

La Inteligencia Artificial (IA) en la Medicina del Dolor: una revisión exhaustiva.

Narváez Encinas Miguel Andrés¹, Narváez Tamayo Marco Antonio², Varrassi Giustino³ y Celso Antonio Fretes Ramírez⁴

Referencias

¹Médico cirujano, Facultad de Medicina Universidad Mayor de San Andres (UMSA), La Paz, Bolivia.
miguelandresne@gmail.com.

²Centro de Medicina del Dolor y Columna. Instituto Randall, Asunción-Paraguay.
marcoanarvaezt@gmail.com

³ Investigación y Educación, Fundación Paolo Procacci, Roma, Italia.
giuvarr@gmail.com

⁴Centro de Medicina del Dolor y Columna. Instituto Randall, Asunción-Paraguay.
info@institutorandall.com

Título en inglés

Artificial Intelligence in pain medicine: a comprehensive review

Correspondencia

Giustino Varrassi

Correo

Paolo Procacci Foundation, Via Tacito, 7, 00193, Roma, Italia.

Correo electrónico

giuvarr@gmail.com

Numero ORCID de los autores:

Miguel Andres Narvaez Encinas
ORCID: 0009-0009-3190-5965

Marco Antonio Narvaez Tamayo
ORCID: 0000-0002-6529-0139

Giustino Varrassi
ORCID: 0000-0002-3822-2923

Celso Antonio Fretes Ramirez
ORCID: 0009-0009-0891-4003

Resumen

La inteligencia artificial (IA) está transformando la medicina en general y de manera particular nos enfocamos en la medicina del dolor, donde aporta soluciones novedosas para la evaluación, el diagnóstico y el tratamiento del dolor. Esta revisión explora la aplicación de tecnologías de IA, como el aprendizaje automático (ML), la visión artificial (CV), el procesamiento del lenguaje natural (NLP) y la robótica, en el tratamiento del dolor. El dolor, una afección prevalente y debilitante, a menudo dificulta la evaluación precisa y el tratamiento eficaz. Los métodos tradicionales, que dependen de autoinformes subjetivos y mediciones fisiológicas, carecen de precisión. La capacidad de la IA para integrar datos de dispositivos portátiles, registros médicos electrónicos (EHR) y otras fuentes presenta un enfoque más objetivo.

Esta revisión sintetiza la investigación actual, destacando el potencial de la IA para mejorar la evaluación del dolor a través del análisis de la expresión facial, los biomarcadores digitales y la Internet de las cosas (IoT). Se analiza el papel de la IA en la mejora de la precisión diagnóstica, en particular en la obtención de imágenes y el reconocimiento de patrones y su capacidad para optimizar los planes de tratamiento personalizados a través de herramientas impulsadas por IA, como la realidad virtual y aumentada. Si bien es prometedora, la implementación de la IA enfrenta desafíos que incluyen la privacidad de los datos, la interpretabilidad, los posibles sesgos y la necesidad de una validación exhaustiva. A pesar de estos obstáculos, la IA ofrece oportunidades significativas para revolucionar el manejo del dolor, mejorando potencialmente los resultados de los pacientes y agilizando los flujos de trabajo clínicos. Es esencial realizar más investigación y desarrollo para aprovechar al máximo las capacidades de la IA en este campo.

Palabras claves

inteligencia artificial, dolor, evaluación del dolor, medición del dolor, manejo del dolor

Abstract

Artificial intelligence (AI) is transforming medicine in general, but especially pain medicine offering novel solutions for the assessment, diagnosis, and management of pain. This review explores the application of AI technologies—such as machine learning (ML), computer vision (CV), natural language processing (NLP), and robotics—in pain. Pain, a prevalent and debilitating condition, often challenges accurate assessment and effective management. Traditional methods, reliant on subjective self-reports and physiological measurements, lack precision. AI's ability to integrate data from wearable devices, electronic health records (EHRs), and other sources presents a more objective approach.

This review synthesizes current research, highlighting AI's potential to enhance pain assessment through facial expression analysis, digital

biomarkers, and the Internet of Things (IoT). AI's role in improving diagnostic accuracy, particularly in imaging and pattern recognition, and its capacity to optimize personalized treatment plans through AI-powered tools like virtual and augmented reality are discussed. While promising, AI implementation faces challenges including data privacy, interpretability, potential biases, and the need for extensive validation. Despite these hurdles, AI offers significant opportunities to revolutionize pain management, potentially improving patient outcomes and streamlining clinical workflows. Further research and development are essential to fully harness AI's capabilities in this field.

Palabras claves

artificial intelligence, pain, pain assessment, pain measurement, pain management

Introducción

El dolor, un fenómeno complejo y multifacético, sigue siendo un desafío importante para los proveedores de atención médica en todo el mundo. Las metodologías existentes para la evaluación, medición y manejo del dolor, aunque valiosas, a menudo no brindan resultados precisos y consistentes. Esta imprecisión puede conducir a diagnósticos erróneos y estrategias de manejo subóptimas, lo que afecta negativamente los resultados del paciente. La integración de la inteligencia artificial (IA) en la medicina del dolor presenta una oportunidad para abordar estas limitaciones y revolucionar el campo.^{1,2}

Las herramientas actuales de evaluación del dolor, basadas predominantemente en autoinformes, métodos de observación y fisiología indirecta, incluyen las escalas de calificación verbal (VRS)³, las escalas de calificación numérica (NRS) [4], y las escalas analógicas visuales (VAS) [5], entre otras. [6,7]. Estas técnicas convencionales pueden conducir a una variabilidad en la evaluación del dolor, diagnósticos erróneos y planes de tratamiento subóptimos, lo que en última instancia afecta negativamente los resultados del paciente^{8,9}

Las tecnologías de inteligencia artificial, como el aprendizaje automático (ML), el procesamiento del lenguaje natural (NLP) y la visión artificial (CV), ofrecen soluciones prometedoras para estos desafíos. Al analizar grandes cantidades de datos de registros médicos electrónicos (EHR), dispositivos portátiles y estudios de imágenes, la IA puede identificar patrones y correlaciones que pueden no ser evidentes para los médicos². Esta capacidad puede mejorar la precisión del diagnóstico, predecir las trayectorias del dolor y optimizar los planes de tratamiento¹⁰.

Nuestro objetivo era proporcionar a los médicos especialistas en el tratamiento del dolor una descripción general de la IA, incluidas definiciones importantes y cómo la IA puede ayudar en la evaluación, el diagnóstico y el tratamiento del dolor. Al adoptar una mejor comprensión, podemos allanar el camino mientras la IA resuelve sus limitaciones y desafíos, para fomentar una adopción clínica adecuada

de los numerosos beneficios que la IA tiene para ofrecer a nuestros pacientes.

