identificación forense.

Desde la perspectiva de la medicina legal, además de la clasificación funcional resulta especialmente relevante la clasificación según el material de fabricación. El acero inoxidable 316L continúa siendo ampliamente utilizado debido a su resistencia mecánica, facilidad de manufactura y menor costo. Sin embargo, las aleaciones de titanio han adquirido creciente protagonismo gracias a su elevada biocompatibilidad, menor módulo de elasticidad más cercano al del tejido óseo y excelente resistencia a la corrosión. Estudios comparativos recientes sugieren que los implantes de titanio presentan menores tasas de complicaciones mecánicas en determinados tipos de fracturas, además de producir menos artefactos durante estudios tomográficos, circunstancia que facilita la evaluación radiológica post mortem. Otros materiales, como las aleaciones de cobalto-cromo y el tantalio, se utilizan principalmente en artroplastias debido a su elevada resistencia al desgaste(11).

El desarrollo tecnológico también ha impulsado la fabricación personalizada mediante impresión tridimensional. Actualmente es posible producir implantes específicos para cada paciente utilizando modelos obtenidos a partir de tomografía computarizada. Estos dispositivos presentan geometrías únicas adaptadas a defectos óseos complejos, lo que incrementa aún más su potencial identificativo. Aunque su utilización continúa limitada a situaciones clínicas particulares, diversos autores consideran que la expansión de la manufactura aditiva modificará significativamente la trazabilidad y documentación de los implantes ortopédicos durante los próximos años(11).

Desde el punto de vista medico legal, el reconocimiento preciso del tipo de implante permite orientar la búsqueda de expedientes clínicos, identificar el centro hospitalario donde fue colocado, estimar el periodo aproximado de la cirugía e incluso establecer vínculos con fabricantes específicos. Por ello, la evidencia científica coincide en que la documentación clínica debería incluir de forma sistemática el tipo de implante, fabricante, modelo comercial, dimensiones, material de fabricación, número de lote o serie cuando exista, localización anatómica, fecha de implantación y estudios radiográficos asociados. Esta información constituye la base para la comparación antemortem–post mortem y representa el principal elemento que convierte a los materiales de osteosíntesis en una herramienta de utilidad médico-legal(11).

EVIDENCIA CIENTÍFICA DISPONIBLE

Durante las dos últimas décadas, la literatura científica ha mostrado un creciente interés en el uso de los materiales de osteosíntesis como herramientas complementarias para la identificación humana en medicina legal. Este interés responde al incremento sostenido de procedimientos traumatológicos y reconstructivos, al desarrollo de nuevas tecnologías de imagen y a la necesidad de disponer de métodos alternativos cuando las técnicas convencionales de identificación presentan limitaciones. Aunque la mayor parte de la evidencia disponible corresponde a reportes de casos, series de casos y revisiones narrativas, los resultados publicados demuestran de manera consistente que los implantes ortopédicos poseen un importante potencial identificativo cuando existe información clínica y radiológica antemortem adecuada para su comparación(10,11).

Uno de los trabajos más relevantes corresponde a la revisión sistemática publicada por Bukhamseen et al. en 2022, la cual analizó la evidencia disponible sobre el empleo de dispositivos ortopédicos implantables en la identificación forense. Los autores concluyeron que los implantes representan un método complementario eficaz, particularmente en situaciones donde la identificación mediante ADN, huellas dactilares o registros odontológicos no puede realizarse de forma inmediata. Asimismo, señalaron que la utilidad de estos dispositivos depende directamente de la disponibilidad de radiografías antemortem, expedientes clínicos completos y documentación precisa sobre el fabricante, modelo, logotipo y número de serie o lote del implante. La revisión también destacó que esta estrategia resulta relativamente económica, rápida y fácilmente incorporable a la práctica pericial cuando existe una adecuada trazabilidad de los dispositivos médicos(11).

