

Inteligencia artificial aplicada a la anestesia regional guiada por ultrasonido: Revisión crítica de aplicaciones clínicas IA en anestesia regional con ultrasonido

Artificial intelligence in ultrasound-guided regional anesthesia AI in ultrasound-guided regional anesthesia

Fernando Ramos-Zaga^{1,*} 

¹ Universidad Privada del Norte. Lima, Perú.

Fecha de ingreso: 12 de septiembre de 2025 / Fecha de aceptación: 14 de octubre de 2025

ABSTRACT

Objective: To critically analyze the clinical applications of artificial intelligence (AI) in ultrasound-guided regional anesthesia to elucidate its potential for integration into contemporary and future clinical practice. **Methods:** A literature review was conducted in PubMed/MEDLINE, Scopus, and Web of Science from 2019 to 2025. Original studies applying AI to segmentation, classification, probe guidance, three-dimensional reconstruction, or needle trajectory planning, reporting either technical metrics or clinical outcomes, were included. Editorials, abstracts without full text, and purely technical studies were excluded. Data extraction was performed in duplicate, and results were synthesized through comparative narrative analysis. **Results:** In peripheral nerve blocks, algorithms achieved accuracies above 90% in segmentation and classification, leading to improvements in anatomical identification and procedural time reduction, particularly among inexperienced operators. Three-dimensional reconstruction contributed to favorable clinical outcomes in anesthetic parameters and postoperative pain. In neuraxial blocks, automated models achieved success rates exceeding 90% and demonstrated strong correlations with clinical measures, although evidence remains largely restricted to homogeneous populations and experimental validations. **Conclusion:** AI in ultrasound-guided regional anesthesia demonstrates tangible clinical benefits; however, its consolidation requires multicenter studies that integrate patient-centered outcomes and ethical frameworks ensuring safety, transparency, and equity.

Keywords: Artificial intelligence, regional anesthesia, ultrasound, deep learning, anatomical segmentation, automated classification.

RESUMEN

Objetivo: Analizar críticamente las aplicaciones clínicas de la IA en anestesia regional guiada por ultrasonido para dilucidar su potencial de integración en la práctica asistencial contemporánea y futura. **Métodos:** Se realizó una revisión de literatura en PubMed/MEDLINE, Scopus y Web of Science entre 2019 y 2025. Se incluyeron estudios originales que aplicaron IA a segmentación, clasificación, asistencia en sonda, reconstrucción tridimensional o planificación de aguja, con métricas técnicas o resultados clínicos. Se excluyeron editoriales, abstracts sin texto completo y estudios puramente técnicos. La extracción de datos se efectuó por duplicado y la síntesis fue narrativa comparativa. **Resultados:** En bloqueos periféricos, los algoritmos alcanzaron precisiones superiores al 90% en segmentación y clasificación, con mejoras en identificación anatómica y reducción de tiempo, especialmente en operadores inexpertos. La reconstrucción tridimensional aportó beneficios clínicos en parámetros anestésicos y dolor posoperatorio. En bloqueos neuroaxiales, modelos automatizados lograron tasas de éxito mayores al 90% y correlaciones sólidas con medidas clínicas, aunque la evidencia se concentra en poblaciones homogéneas y validaciones experimentales. **Conclusión:** La IA en anestesia regional guiada por ultrasonido muestra beneficios clínicos tangibles, pero requiere estudios multicéntricos que integren resultados asistenciales y marcos éticos que aseguren seguridad, transparencia y equidad.

Palabras clave: Inteligencia artificial, anestesia regional, ultrasonido, aprendizaje profundo, segmentación anatómica, clasificación automática.

Fernando Ramos-Zaga
fernandozaga@gmail.com
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6301-9460>
ISSN: 0716-4076



Introducción

La anestesia regional guiada por ultrasonido ha transformado en gran medida la práctica anestésica contemporánea al mejorar la visualización de estructuras anatómicas y optimizar la precisión en los bloqueos nerviosos. Sin embargo, la técnica sigue enfrentando barreras vinculadas a la variabilidad interoperatoria, la dependencia de la experiencia individual y las limitaciones inherentes a la interpretación subjetiva de las imágenes, lo que repercute en la seguridad y eficacia clínica[1].

El marco teórico que sostiene estas aproximaciones encuentra fundamento en los desarrollos del aprendizaje profundo, que han demostrado un rendimiento superior en la identificación de patrones complejos frente a técnicas tradicionales[2]. De igual modo, la conceptualización integral de las redes neuronales profundas ha permitido expandir su aplicabilidad a escenarios clínicos, con potencial para transformar la forma en que se procesan y analizan imágenes biomédicas[3]. La literatura médica reciente refuerza esta perspectiva al documentar logros concretos en segmentación anatómica, superposición de imágenes y clasificación automática en el campo de la anestesia regional[4].