Metodología

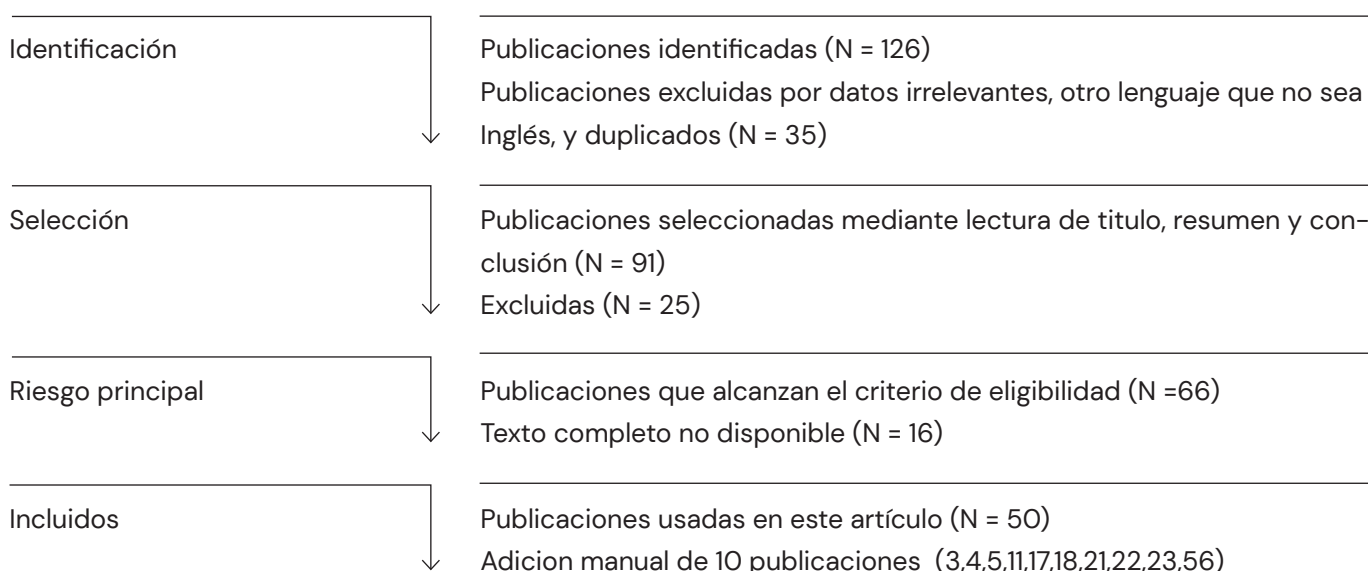
Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos como PubMed, EMBASE, Web of Science, Science Direct y Google Scholar. También se realizó una revisión manual de referencias de sitios relevantes y se agregaron referencias adicionales. La estrategia de búsqueda incluyó las siguientes palabras clave: inteligencia artificial, dolor, manejo del dolor, evaluación del dolor, medición del dolor.

Se incluyeron artículos que cumplieran con los criterios de inclusión, publicados en inglés en los últimos cinco años, relevantes para la enfermedad, que proporcionaban información sobre la IA en la medicina del dolor y que involucraban a pacientes adultos. La búsqueda abarcó estudios observacionales, transversales, de cohorte, de casos y controles, longitudinales, revisiones sistemáticas, metaanálisis y algunos estudios piloto.

Los criterios de exclusión fueron artículos en idioma distinto del inglés, imposibilidad de acceder al texto completo, informes de casos, editoriales, resúmenes de conferencias y opiniones de expertos.

La estrategia de búsqueda arrojó 113 publicaciones, de las cuales 32 fueron excluidas por diversas razones (por ejemplo, artículos duplicados, idioma distinto del inglés, información irrelevante, informe de caso o texto completo no disponible). La revisión final identificó 50 publicaciones. Se añadieron diez publicaciones adicionales mediante una búsqueda manual, lo que dio como resultado un total de 60 artículos incluidos en esta revisión (Fig. 1).

Figura. 1 – Diagrama de flujo PRISMA de los estudios incluidos ¹¹



Términos importantes

1. Inteligencia Artificial

La definición de Inteligencia Artificial evoluciona continuamente debido a su capacidad de mejorar y adquirir nuevas capacidades. Inicialmente, la IA era un robot capaz de ganar una partida de ajedrez. Hoy en día, la IA puede resolver diferentes problemas y realizar razonamientos y acciones mucho más complejos¹². Dos definiciones que nos ayudan a entender la IA son:

- La IA es una rama creciente de la ingeniería informática que implementa conceptos y soluciones novedosos para resolver desafíos complejos¹³.
- La IA es la simulación de los procesos de inteligencia humana por parte de máquinas, especialmente sistemas informáticos. Estos procesos incluyen el aprendizaje (la adquisición de información y reglas para utilizar la información), el razonamiento (el uso de reglas para llegar a conclusiones aproximadas o definitivas) y la autocorrección¹⁴.

2. Grandes datos o “Big Data”

La IA analiza grandes cantidades de datos de forma rápida y precisa, lo que se conoce como “Big Data” debido a su tamaño y complejidad. Los Big Data consiste en grandes conjuntos de datos que la IA analiza. Por lo general, el tamaño, la complejidad o la velocidad de acumulación de estos conjuntos de datos exceden el alcance de las técnicas de análisis tradicionales¹⁵.

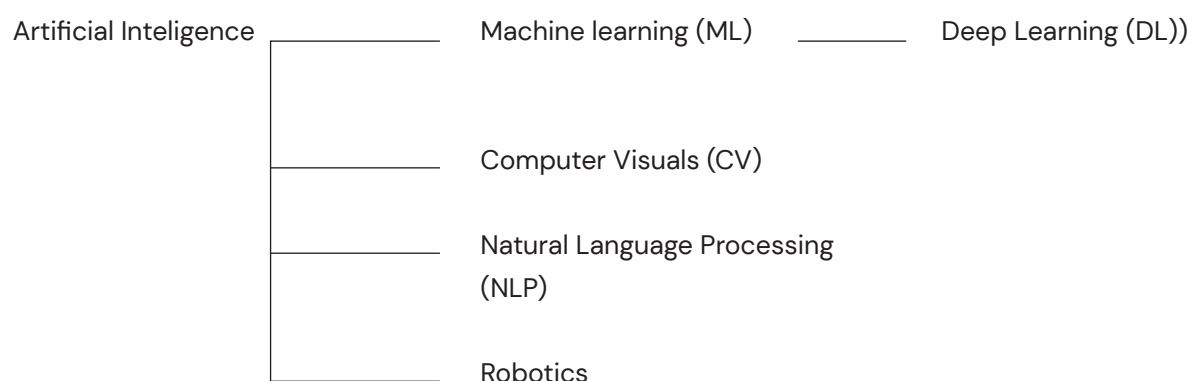
3. Subcategorías de IA (Fig. 2)