Los primeros reportes que demostraron el potencial identificativo de los implantes ortopédicos fueron publicados a principios del presente siglo. En una serie de casos desarrollada por **Simpson et al.**, se documentó la utilización de implantes ortopédicos y estudios radiográficos para la identificación de restos humanos en ocho investigaciones forenses. En seis de los casos fue posible establecer una identificación positiva mediante la comparación entre radiografías antemortem y post mortem, mientras que en los dos restantes la ausencia de mecanismos adecuados de trazabilidad limitó la posibilidad de confirmar la identidad. Los autores señalaron que, en ausencia de un sistema nacional de registro de implantes, la información proporcionada por los fabricantes resultó insuficiente para rastrear los dispositivos hasta el

paciente receptor, recomendando la implementación de sistemas de identificación individual para cada implante comercializado(8,9,11).

Diversos reportes clínicos posteriores han confirmado estos hallazgos en escenarios donde los restos humanos presentaban carbonización, esqueletización o avanzado estado de descomposición. En estas circunstancias, la permanencia de placas, tornillos, clavos intramedulares y prótesis permitió establecer múltiples puntos de concordancia con estudios radiográficos obtenidos en vida, facilitando la identificación positiva incluso cuando las estructuras blandas se encontraban completamente destruidas. La literatura coincide en que el patrón geométrico del implante, su localización anatómica, las características del hueso circundante y las modificaciones secundarias al proceso de consolidación ósea constituyen elementos altamente individualizantes cuando se analizan de manera conjunta(8,10,11).

Otro aspecto ampliamente discutido corresponde a la trazabilidad de los dispositivos médicos. En numerosos países se han implementado registros nacionales de artroplastias y sistemas de vigilancia sanitaria destinados principalmente al seguimiento de complicaciones, retiros comerciales y control de calidad de los implantes. Sin embargo, estos registros poseen además un importante potencial para la identificación humana, ya que permiten reconstruir el recorrido del dispositivo desde el fabricante hasta el paciente. La evidencia científica señala que la incorporación sistemática del fabricante, modelo comercial, número de lote, número de serie, dimensiones del implante y estudios radiográficos dentro del expediente clínico incrementa significativamente las probabilidades de una identificación positiva(11,12).

En los últimos años también se ha observado un creciente interés por la aplicación de tecnologías digitales en este campo. La disponibilidad de archivos radiológicos electrónicos (PACS), expedientes clínicos digitales y registros nacionales de implantes facilita la recuperación de información antemortem y reduce considerablemente el tiempo necesario para realizar comparaciones radiográficas. Asimismo, la digitalización de imágenes ha permitido desarrollar algoritmos computacionales capaces de reconocer automáticamente diferentes modelos de implantes ortopédicos, ampliando las posibilidades de aplicación clínica y forense(12).

A pesar de estos avances, la evidencia disponible continúa presentando limitaciones metodológicas importantes. La mayoría de las publicaciones corresponden a reportes de casos individuales, lo que dificulta la realización de metaanálisis o la estimación objetiva de parámetros diagnósticos como sensibilidad, especificidad o valor predictivo. Asimismo, existe una marcada heterogeneidad entre los estudios respecto al tipo de implantes analizados, las metodologías empleadas y los sistemas de registro utilizados en cada país. Estas limitaciones ponen de manifiesto la necesidad de desarrollar investigaciones multicéntricas, registros internacionales de dispositivos médicos y protocolos estandarizados que permitan fortalecer la evidencia científica disponible(12).

APLICACIONES EN DESASTRES MASIVOS

Los desastres con múltiples víctimas representan uno de los escenarios más complejos para la identificación humana debido a la magnitud del evento, la fragmentación de los restos, la carbonización, la mezcla de tejidos y la pérdida de información identificativa convencional. Terremotos, tsunamis, incendios estructurales, explosiones, accidentes aéreos, atentados terroristas y otros eventos de gran impacto generan con frecuencia lesiones incompatibles con la aplicación inmediata de métodos tradicionales como el reconocimiento visual o la obtención de huellas dactilares. En este contexto, la medicina legal requiere procedimientos altamente estandarizados que permitan garantizar la correcta identificación de cada víctima mediante criterios científicos internacionalmente aceptados(12).