No obstante, la evidencia acumulada muestra una brecha crítica entre el rendimiento técnico reportado por los algoritmos y su aplicabilidad clínica real. Métricas como IoU o coeficiente Dice, si bien útiles en la validación computacional, no siempre se correlacionan con la percepción clínica ni con la utilidad práctica en escenarios de decisión intraoperatoria[4]. La mayoría de los modelos se han desarrollado y probado en poblaciones reducidas o bajo condiciones controladas, lo que limita su generalización. Estudios recientes coinciden en que la verdadera validez clínica requiere escenarios multicéntricos, poblaciones heterogéneas y evaluaciones que integren resultados asistenciales[5].

La investigación en curso se justifica por la necesidad de superar esta disonancia entre desempeño algorítmico y aplicabilidad clínica. Mientras los avances en planificación automatizada de trayectorias de aguja o en reconstrucción tridimensional han mostrado logros técnicos indiscutibles[6], su traslación a la práctica se encuentra restringida por la ausencia de evidencia robusta en pacientes reales. De igual modo, aunque en bloqueos neuroaxiales se han reportado correlaciones sólidas entre predicciones algorítmicas y medidas clínicas, persisten desafíos ligados a la variabilidad anatómica en poblaciones complejas[7].

En términos prácticos, esta problemática trasciende lo meramente técnico. La falta de validación multicéntrica y la escasa representación de escenarios clínicos diversos impiden que la IA se consolide como un estándar de atención. Resolver esta brecha podría significar no solo optimizar la eficacia de los bloqueos, sino también mejorar la seguridad del paciente, acortar curvas de aprendizaje y homogeneizar resultados en diferentes contextos asistenciales.

Los desafíos mencionados se alinean con preocupaciones contemporáneas en torno a la integración ética y segura de la IA en la medicina, donde la fiabilidad, la transparencia de los algoritmos y la equidad en el acceso se perfilan como ejes fundamentales[8]. En este sentido, la anestesia regional representa un campo privilegiado para observar cómo las promesas de la IA enfrentan las complejidades de la práctica clínica real.

El objetivo de esta revisión es analizar críticamente las apli-

caciones clínicas de la inteligencia artificial en anestesia regional guiada por ultrasonido, con el objetivo de dilucidar su potencial de integración en la práctica contemporánea. A través de una revisión rigurosa de la evidencia disponible, se pretende aportar una visión equilibrada para contribuir al debate científico sobre la incorporación responsable de la IA en la anestesia regional y en la medicina perioperatoria en general.

Métodos

Se llevó a cabo una revisión de literatura con el fin de identificar, evaluar y sintetizar la evidencia disponible sobre aplicaciones clínicas de sistemas de inteligencia artificial (IA) en anestesia regional guiada por ultrasonido. La búsqueda bibliográfica se realizó en tres bases de datos biomédicas de alto impacto: PubMed/MEDLINE, Scopus y Web of Science, seleccionadas por su cobertura multidisciplinar y su rigor en la indexación de estudios de calidad.

Estrategia de búsqueda y fuentes de información

Se utilizaron palabras clave y se combinó operadores booleanos de la siguiente forma: ("Artificial intelligence" OR "Deep learning" OR "Machine learning") AND ("Regional anesthesia" OR "Peripheral nerve block" OR "Neuraxial block") AND ("Ultrasonid guidance" OR "Ultrasonography"). La búsqueda se limitó a publicaciones entre enero de 2015 y junio de 2024, en inglés o español, para garantizar la inclusión de estudios contemporáneos que reflejen la evolución reciente del campo.

Criterios de inclusión

Se consideraron elegibles estudios originales desde 2019 a 2025: 1) aplicaran algoritmos de IA para la segmentación anatómica, clasificación de imágenes, planificación de trayectorias de aguja, asistencia en movimiento de sonda o reconstrucción tridimensional en procedimientos de anestesia regional; 2) incluyeran datos provenientes de poblaciones humanas o modelos animales validados para anestesia; 3) reportaran métricas de desempeño técnico (IoU, coeficiente Dice, AUC-ROC, sensibilidad, especificidad) y/o resultados clínicos (tiempo de procedimiento, tasa de éxito en primer intento, complicaciones, satisfacción del operador).

Criterios de exclusión

Se excluyeron artículos de opinión, editoriales, abstracts de congresos sin acceso a texto completo, estudios puramente técnicos sin relación con anestesia clínica, y aquellos que emplearon simulaciones sin validación experimental o clínica. También se descartaron estudios que no informaron métricas de desempeño cuantitativo ni resultados clínicos relevantes.