La IA tiene varias subcategorías, entre ellas el aprendizaje automático o machine learning (ML), las imágenes por computadora o computer visuals (CV), el procesamiento del lenguaje natural o natural language processing (NLP), y robótica o robotics.^{14,15}

- a. ML utiliza datos del mundo real para identificar patrones, hacer predicciones y tomar decisiones. El aprendizaje automático puede aprender y mejorar a partir de la experiencia sin necesidad de ser programado.
- b. CV implica sistemas de IA que analizan y comprenden datos visuales, como imágenes o videos.
- c. NLP se refiere a sistemas de IA que pueden comprender y generar lenguaje humano, lo que permite tareas como el reconocimiento de voz y la traducción de idiomas.
- d. Robotics implica sistemas de IA que controlan e interactúan con robots físicos para realizar tareas en el mundo físico.

4. Aprendizaje profundo o Deep Learning (DL) es una subcategoría de ML que utiliza redes neuronales artificiales, que son “algoritmos inteligentes que se autoanalizan, adaptan y predicen con poca o ninguna participación humana”¹⁵. DL puede realizar aprendizaje no supervisado a partir de entradas no etiquetadas y no estructuradas. Esto requiere capacidades de procesamiento informático sofisticadas y permite que la máquina funcione de forma autónoma, descubriendo conexiones ocultas dentro de distintos niveles de datos.¹⁵.

Figura. 2 – Categorías de Inteligencia Artificial.¹⁴



Inteligencia artificial en la evaluación del dolor

En las primeras etapas de una afección dolorosa, la IA, a través de sus capacidades de aprendizaje automático, puede predecir la probabilidad de que un paciente experimente dolor en función de los datos demográficos y las características clínicas proporcionadas por el médico¹⁵. En otras palabras, la IA y el aprendizaje automático pueden ayudar a sugerir intervenciones tempranas para prevenir la progresión del dolor agudo a una afección persistente y crónica¹⁴.

Cada día, los médicos se enfrentan a desafíos a la hora de evaluar el dolor debido a la ausencia de un dispositivo o método específico para medir objetivamente la gravedad del dolor. Sin embargo, esto podría cambiar con la introducción de la IA, que puede analizar datos extraídos de dispositivos portátiles, registros médicos electrónicos, aplicaciones móviles o incluso datos fisiológicos⁸.

Tradicionalmente, los métodos de identificación del dolor se clasifican en “Autoinforme”, “Observación del comportamiento e inferencia” y “Fisiología indirecta”⁷. Estos métodos suelen incluir escalas como las escalas de calificación verbal (VRS), Escala de Visión Análoga (EVA), y varias otras^{3-5,16-25}. Al integrar datos tradicionales e incorporar nuevos modelos, como biosensores, movimientos oculares, conductancia de la piel y expresiones faciales, la IA puede ayudar a convertir las mediciones subjetivas del dolor en evaluaciones más objetivas⁸.

1. Evaluación del dolor a través de la expresión facial y el análisis del lenguaje.

Las imágenes proporcionan una forma conveniente de registrar y compartir información, pero utilizar la información expresada por las imágenes puede ser un desafío. Por lo tanto, el uso de computadoras para clasificar y reconocer de manera inteligente los datos de las imágenes sería particularmente importante ¹⁶. Por ejemplo, la IA puede definir una expresión facial de referencia y analizar los cambios utilizando algoritmos para detectar y vincular las expresiones faciales asociadas con el dolor ¹⁴.

En un estudio realizado por Cascella M. et al. ⁹, un sistema pre-entrenado basado en métodos CV y NLP fue capaz de detectar si un paciente con cáncer exhibía expresiones faciales indicativas de dolor. Se implementó la herramienta ELAN (versión 6.3) para combinar y analizar las expresiones faciales cuadro por cuadro y el análisis del lenguaje, incluido el análisis fonético y prosódico textual, el sentimiento y la excitación para evaluar los cambios en el dolor.

2. Evaluación del dolor mediante biomarcadores digitales.

Los biomarcadores digitales se definen como "medidas fisiológicas y conductuales objetivas y cuantificables recopiladas mediante dispositivos digitales que son portátiles, ponibles, implantables o digeribles"¹⁷. Los dispositivos ponibles incluyen pulseras, relojes inteligentes, sensores móviles ponibles y camisetas inteligentes ponibles. Estos dispositivos pueden ayudar a recopilar grandes cantidades de datos de los pacientes, lo que ayuda en el seguimiento y el manejo del dolor ¹⁴. Los dispositivos ponibles también se han explorado para la evaluación del dolor en poblaciones no verbales, como bebés, personas con problemas de comunicación y personas con discapacidad mental, como pacientes con demencia ¹⁷.

3. Otros métodos que pueden potenciarse con la IA.

Los modelos de aprendizaje automático (como redes neuronales artificiales, regresión lineal, regresión de vectores de soporte y máquinas de vectores de soporte) pueden incorporar modelos probabilísticos como el bayesiano ingenuo gaussiano y los modelos ocultos de Markov. Esto ayudaría a los médicos a comprender datos subjetivos a través de mediciones fisiológicas objetivas. ¹⁸

4. Evaluación del dolor a través del Internet de las cosas – “Internet of Things” (IoT).

El Internet de las cosas (IoT) es un paradigma conceptual complejo que conecta miles de millones de dispositivos de Internet para intercambiar datos entre ellos y con su entorno. Crea interacciones inteligentes y conecta dispositivos físicos a sistemas digitales. El Internet

de las cosas permite que múltiples dispositivos detecten, transmitan, procesen e intercambien información ¹⁴. Dispositivos como sensores inteligentes móviles conectados a Internet en la ropa o en los muebles pueden capturar datos relacionados con el dolor, como indicadores fisiológicos, comportamientos relacionados con el dolor, postura corporal, movimientos y distribución de la presión ¹⁹.

Las casas inteligentes, por ejemplo, pueden estudiar la postura corporal, los movimientos y los ajustes de las posiciones de los asientos, creando nuevas formas de evaluar el dolor y ayudar a las personas que viven con dolor ²⁰. Esta tecnología se ha utilizado para evaluar los niveles de dolor en pacientes con fibromialgia, dolor musculoesquelético (como el dolor lumbar), síntomas de abstinencia de opioides y episodios de apnea ²¹.