El protocolo internacional de Disaster Victim Identification (DVI) desarrollado por INTERPOL constituye actualmente el estándar mundial para la identificación de víctimas en incidentes con múltiples fallecidos. Este protocolo

organiza el proceso en cuatro fases secuenciales: recuperación de los restos en la escena, obtención de información post mortem, recopilación de información antemortem y reconciliación de ambos conjuntos de datos. Durante la fase post mortem se documentan sistemáticamente todas aquellas características con potencial identificativo, incluyendo cicatrices, tatuajes, prótesis, implantes ortopédicos, dispositivos médicos y hallazgos radiológicos. Posteriormente, esta información se compara con los antecedentes médicos disponibles del posible desaparecido para establecer una identificación científica(1,12).

Los materiales de osteosíntesis adquieren especial relevancia durante este tipo de operaciones debido a su elevada resistencia a condiciones extremas. A diferencia de numerosos tejidos blandos, los implantes metálicos conservan su integridad estructural incluso después de incendios de alta temperatura o procesos avanzados de descomposición. Esta característica permite localizar fácilmente los dispositivos mediante radiología convencional o tomografía computarizada post mortem y utilizarlos como puntos de referencia para la comparación con estudios de imagen obtenidos en vida. Diversos reportes documentan identificaciones exitosas en víctimas carbonizadas gracias a la presencia de placas, prótesis o clavos intramedulares previamente registrados en el expediente clínico(12).

Las recomendaciones internacionales elaboradas por expertos en identificación de víctimas de desastres enfatizan que los implantes ortopédicos deben documentarse de manera exhaustiva durante el examen post mortem. Esta documentación incluye la localización anatómica, el tipo de dispositivo, sus dimensiones, posibles logotipos del fabricante, números de lote o serie visibles y cualquier característica estructural que permita individualizar el implante. Cuando esta información se integra con radiografías antemortem y registros quirúrgicos, constituye una herramienta altamente útil para reducir el universo de posibles identidades y agilizar el proceso de reconciliación(1,2,2).

El empleo sistemático de tomografía computarizada post mortem ha incrementado significativamente la capacidad para detectar implantes metálicos durante las operaciones DVI. La reconstrucción tridimensional permite identificar con precisión la morfología del dispositivo, evaluar su relación con el hueso circundante y reconocer modificaciones producidas durante la consolidación de fracturas o revisiones quirúrgicas. Estas características aumentan la cantidad de puntos de concordancia disponibles para la comparación antemortem–post mortem y disminuyen la probabilidad de errores de identificación.

Sin embargo, la utilidad de los materiales de osteosíntesis durante desastres masivos continúa dependiendo de la calidad de los sistemas nacionales de registro. En aquellos países donde los implantes carecen de identificadores únicos o donde la información clínica no se conserva de manera adecuada, el potencial identificativo disminuye considerablemente. Por el contrario, la implementación de sistemas estandarizados de trazabilidad y registros electrónicos interoperables permitiría aprovechar plenamente las características individualizantes de estos dispositivos, fortaleciendo la respuesta forense ante futuros eventos con múltiples víctimas(12).

Finalmente, la evidencia disponible demuestra que los materiales de osteosíntesis no sustituyen los métodos primarios de identificación establecidos por INTERPOL, sino que constituyen una herramienta complementaria que incrementa la robustez del proceso pericial. Su principal fortaleza radica en facilitar la correlación entre la información clínica antemortem y los hallazgos post mortem, optimizando la identificación en situaciones donde el tiempo, el estado de conservación de los restos o la ausencia inicial de otros métodos dificultan la aplicación inmediata de técnicas convencionales. En consecuencia, la adecuada documentación de estos dispositivos debería considerarse un componente estratégico dentro de los programas nacionales de preparación para desastres y de los protocolos modernos de identificación humana(1,2,4).

Limitaciones de uso de materiales

A pesar del creciente interés por la utilización de los materiales de osteosíntesis como herramientas complementarias para la identificación humana, la evidencia científica disponible presenta diversas limitaciones que deben considerarse al interpretar su utilidad en la práctica médico-legal. En primer lugar, la mayoría de las publicaciones corresponden a reportes de casos, series de casos y revisiones narrativas, mientras que son escasos los estudios prospectivos, multicéntricos o con metodologías estandarizadas que permitan cuantificar objetivamente el rendimiento diagnóstico de estos dispositivos. Esta heterogeneidad metodológica dificulta la comparación entre investigaciones y limita la posibilidad de establecer indicadores como sensibilidad, especificidad o valores predictivos aplicables a distintos escenarios forenses.