Evaluación del dolor antes, durante y después de la cirugía

La CV y la PNL desempeñan un papel crucial en la evaluación de los niveles de dolor a lo largo del período quirúrgico. Por un lado, la CV ha demostrado su eficacia en la evaluación del dolor mediante el análisis de signos o señales visuales como expresiones faciales, posturas corporales o patrones de movimiento ¹⁵. Por otro lado, la PNL puede analizar evaluaciones del dolor basadas en texto, como descripciones del dolor de informes de pacientes, diarios de dolor o historias clínicas electrónicas. Además, la PNL puede utilizar las redes sociales e identificar experiencias relacionadas con el dolor, y la PNL puede analizar el lenguaje utilizado para describir el dolor, las tendencias o los patrones ¹⁵. Según una investigación presentada en la reunión anual de Anestesiología 2023 en San Francisco; un sistema automatizado de reconocimiento del dolor que utiliza inteligencia artificial es prometedor como un método imparcial para detectar el dolor en pacientes antes, durante y después de la cirugía ²².

Los algoritmos más complejos en el aprendizaje a distancia han demostrado ser eficaces para predecir el riesgo de que se presenten múltiples síntomas concurrentes, como dolor, depresión y falta de bienestar [8]. Esta capacidad puede ser particularmente valiosa en el manejo proactivo de los síntomas, permitiendo a los proveedores de atención médica intervenir antes de que los síntomas se agraven y se vuelvan debilitantes. En consecuencia, la IA tiene el potencial de mejorar los resultados de los pacientes ⁸.

Inteligencia artificial en el diagnóstico del dolor

Las tecnologías basadas en IA y ML ofrecen métodos novedosos e interfaces de programación eficientes para analizar grandes cantidades de datos, lo que ayuda a los profesionales médicos a tomar decisiones

más informadas y al mismo tiempo, reducir los errores humanos ¹⁴. Por ejemplo, los algoritmos de IA pueden analizar datos de pacientes, incluidos registros médicos, resultados de estudios de diagnóstico por imágenes e información genética, para ayudar a los médicos a comprender la causa principal y hacer un diagnóstico final ²³.

ML puede identificar:

1. Patrones potenciales.
2. Datos relevantes de la historia clínica.
3. Predisposiciones genéticas a enfermedades dolorosas o perfiles genéticos.
4. Estrategias previas de manejo del dolor.
5. Factores de riesgo de dolor crónico y sobredosis de opioides, que permiten a los médicos orientar a los pacientes con intervenciones preventivas y actividades de adherencia médica ²⁴.
6. Clasificación del mecanismo del dolor en subtipos, como neuropáticos, nociceptivos o nociplásticos por ejemplo ²⁵. Esto tiene el potencial de mejorar la precisión del diagnóstico del dolor y conducir a tratamientos más efectivos.
7. Mejora la precisión diagnóstica, reduciendo el riesgo de diagnóstico erróneo y en consecuencia, disminuyendo los costos financieros^{14,15}.

Tres estudios representan hitos. En primer lugar, Soin et al. ²⁶ demostraron que la IA podría ayudar en la toma de decisiones para el dolor de columna, logrando una tasa de precisión del 72% en diagnósticos generados por software utilizando datos de pacientes. En segundo lugar, los algoritmos de aprendizaje automático han sido útiles para diagnosticar síndromes de dolor facial, como la neuralgia del trigémino y predecir la tasa de éxito de las intervenciones ²⁷. En tercer lugar, Vandenbussche et al. ²⁸ demostraron que la PNL y el aprendizaje automático pueden clasificar con precisión las migrañas frente a las cefaleas en racimos.

Inteligencia artificial en imagenología

La IA se utiliza actualmente en otros campos médicos para tareas como el análisis automático de radiografías pulmonares, la medición de la densidad ósea, el diagnóstico de fracturas y la determinación de diagnósticos y tratamientos de cáncer ¹³. Los algoritmos de aprendizaje automático detectan, a través del reconocimiento de patrones, cambios anatómicos asociados con enfermedades, como afecciones de la columna vertebral, mucho más rápido y con mayor precisión que los radiólogos ^{29,30}, debido a la capacidad de CV para etiquetar cada píxel de una imagen con una clase correspondiente para detec-

tar elementos relevantes:

- Se pueden procesar imágenes médicas, como radiografías o resonancias magnéticas, para extraer características y patrones significativos ⁹.
- Las lecturas de EEG también se pueden analizar para su evaluación más objetiva ¹⁴.

Las máquinas de fluoroscopia con capacidad de IA podrían diferenciar imágenes óptimas de imágenes subóptimas mediante el aprendizaje automático y recomendar técnicas y precisión mejoradas para el médico. Además, el reconocimiento de patrones con IA podría identificar zonas óptimas para el avance y la trayectoria de la aguja, algo que se aplica de manera similar a las inyecciones epidurales y otros procedimientos o técnicas intervencionistas en el manejo avanzado del dolor ¹⁵.

Dos estudios han demostrado la utilidad de la anestesia regional guiada por ultrasonido (UGRA), que implica visualizar la sono-anatomía en tiempo real para guiar la inserción de la aguja y el depósito de anestésico local alrededor de los nervios para anestesia o analgesia en la región objetivo ³¹. Estas investigaciones presentaron una evaluación inicial de un sistema de IA llamado bloqueo de nervio periférico de anatomía ScanNav, que utiliza DL para producir una superposición de color en la ecografía en modo B en tiempo real, resaltando las estructuras de interés en UGRA. DL ha aprendido a asociar regiones con algoritmos a lo largo del tiempo, adquiriendo una vista precisa de las estructuras clave ^{31,32}.

Durante una exploración del plexo braquial a nivel subclavio, ScanNav produjo una superposición de color azul para identificar la primera costilla, violeta para la pleura, rojo para la arteria subclavia y amarillo para los nervios del plexo supraclavicular ³¹. Se evaluó la precisión de la superposición de color en relación con las estructuras anatómicas clave y se evaluó su potencial para resaltar y reducir el riesgo de eventos adversos y, por ende, complicaciones asociadas a las técnicas (p. ej., traumatismo de la aguja en nervios, arterias y pleura) y falla del bloqueo. Los expertos encontraron que el resaltado fue útil en el 100 % de los casos para 31 de 34 estructuras, y concluyeron que ayudaría a los operadores no expertos o a los profesionales con menos experiencia a confirmar la vista ecográfica correcta en el 100 % de los casos ^{31,32}.

Inteligencia artificial en el manejo del dolor

La IA tiene el potencial de optimizar los planes de tratamiento y mejorar los resultados terapéuticos. Puede analizar grandes conjuntos de datos que contienen información del paciente, respuestas al tra-

tamiento y resultados para identificar patrones y brindar recomendaciones basadas en evidencia. Por ejemplo, los pacientes pueden usar la IA para obtener acceso a la terapia cognitivo-conductual (TCC), lo que reduce el costo para los pacientes ³³. Además, las herramientas impulsadas por IA, como la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA), pueden brindar intervenciones personalizadas, que incluyen: ^{3,6,15}

1. T.C.C.
2. Ejercicios de fisioterapia.
3. Apoyo a la adherencia a la medicación.
4. Proporcionar entornos de realidad virtual inmersiva para el manejo individualizado del dolor.

El papel de la ia en el seguimiento y la educacion del paciente.

Monitorización

Con dispositivos portátiles y hogares inteligentes, la IA puede detectar signos tempranos de exacerbación del dolor ^{22,34}. La robótica también se puede utilizar en el manejo del dolor tanto en condiciones agudas como crónicas. Un estudio reciente utilizó robots de asistencia social para evaluar y manejar el dolor en pacientes con demencia, sus familiares y sus cuidadores ¹⁵. La IA recibió cinco sesiones por semana durante tres semanas, con resultados prometedores, aunque se observaron limitaciones, principalmente relacionadas con la capacitación del personal ¹⁴.

Educación

La introducción de IA en la educación de los pacientes podría mejorar su conocimiento sobre su enfermedad, haciendo que el proceso de aprendizaje sea personalizable, interactivo, accesible y disponible.

1. Comprender el mecanismo del dolor.

Los pacientes pueden obtener información sobre la compleja biología y fisiología del dolor mediante la visualización personalizada de los mecanismos del dolor. Por ejemplo, un paciente con dolor de espalda crónico con síntomas radiculares puede beneficiarse de demostraciones de realidad virtual que muestran que una hernia de disco lumbar puede afectar las raíces nerviosas, lo que desencadena una cascada inflamatoria que da lugar al dolor radicular ²³.

2. Personalización y adaptación.

a. El contenido educativo se puede adaptar a las necesidades específicas de cada paciente analizando su historial médico completo, datos socioeconómicos y demográficos, síntomas, preferencias y resultados ^{23,35}.

b. La IA puede alentar a los pacientes a asumir un papel activo en su atención, promoviendo la autonomía y mejorando la adherencia al tratamiento ²³.

c. Los materiales educativos pueden incluir instrucciones para el paciente, sugerencias de medicamentos, pautas previas al procedimiento, sugerencias y educación sobre los dispositivos para el dolor ^{23,36,38}.

d. A través de la PNL, los pacientes pueden hacer preguntas, buscar aclaraciones y recibir respuestas personalizadas, fomentando experiencias de aprendizaje dinámicas e interactivas ^{23,35}.

e. Por ejemplo, la IA puede analizar los datos de un paciente, como los síntomas y los marcadores genéticos, para sugerir técnicas de relajación, entrenamiento personalizado, ejercicios de atención plena, biorretroalimentación y rutinas de fisioterapia ^{23,39,40}.

f. Los algoritmos de IA pueden generar notificaciones y alertas personalizadas basadas en el plan de tratamiento del paciente, el cronograma de medicamentos y las preferencias, enviadas a través de mensajes de texto o notificaciones de voz ^{23,41}.

3. Experiencia de aprendizaje interactiva.

a. Los chatbots pueden servir como compañeros y educadores virtuales, ayudando a los pacientes a comprender técnicas de manejo del dolor, recomendar ejercicios, brindar orientación sobre el uso de medicamentos y recompensar a los pacientes por completar módulos educativos ^{8,23}.

b. Los pacientes pueden recibir incentivos virtuales por cumplir con la medicación, hacer ejercicio y acudir a las citas ³⁸.

c. La IA permite a los pacientes crear avatares para interactuar con otros con afecciones similares, seguir su progreso y así recibir retroalimentación positiva ⁴².

4. Accesibilidad y disponibilidad

a. Las aplicaciones móviles y las plataformas web proporcionan un acceso fácil a la información, rompiendo las barreras y límites geográficas ²³.

b. Los pacientes pueden acceder a materiales educativos en cualquier momento, en cualquier lugar y en su idioma preferido.

c. Por ejemplo, un paciente con dolor crónico en un área remota sin acceso a clínicas especializadas puede beneficiarse de plataformas impulsadas por IA que brinden recursos educativos ²³.

Limitaciones y desafíos.

Si bien la IA muestra un potencial prometedor para la evaluación, manejo y tratamiento del dolor, presenta limitaciones y desafíos, entre

los que se incluyen los siguientes:

1. Privacidad y seguridad de los datos.

La recopilación, el análisis, el desarrollo y el uso de información confidencial de los pacientes por parte de la IA plantean inquietudes sobre la privacidad y seguridad ¹⁵. Se deben implementar medidas sólidas de protección de datos, que incluyan cifrado y almacenamiento seguro, para salvaguardar los datos de los pacientes del acceso no autorizado ²³.

2. Interpretabilidad, explicabilidad y transparencia.

Los modelos de IA a menudo funcionan como "cajas negras", lo que significa que incluso quienes los diseñan no pueden comprender completamente cómo se combinan las variables para hacer predicciones ⁴⁵. Esta falta de interpretabilidad puede socavar la confianza en los modelos de IA, en particular en el ámbito de la atención sanitaria, donde las decisiones pueden tener consecuencias de vida o muerte. Establecer confianza entre los pacientes y los proveedores ²³.

3. Potenciales de error y sesgo.

Los algoritmos de IA podrían dar lugar a evaluaciones inexactas del dolor y a decisiones incorrectas. Por ejemplo, si los datos de entrenamiento de IA incluyen predominantemente pacientes blancos, los modelos resultantes pueden no funcionar bien para poblaciones no blancas. Dado que el 62 % de la población se identifica únicamente como blanca, mientras que el 38 % se identifica como no blanca o una combinación de blanca y otra raza; este sesgo en los datos de entrenamiento puede dar lugar a resultados erróneos para el segmento no blanco de la población. ^{23,45,46}

4. Interacción hombre-máquina y "deshumanización".

Según un estudio de Formosa y colaboradores, las personas pueden preferir que los encargados de tomar decisiones sean humanos en lugar de la IA en el contexto de la atención sanitaria, lo que pone de relieve un "sesgo humano". Esta preferencia sugiere que la integración de la IA en la atención sanitaria requiere una consideración cuidadosa de los factores humanos para mantener la dignidad y el respeto.