Una de las principales limitaciones identificadas en la literatura corresponde a la ausencia de sistemas universales de trazabilidad para los implantes ortopédicos. Aunque numerosos fabricantes incorporan números de lote, códigos comerciales o identificadores de producción, esta información no siempre permanece disponible dentro del expediente clínico ni puede recuperarse fácilmente durante una investigación forense. En muchos sistemas sanitarios, los registros quirúrgicos documentan únicamente el procedimiento realizado, sin incluir información detallada sobre el fabricante, modelo, dimensiones o número de serie del implante. Como consecuencia, aun cuando el dispositivo permanezca íntegro tras la muerte, su capacidad para establecer una identificación positiva disminuye considerablemente(12).

La disponibilidad de estudios radiográficos antemortem constituye otro factor determinante. La comparación radiológica representa uno de los métodos más robustos para correlacionar implantes ortopédicos con un individuo específico; sin embargo, la ausencia de radiografías preoperatorias, postoperatorias o de seguimiento limita significativamente este proceso. Además, la variabilidad en la calidad de las imágenes, las diferencias en la técnica radiográfica y la migración de los sistemas de archivo entre plataformas digitales pueden dificultar la recuperación de información útil años después de la implantación del dispositivo(12).

Desde el punto de vista tecnológico, otro desafío corresponde a la falta de estandarización internacional en la nomenclatura y codificación de los implantes. Un mismo dispositivo puede comercializarse con diferentes códigos según el país o el distribuidor, mientras que modificaciones menores en su diseño pueden dificultar la identificación precisa del fabricante mediante análisis radiográfico. Esta situación se vuelve particularmente compleja cuando el implante ha sido retirado del mercado, pertenece a generaciones antiguas o fue fabricado por empresas que posteriormente desaparecieron o se fusionaron con otras compañías(12,13).

Asimismo, deben considerarse las limitaciones propias del análisis radiológico. La presencia de artefactos metálicos, la superposición de estructuras anatómicas, la fragmentación ósea y los cambios secundarios a procesos de consolidación o revisiones quirúrgicas pueden dificultar la comparación entre imágenes antemortem y post mortem. Si bien la tomografía computarizada post mortem ha reducido parte de estas limitaciones, continúa siendo necesario que la interpretación sea realizada por profesionales con experiencia tanto en radiología como en medicina legal y traumatología(4,5,13).

Desde una perspectiva ética y legal, el acceso a la información clínica también representa un aspecto relevante. La utilización de expedientes médicos con fines de identificación debe realizarse respetando la legislación vigente sobre confidencialidad, protección de datos personales y acceso a la información sanitaria. En consecuencia, los procedimientos para compartir registros clínicos entre instituciones hospitalarias, autoridades judiciales y servicios médico-legales deben estar claramente regulados para garantizar tanto la protección de los derechos del paciente como la eficacia de la investigación forense(13).

Finalmente, es importante señalar que los materiales de osteosíntesis no constituyen un método independiente de identificación. Su utilidad depende de la integración con otras fuentes de información, incluyendo antecedentes clínicos, registros odontológicos, estudios de ADN, antropología forense y análisis radiológicos. En consecuencia, la evidencia científica actual coincide en que estos dispositivos deben considerarse como un método complementario dentro de un enfoque multidisciplinario de identificación humana, en el que la correlación de múltiples hallazgos aumenta progresivamente la certeza pericial(13).

PERSPECTIVA PARA COSTA RICA

En Costa Rica, la identificación humana constituye una función esencial del Departamento de Medicina Legal del Organismo de Investigación Judicial (OIJ), institución responsable de la investigación médico-forense de las muertes violentas, sospechosas o de interés judicial. El país dispone de un sistema de salud predominantemente público, administrado por la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), caracterizado por una amplia cobertura nacional y por la progresiva digitalización del expediente clínico mediante el Expediente Digital Único en Salud (EDUS). Estas características ofrecen un escenario particularmente favorable para fortalecer el uso de la información clínica como herramienta complementaria en los procesos de identificación humana(13).