5. Desafío en la recolección de datos.

La IA se basa en dos tipos de información: datos generados por humanos y datos de sus propios procesos, incluido el IoT. Recopilar datos de pacientes puede resultar agotador para los proveedores de atención médica y difícil debido a los recursos limitados y las preocupaciones por la privacidad. Determinar

quién debe recopilar estos datos, los proveedores de atención médica que pasan más tiempo interactuando con los pacientes que los médicos, también es un desafío ²³.

6. Costo en la atención médica y acceso a la atención.

Si bien la implementación de la IA en la atención médica implica altos costos iniciales y capacitación, ofrece soluciones económicas y posibles ahorros de costos en diagnóstico y tratamiento a largo plazo ⁴⁸.

7. La IA está en sus primeras etapas.

Muchos estudios que utilizan el aprendizaje automático tienen muestras de tamaño pequeño, lo que genera inquietudes sobre la posibilidad de generalizar los hallazgos a poblaciones más grandes. Esta cuestión pone de relieve la necesidad de realizar investigaciones y validaciones más exhaustivas ⁴⁹.

8. Empoderamiento del paciente.

Es esencial equilibrar las recomendaciones basadas en IA con las preferencias y valores individuales de los pacientes. La IA debería mejorar la toma de decisiones de los pacientes en lugar de reemplazarla, preservando así su autonomía y empoderamiento ²³.

9. Desinformación

A pesar de sus beneficios, la IA tiene el potencial de difundir información errónea a una escala sin precedentes. Un estudio de Johns Hopkins demostró que, en 65 minutos, un modelo de IA creó 102 publicaciones de blog con más de 17.000 palabras de información errónea. Esto subraya la necesidad de un seguimiento y control cuidadoso del contenido generado por IA ^{23,50}.

Discusión

La integración de la IA en el manejo y tratamiento del dolor representa un avance significativo en la tecnología médica. Esta revisión destaca varias áreas clave en las que la IA ha demostrado potencial para mejorar la evaluación, el diagnóstico y el tratamiento del dolor. Las herramientas de diagnóstico basadas en IA han demostrado una alta precisión en la identificación de afecciones relacionadas con el dolor a través del análisis de imágenes médicas y datos de pacientes. ^{14,15,23}. Yang et al. ⁹ informan que los algoritmos de ML pueden superar a los métodos tradicionales en la detección de patrones asociados con las afecciones del dolor, lo que conduce a diagnósticos más oportunos y precisos. Además, las herramientas de evaluación del dolor impulsadas por IA, como el software de reconocimiento facial y el NLP, ofrecen

mediciones objetivas de la intensidad y la calidad del dolor, abordando la naturaleza subjetiva de las evaluaciones tradicionales del dolor ^{8,18}. Este avance tecnológico es particularmente beneficioso en la población que puede tener dificultades para comunicar sus niveles de dolor, como los niños o las personas con deterioro cognitivo ¹⁷.

A pesar de estos avances prometedores, varias limitaciones en la evidencia justifican un debate. Muchos estudios incluidos en esta revisión son preliminares y se basan en muestras pequeñas, que pueden no ser representativas de la población en general. Además, faltan estudios longitudinales que examinen la eficacia y la seguridad a largo plazo de las intervenciones con IA en el tratamiento del dolor. El proceso en sí también tiene limitaciones. El rápido ritmo de desarrollo de la IA implica que constantemente surgen nuevos estudios y tecnologías, y es posible que nuestra revisión no recoja los últimos avances.

Los hallazgos de esta revisión tienen varias implicaciones importantes para la práctica clínica, las políticas y la investigación futura. En el ámbito clínico, la adopción de herramientas de IA puede mejorar la precisión y la personalización del tratamiento del dolor, mejorando en última instancia los resultados de los pacientes ^{13,23}. Sin embargo, los profesionales deben recibir la capacitación adecuada para integrar eficazmente estas tecnologías en su práctica [48]. Desde una perspectiva de políticas, es necesario desarrollar marcos regulatorios para garantizar la seguridad, la eficacia y el uso ético de la IA en el tratamiento del dolor ^{12,15,23,44}.

Las futuras investigaciones deberían centrarse en la realización de ensayos multicéntricos a gran escala para validar la eficacia y la seguridad de las intervenciones con IA en diversas poblaciones de pacientes. También se necesitan estudios longitudinales para evaluar el impacto a largo plazo de la IA en los resultados del tratamiento del dolor. Además, la investigación debería explorar la integración de la IA con otras tecnologías emergentes, como la telemedicina y la genómica, para mejorar aún más las estrategias de tratamiento del dolor.

Al comparar los resultados de esta revisión con la literatura existente, es evidente que el papel de la IA en la evaluación, el diagnóstico y el tratamiento del dolor se reconoce cada vez más como transformador. Los estudios anteriores se han centrado principalmente en el potencial teórico de la IA, mientras que los estudios empíricos recientes, como se destaca en esta revisión, proporcionan evidencia concreta de la eficacia de la IA en entornos clínicos.

En general, si bien la integración de la IA en el tratamiento del dolor aún se encuentra en sus etapas iniciales, la evidencia disponible hasta la fecha sugiere un potencial significativo para mejorar la atención al paciente. La investigación y la colaboración continua entre médicos, investigadores y responsables de las políticas serán esenciales para aprovechar plenamente este potencial.

Conclusión

La IA tiene un potencial significativo para revolucionar la evaluación, el diagnóstico y el tratamiento del dolor. Al integrar datos tradicionales con modelos innovadores de IA, los proveedores de atención médica pueden lograr una comprensión más objetiva y completa del dolor. Sin embargo, se deben abordar desafíos como la privacidad de los datos, la interpretabilidad, los posibles sesgos y la necesidad de estudios más amplios y sólidos para aprovechar al máximo el potencial de la IA en la medicina del dolor. Esta revisión subraya la importancia de investigación y desarrollo continuo en este campo, con el objetivo de mejorar los resultados de los pacientes y ayudar a los médicos a brindar una atención óptima. A medida que avanzan las tecnologías de IA, ofrecen oportunidades interesantes para transformar el tratamiento del dolor y en última instancia, mejorar la calidad de vida de los pacientes.

Paternidad literaria

Todos los autores han cumplido con los criterios del Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas (ICMJE) para la autoría de este artículo.

Contribuciones del autor

Todos los autores citados contribuyeron significativamente al desarrollo de este artículo de revisión. G. Varrassi (autor de correspondencia) contribuyó al concepto, diseño y supervisión de todos los pasos. Marco Narváez brindó supervisión, aportes intelectuales y la selección de estudios relevantes. Miguel Narváez participó en la búsqueda de estudios, la redacción y la edición. Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final de este artículo.

Fondos

No se recibió financiación ni patrocinio para este artículo.