El incremento sostenido de los procedimientos de traumatología y ortopedia realizados en hospitales nacionales implica que un número creciente de pacientes es portador de placas, tornillos, clavos intramedulares, prótesis articulares y otros dispositivos permanentes. No obstante, la revisión de la literatura evidencia que el verdadero potencial identificativo de estos implantes depende de la calidad de la documentación clínica asociada. En este sentido, aunque los expedientes hospitalarios registran habitualmente el procedimiento quirúrgico efectuado, no siempre incorporan de manera sistemática información específica sobre el fabricante, modelo comercial, dimensiones del implante, número de lote o serie, etiquetas originales del dispositivo e imágenes radiográficas postoperatorias. Esta situación representa una oportunidad de mejora desde la perspectiva médico-legal(13).

La implementación de protocolos nacionales para el registro estandarizado de materiales de osteosíntesis permitiría incrementar significativamente la utilidad de estos dispositivos en futuras investigaciones forenses. Dichos protocolos podrían establecer un conjunto mínimo de información obligatoria dentro del expediente clínico, incluyendo el tipo de implante, fabricante, modelo, material de fabricación, dimensiones, localización anatómica, lateralidad, fecha de implantación, hospital, cirujano responsable, número de lote o identificador único cuando exista, así como las radiografías preoperatorias y postoperatorias correspondientes. La incorporación de esta información favorecería no solamente la vigilancia clínica y la trazabilidad sanitaria, sino también los procesos de identificación post mortem(13).

La interoperabilidad entre el EDUS, los sistemas de archivo y comunicación de imágenes (PACS) y los servicios de medicina legal podría representar un avance significativo para el país. El acceso oportuno a radiografías antemortem permitiría comparar de manera rápida las características morfológicas de los implantes observados durante la autopsia o mediante tomografía computarizada post mortem, reduciendo el tiempo requerido para la identificación y optimizando los recursos disponibles. Asimismo, la consolidación de bases de datos nacionales de implantes ortopédicos facilitaría la localización de información clínica aun cuando el procedimiento hubiese sido realizado años antes del fallecimiento(11,14).

Otro aspecto de especial relevancia corresponde a la capacitación interdisciplinaria. El fortalecimiento de la colaboración entre especialistas en ortopedia y traumatología, radiología, medicina legal, anatomía patológica e informática en salud favorecería la estandarización de criterios de registro y la correcta interpretación de los hallazgos radiológicos durante las investigaciones periciales. La inclusión de contenidos relacionados con la utilidad médico-legal

de los implantes dentro de los programas de formación médica continua podría contribuir a sensibilizar al personal asistencial sobre la importancia de una documentación clínica detallada.

Desde la perspectiva normativa, Costa Rica cuenta con las condiciones institucionales necesarias para desarrollar lineamientos específicos sobre la trazabilidad de dispositivos médicos implantables. La experiencia internacional demuestra que los registros nacionales de artroplastias y los sistemas de identificación única de dispositivos mejoran simultáneamente la seguridad del paciente, la vigilancia sanitaria y las capacidades de identificación forense. La adopción progresiva de estos modelos, adaptados al contexto nacional, podría representar un importante avance para el sistema de salud y para el Departamento de Medicina Legal(14).

Finalmente, la presente revisión permite considerar que el fortalecimiento del registro clínico ortopédico constituye una estrategia de bajo costo y alto impacto potencial para la identificación humana en Costa Rica. La adecuada documentación de los materiales de osteosíntesis, integrada con los estudios radiológicos digitales y los sistemas nacionales de información en salud, podría convertir a estos dispositivos en una herramienta complementaria de gran valor para la práctica médico-legal. En consecuencia, se recomienda promover políticas institucionales orientadas a la estandarización del registro de implantes, la interoperabilidad de la información clínica y el desarrollo de protocolos nacionales que faciliten su utilización en los procesos de identificación post mortem, particularmente en investigaciones judiciales y en eventos con múltiples víctimas(14).