Declaraciones conflicto de intereses

Giustino Varrassi es miembro del consejo editorial de varias revistas. No existe ningún conflicto de intereses entre los demás autores.

Aprobación ética

Este artículo no contiene ninguna investigación nueva, ni en seres hu-

manos ni en animales, sino que se basa en investigaciones anteriores, por lo que no ha necesitado la aprobación previa del Comité de Ética.

Reconocimiento

Los autores agradecen a la Asociación Boliviana del Dolor (ABD) y a la Federación Latinoamericana de Asociaciones para el Estudio del Dolor (FEDELAT), por el apoyo recibido durante el proceso de publicación.

Referencias bibliográficas

1. Fink R. Pain assessment: the cornerstone to optimal pain management. *Proc Bayl Univ Med Cent* 2000;13:236–9.
2. Esteva A, Robicquet A, Ramsundar B, Kuleshov V, DePristo M, Chou K, et al. A guide to deep learning in healthcare. *Nat Med* 2019;25:24–9. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0316-z>.
3. Lee H-J, Cho Y, Joo H, Jeon JY, Jang Y-E, Kim J-T. Comparative study of verbal rating scale and numerical rating scale to assess postoperative pain intensity in the post anesthesia care unit: A prospective observational cohort study. *Medicine (Baltimore)* 2021;100:e24314. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000024314>.
4. Shrestha D, Shrestha R, Grotle M, Nygaard ØP, Solberg TK. Validation of the Nepali versions of the Neck Disability Index and the Numerical Rating Scale for Neck Pain. *Spine* 2021;46:E325–32. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003810>.
5. Crellin DJ, Harrison D, Santamaria N, Huque H, Babl FE. The Psychometric Properties of the Visual Analogue Scale Applied by an Observer to Assess Procedural Pain in Infants and Young Children: An Observational Study. *J Pediatr Nurs* 2021;59:89–95. <https://doi.org/10.1016/j.pedn.2021.01.018>.
6. Denecke H, Huenseler C. Assessment and measurement of pain. *Schmerz Berl Ger* 2000;14:302–8. <https://doi.org/10.1007/s004820000022>.
7. Rejula V, Anitha J, Belfin RV, Peter JD. Chronic Pain Treatment and Digital Health Era-An Opinion. *Front Public Health* 2021;9:779328. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.779328>.
8. Neuromodulation and Pain research Center, Shiraz, Iran, Karimi A. Utilizing Artificial Intelligence for the Diagnosis, Assessment, and Management of Chronic Pain. *J Biomed Phys Eng* 2023;online. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.2306-1629>.
9. [9] Cascella M, Schiavo D, Cuomo A, Ottaiano A, Perri F, Patrone R, et al. Artificial Intelligence for Automatic Pain Assessment: Research Methods and Perspectives. *Pain Res Manag* 2023;2023:1–13. <https://doi.org/10.1155/2023/6018736>.
10. Khalifa M, Albadawy M. Artificial Intelligence for Clinical Prediction: Exploring Key Domains and Essential Functions. *Comput Methods Programs Biomed Update* 2024;5:100148. <https://doi.org/10.1016/j.cmpbup.2024.100148>.
11. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
12. Felice FD, Petrillo A, Luca CD, Baffo I. Artificial Intelligence or Augmented Intelligence? Impact on our lives, rights and ethics. *Procedia Comput Sci* 2022;200:1846–56. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.385>.
13. Chang MC. Use of artificial intelligence in the field of pain medicine. *World J Clin Cases* 2024;12:236–9. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v12.i2.236>.
14. El-Tallawy SN, Pergolizzi JV, Vasiliu-Feltes I, Ahmed RS, LeQuang JK, El-Tallawy HN, et al. Incorporation of “Artificial Intelligence” for Objective Pain Assessment: A Comprehensive Review. *Pain Ther* 2024;13:293–317. <https://doi.org/10.1007/s40122-024-00584-8>.
15. Hagedorn JM, George T, Aiyyer R, Schmidt K, Halamka J, D’Souza RS. Artificial Intelligence and Pain Medicine: An Introduction. *J Pain Res* 2024;Volume 17:509–18. <https://doi.org/10.2147/JPR.S429594>.
16. Tian Y. Artificial Intelligence Image Recognition Method Based on Convolutional Neural Network Algorithm. *IEEE Access* 2020;8:125731–44. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3006097>.
17. Babrak LM, Menetski J, Rebhan M, Nisato G, Zinggeler M, Brasier N, et al. Traditional and Digital Biomarkers: Two Worlds Apart? *Digit Biomark* 2019;3:92–102. <https://doi.org/10.1159/000502000>.
18. Panaggio MJ, Abrams DM, Yang F, Banerjee T, Shah NR. Can subjective pain be inferred from objective physiological data? Evidence from patients with sickle cell disease. *PLOS Comput Biol* 2021;17:e1008542. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1008542>.
19. Gkikas S, Tsiknakis M. Automatic assessment of pain based on deep learning methods: A systematic review. *Comput Methods Programs Biomed* 2023;231:107365. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107365>.
20. Fritz RL, Wilson M, Dermody G, Schmitter-Edgcombe M, Cook DJ. Automated Smart Home Assessment to Support Pain Management: Multiple Methods Analysis. *J Med Internet Res* 2020;22:e23943. <https://doi.org/10.2196/23943>.
21. Biomedicines | Free Full-Text | Breaking Barriers: Artificial Intelligence Interpreting the Interplay between Mental Illness and Pain as Defined by the International Association for the Study of Pain n.d. <https://www.mdpi.com/2227-9059/11/7/2042> (accessed July 5, 2024).
22. [AI pain recognition system could help detect patients’ pain before, during and after surgery n.d. <https://www.asahq.org/about-asahq/newsroom/news-releases/2023/10/ai-pain-recognition-system> (accessed July 8, 2024).
23. Robinson C, D’Souza R, Yazdi C, Diejomaoh E, Schatman M, Emerick T, et al. Reviewing the Potential Role of Artificial Intelligence in Delivering Personalized and Interactive Pain Medicine Education for Chronic Pain Patients. *J Pain Res* 2024;Volume 17:923–9. <https://doi.org/10.2147/JPR.S439452>.
24. Warren D, Marashi A, Siddiqui A, Eijaz AA, Pradhan P, Lim D, et al. Using machine

- learning to study the effect of medication adherence in Opioid Use Disorder. *PLOS ONE* 2022;17:e0278988. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278988>.
25. Do K, Kawana E, Vachirakornmong B, Do J, Seibel R. The use of artificial intelligence in treating chronic back pain. *Korean J Pain* 2023;36:478–80. <https://doi.org/10.3344/kjp.23239>.
 26. Soin A, Hirschbeck M, Verdon M, Manchikanti L. A Pilot Study Implementing a Machine Learning Algorithm to Use Artificial Intelligence to Diagnose Spinal Conditions. *Pain Physician* 2022.
 27. Yang G, Ye Q, Xia J. Unbox the black-box for the medical explainable AI via multi-modal and multi-centre data fusion: A mini-review, two showcases and beyond. *Inf Fusion* 2022;77:29–52. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2021.07.016>.
 28. Vandenbussche N, Van Hee C, Hoste V, Paemeleire K. Using natural language processing to automatically classify written self-reported narratives by patients with migraine or cluster headache. *J Headache Pain* 2022;23:129. <https://doi.org/10.1186/s10194-022-01490-0>.
 29. Cui Y, Zhu J, Duan Z, Liao Z, Wang S, Liu W. Artificial Intelligence in Spinal Imaging: Current Status and Future Directions. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19:11708. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811708>.
 30. D'Antoni F, Russo F, Ambrosio L, Vollero L, Vadalà G, Merone M, et al. Artificial Intelligence and Computer Vision in Low Back Pain: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18:10909. <https://doi.org/10.3390/ijerph182010909>.
 31. Bowness JS, Burckett-St Laurent D, Hernandez N, Keane PA, Lobo C, Margetts S, et al. Assistive artificial intelligence for ultrasound image interpretation in regional anaesthesia: an external validation study. *Br J Anaesth* 2023;130:217–25. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2022.06.031>.
 32. Bowness J, Varsou O, Turbitt L, Burckett-St Laurent D. Identifying anatomical structures on ultrasound: assistive artificial intelligence in ULTRASOUND-GUIDED regional anesthesia. *Clin Anat* 2021;34:802–9. <https://doi.org/10.1002/ca.23742>.
 33. Piette JD, Newman S, Krein SL, Marinec N, Chen J, Williams DA, et al. Patient-Centered Pain Care Using Artificial Intelligence and Mobile Health Tools: A Randomized Comparative Effectiveness Trial. *JAMA Intern Med* 2022;182:975. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2022.3178>.
 34. Pu L, Coppieters MW, Smalbrugge M, Jones C, Byrnes J, Todorovic M, et al. Implementing PainChek and PARO to Support Pain Assessment and Management in Residents with Dementia: A Qualitative Study. *Pain Manag Nurs Off J Am Soc Pain Manag Nurses* 2023;24:587–94. <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2023.04.001>.
 35. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence | *Nature Medicine* n.d. <https://www.nature.com/articles/s41591-018-0300-7#citeas> (accessed July 17, 2024).
 36. Gentili C, Zetterqvist V, Rickardsson J, Holmström L, Simons LE, Wicksell RK. ACTsmart: Guided Smartphone-Delivered Acceptance and Commitment Therapy for Chronic Pain—A Pilot Trial. *Pain Med* 2021;22:315–28. <https://doi.org/10.1093/pm/pnaa360>.
 37. Cruz Rivera S, Liu X, Chan A-W, Denniston AK, Calvert MJ, SPIRIT-AI and CONSORT-AI Working Group, et al. Guidelines for clinical trial protocols for interventions involving artificial intelligence: the SPIRIT-AI extension. *Nat Med* 2020;26:1351–63. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1037-7>.
 38. Balch JA, Efron PA, Bihorac A, Loftus TJ. Gamification for Machine Learning in Surgical Patient Engagement. *Front Surg* 2022;9. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.896351>.
 39. Riskin D, Cady R, Shroff A, Hindiye NA, Smith T, Kymes S. Using artificial intelligence to identify patients with migraine and associated symptoms and conditions within electronic health records. *BMC Med Inform Decis Mak* 2023;23:121. <https://doi.org/10.1186/s12911-023-02190-8>.
 40. Miotto R, Wang F, Wang S, Jiang X, Dudley JT. Deep learning for healthcare: review, opportunities and challenges. *Brief Bioinform* 2018;19:1236–46. <https://doi.org/10.1093/bib/bbx044>.
 41. Human-computer collaboration for skin cancer recognition | *Nature Medicine* n.d. <https://www.nature.com/articles/s41591-020-0942-0> (accessed July 17, 2024).
 42. Kawachi I. It's All in the Game-The Uses of Gamification to Motivate Behavior Change. *JAMA Intern Med* 2017;177:1593–4. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2017.4798>.
 43. Rudin C, Radin J. Why Are We Using Black Box Models in AI When We Don't Need To? A Lesson From An Explainable AI Competition. *Harv Data Sci Rev* 2019;1. <https://doi.org/10.1162/99608f92.5a8a3a3d>.
 44. Lysaght T, Lim HY, Xafis V, Ngiam KY. AI-Assisted Decision-making in Healthcare: The Application of an Ethics Framework for Big Data in Health and Research. *Asian Bioeth Rev* 2019;11:299–314. <https://doi.org/10.1007/s41649-019-00096-0>.
 45. Kompa B, Hakim JB, Palepu A, Kompa KG, Smith M, Bain PA, et al. Artificial Intelligence Based on Machine Learning in Pharmacovigilance: A Scoping Review. *Drug Saf* 2022;45:477–91. <https://doi.org/10.1007/s40264-022-01176-1>.
 46. Bureau UC. 2020 Census Statistics Highlight Local Population Changes and Nation's Racial and Ethnic Diversity. *CensusGov* n.d. <https://www.census.gov/newsroom/press-releases/2021/population-changes-nations-diversity.html> (accessed July 9, 2024).
 47. Formosa P, Rogers W, Griep Y, Banks S, Richards D. Medical AI and human dignity: Contrasting perceptions of human and artificially intelligent (AI) decision making in diagnostic and medical resource allocation contexts. *Comput Hum Behav* 2022;133:107296. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107296>.

48. Khanna NN, Maindarkar MA, Viswanathan V, Fernandes JFE, Paul S, Bhagawati M, et al. Economics of Artificial Intelligence in Healthcare: Diagnosis vs. Treatment. *Healthcare* 2022;10:2493. <https://doi.org/10.3390/healthcare10122493>.
49. Zhang M, Zhu L, Lin S-Y, Herr K, Chi C-L, Demir I, et al. Using artificial intelligence to improve pain assessment and pain management: a scoping review. *J Am Med Inform Assoc JAMIA* 2023;30:570–87. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocac231>.
50. Health Disinformation Use Case Highlighting the Urgent Need for Artificial Intelligence Vigilance: Weapons of Mass Disinformation - PubMed n.d. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37955873/> (accessed July 9, 2024).