DISCUSIÓN

La presente revisión evidencia que los materiales de osteosíntesis constituyen una herramienta complementaria de creciente importancia dentro de los procesos modernos de identificación humana, particularmente cuando los métodos primarios, como el análisis de ADN, la odontología forense y las huellas dactilares, no pueden aplicarse de forma inmediata o presentan limitaciones derivadas del estado de conservación de los restos humanos. Sin embargo, el principal hallazgo de esta revisión es que el verdadero potencial identificativo de estos dispositivos no depende exclusivamente de sus características físicas o radiográficas, sino de la calidad del registro clínico ortopédico que documenta su implantación. Esta observación coincide con lo descrito por Bukhamseen et al., quienes concluyen que la utilidad de los implantes ortopédicos en medicina legal está directamente condicionada por la disponibilidad de información clínica, radiográfica y documental que permita establecer una correlación objetiva entre los hallazgos antemortem y post mortem (1).

La revisión de la literatura demuestra que la comparación radiográfica continúa siendo uno de los procedimientos más eficaces para establecer una identificación positiva mediante implantes ortopédicos. La configuración geométrica de placas, tornillos, clavos intramedulares y prótesis articulares, junto con las modificaciones óseas secundarias al proceso de consolidación, generan patrones anatómicos altamente individualizantes. Diversos autores han señalado que estas características pueden mantenerse incluso después de procesos avanzados de carbonización, esqueletización o fragmentación, circunstancias en las que otros métodos de identificación presentan importantes limitaciones (2-5). En consecuencia, la correlación entre radiografías antemortem y estudios post mortem representa uno de los pilares de la identificación basada en materiales de osteosíntesis.

No obstante, la presente revisión también pone de manifiesto una importante brecha entre el potencial teórico de estos dispositivos y su aplicación práctica. Aunque numerosos implantes incorporan información sobre fabricante, modelo comercial, dimensiones o número de lote, estos datos no siempre son registrados de manera sistemática dentro del expediente clínico. En muchos sistemas de salud, la documentación quirúrgica se limita a describir el procedimiento realizado, sin conservar etiquetas originales del implante ni información suficiente para reconstruir posteriormente su

trazabilidad. Esta situación reduce considerablemente las posibilidades de identificación, aun cuando el implante permanezca íntegro tras el fallecimiento.

La digitalización de los sistemas de información sanitaria representa una oportunidad para superar parte de estas limitaciones. El desarrollo de expedientes electrónicos, sistemas PACS y registros nacionales de dispositivos médicos facilita el acceso a radiografías históricas y permite recuperar información clínica con mayor rapidez durante una investigación forense. Asimismo, el uso creciente de la tomografía computarizada post mortem y el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial orientados al reconocimiento automático de implantes podrían transformar significativamente los procesos de identificación durante los próximos años, particularmente en incidentes con múltiples víctimas.

Otro aspecto relevante identificado durante esta revisión corresponde a la escasa producción científica relacionada con protocolos específicos para el registro clínico ortopédico con fines médico-legales. La mayoría de los estudios disponibles se concentran en demostrar casos exitosos de identificación mediante implantes, mientras que pocos analizan qué información debería documentarse sistemáticamente para maximizar su utilidad futura. En este sentido, el presente trabajo propone considerar el registro clínico ortopédico como una estrategia preventiva de identificación, incorporando variables como fabricante, modelo, dimensiones, material, localización anatómica, lateralidad, número de lote o serie, fecha de implantación y estudios radiográficos asociados. La estandarización de estos elementos podría fortalecer simultáneamente la práctica clínica, la vigilancia sanitaria y los procesos de identificación post mortem(14).

Desde la perspectiva costarricense, el fortalecimiento del Expediente Digital Único en Salud (EDUS) y la amplia cobertura del sistema público de salud representan una oportunidad para implementar protocolos nacionales de registro de implantes ortopédicos. La interoperabilidad entre los registros hospitalarios, los sistemas de imágenes diagnósticas y el Departamento de Medicina Legal del Organismo de Investigación Judicial permitiría optimizar la recuperación de información antemortem y reducir los tiempos requeridos para la identificación de personas fallecidas. Aunque la implementación de estos sistemas requiere coordinación interinstitucional, los beneficios potenciales en términos de trazabilidad, seguridad del paciente y eficiencia pericial justifican su desarrollo(1,2,5).

Finalmente, esta revisión confirma que los materiales de osteosíntesis no deben considerarse un sustituto de los métodos primarios de identificación, sino una herramienta complementaria cuyo valor aumenta significativamente cuando existe una adecuada documentación clínica. En consecuencia, el fortalecimiento del registro clínico ortopédico constituye una estrategia de bajo costo y alta factibilidad que podría contribuir de manera importante al desarrollo de sistemas modernos de identificación humana basados en evidencia científica.

CONCLUSIONES

La evidencia científica revisada demuestra que los materiales de osteosíntesis constituyen una herramienta complementaria de gran utilidad para la identificación humana post mortem, particularmente en aquellos casos donde los métodos primarios de identificación presentan limitaciones debido al estado de conservación de los restos humanos. Sin embargo, el verdadero valor médico-legal de estos dispositivos no depende únicamente de sus características físicas o radiográficas, sino de la existencia de un registro clínico ortopédico completo que documente de manera sistemática la información quirúrgica, las características técnicas del implante y los estudios de imagen asociados. La correlación entre estos registros y los hallazgos post mortem incrementa significativamente la confiabilidad de los procesos de identificación y fortalece la toma de decisiones periciales.

En el contexto actual, caracterizado por el incremento de los procedimientos ortopédicos y el avance de la radiología forense, la digitalización de los expedientes clínicos y el desarrollo de nuevas tecnologías, resulta necesario

promover la estandarización del registro clínico de los materiales de osteosíntesis como parte de las estrategias de identificación humana. Para Costa Rica, la consolidación del Expediente Digital Único en Salud y la implementación de protocolos nacionales de documentación y trazabilidad de implantes representan una oportunidad para fortalecer la práctica médico-legal, optimizar los procesos de identificación post mortem y contribuir al desarrollo de procedimientos periciales sustentados en la mejor evidencia científica disponible.

Declaración de conflicto de intereses

Se declara que la autora no presenta ningún conflicto de interés por el artículo.

Declaración de financiamiento

La publicación no presentó ningún medio de financiamiento.

REFERENCIAS

1. INTERPOL. Disaster Victim Identification Guide. Lyon: International Criminal Police Organization; 2023.
2. Bukhamseen DH, et al. Orthopaedic implantable devices for forensic human identification: A systematic review. *Forensic Sci Int.* 2022;339:111438. DOI 10.23750/abm.v93i3.12471
3. Simpson EK, James RA, Eitzen DA, Byard RW. Role of orthopedic implants and bone morphology in the identification of human remains. *J Forensic Sci.* 2007;52(2):442-448.
4. O'Donnell C, Iino M. The contribution of postmortem computed tomography to forensic medicine. *Forensic Sci Med Pathol.* 2008;4(2):93-107. DOI 10.1007/s12024-007-9006-8
5. Thali MJ, Dirnhofer R, Vock P. The Virtopsy approach: 3D optical and radiological scanning in forensic investigations. *Forensic Sci Int.* 2009;188(1-3):1-5.
6. Rutty GN, et al. Use of radiology in disaster victim identification: Recommendations of the International Society of Forensic Radiology and Imaging (ISFRI). *Forensic Sci Med Pathol.* 2017;13:140-147.
7. Dedouit F, Telmon N, Costagliola R, et al. Virtual anthropology and forensic identification using postmortem imaging. *Forensic Sci Int.* 2015;251:94-102.
8. Sidler M, Jackowski C, Dirnhofer R, Vock P, Thali MJ. Use of multislice computed tomography in disaster victim identification. *Radiographics.* 2007;27(2):305-317.
9. Jackowski C, Bolliger S, Thali MJ. Common and new imaging modalities in forensic radiology. *Forensic Sci Res.* 2016;1(1):3-13.
10. American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS). Management of Orthopaedic Implants and Implant Documentation. Rosemont (IL): AAOS; 2021.
11. World Health Organization. Global guidance for medical device surveillance and traceability. Geneva: WHO; 2021.
12. International Society of Forensic Radiology and Imaging (ISFRI). Guidelines for postmortem imaging in forensic identification. Zurich: ISFRI; 2022.
13. European Commission. Medical Device Regulation (EU) 2017/745 on traceability of implantable medical devices. Brussels: European Union; 2017.
14. James RA, Nordby JJ. *Forensic Science: An Introduction to Scientific and Investigative Techniques*. 5th ed. Boca Raton: CRC Press; 2020.