Selección de estudios

Dos revisores independientes realizaron la identificación, cribado y selección de los estudios en tres fases: 1) eliminación de duplicados; 2) evaluación por título y resumen, y 3) revisión a texto completo según los criterios establecidos.

Extracción y análisis de datos

Se diseñó un formulario de extracción estandarizado en Microsoft Excel para recopilar información clave de cada estudio: autores, año de publicación, país, diseño del estudio, población incluida (pacientes, voluntarios, modelos animales o fantasmas), tipo de intervención basada en IA, características del algoritmo (arquitectura, entrenamiento, validación), métricas de desempeño, resultados clínicos reportados y limitaciones metodológicas. La extracción de datos se realizó por duplicado y se compararon los resultados para garantizar consistencia.

Síntesis de la información

Debido a la heterogeneidad de los diseños, poblaciones y métricas empleadas, los resultados se sintetizaron de manera narrativa, con tablas comparativas de desempeño técnico y clínico. Se enfatizó la correlación entre métricas algorítmicas y resultados clínicos para identificar brechas en la traslación de la IA hacia la práctica asistencial.

Resultados

Bloqueo de nervio periférico

En la investigación sobre aplicaciones de inteligencia artificial en bloqueos de nervio periférico, uno de los aspectos más explorados ha sido la segmentación y etiquetado anatómico en ultrasonido. En este campo, se observó que las métricas numéricas tradicionales no siempre reflejan de manera fiel la percepción clínica. En una cohorte de 173 imágenes, se alcanzó una mediana de IoU de 0,49 y un coeficiente Dice de 0,65 en aquellas exploraciones que los anestesiólogos calificaron como excelentes, lo que pone de relieve la divergencia entre indicadores de desempeño y utilidad práctica en la toma de decisiones[4].

De manera paralela, se validó un sistema de superposición de color en tiempo real que logró identificar correctamente estructuras anatómicas en el 99,7% de los escaneos y confirmar la vista en el 99,3% de los casos. En siete regiones anatómicas, las puntuaciones de utilidad clínica se situaron entre 7,87 y 8,69 en una escala de 0 a 10, con mayor rendimiento en territorios con referencias vasculares claras. Aunque los resultados sugieren un alto potencial de aplicabilidad, se plantea la necesidad de validación en contextos clínicos más amplios[9].

En relación con la mejora de la adquisición de imágenes, se han documentado avances relevantes al incorporar inteligencia artificial en operadores con experiencia limitada. En un ensayo con 126 exploraciones, la proporción de adquisiciones correctas aumentó de 75,1% a 90,3% con apoyo de IA, mientras que la identificación de estructuras relevantes pasó de 77,4% a 88,8%. No se detectaron cambios significativos en los tiempos de exploración ni en la autopercepción de confianza, lo que sugiere que el beneficio se centra en la calidad técnica del escaneo[10]. Asimismo, en 40 procedimientos de bloqueos infraclaviculares y pectorales, un sistema integrado redujo de forma significativa el tiempo de localización del área de referencia respecto al ultrasonido convencional ($p < 0,001$), con un incremento en la satisfacción del operador al utilizar la herramienta asistida[11].

El desarrollo de indicadores automáticos de éxito de escaneo ha mostrado consistencia en su validación. En un estudio prospectivo con 40 voluntarios sanos, un *software* basado en IA identificó el 100% de los hitos anatómicos requeridos para bloqueos periféricos. La precisión se confirmó mediante evaluación experta en una escala de 5 puntos, sin diferencias atribuibles a edad, sexo o índice de masa corporal, excepto en procedimientos de la pared abdominal[12]. Una validación posterior en ocho regiones anatómicas, con 40 voluntarios adicionales, corroboró la activación automática del indicador en todos los procedimientos, con puntuaciones cercanas al máximo de la escala, lo que refuerza su aplicabilidad en escenarios de formación y práctica clínica[13].

Otra línea de desarrollo ha sido la clasificación automática de imágenes ecográficas. En un estudio retrospectivo con 881 pacientes, un modelo que combinó ResNet34 con redes recurrentes alcanzó una precisión media de 0,901, una precisión de 0,613, recall de 0,757, F1-score de 0,677 y un área bajo la curva ROC de 0,936. La aproximación basada en clasificación superó en desempeño a los métodos de segmentación, mostrando viabilidad para aplicaciones en tiempo real y utilidad para operadores menos experimentados[14].

En cuanto a aplicaciones avanzadas, la reconstrucción tridimensional asistida por IA ha mostrado impacto clínico directo en cirugía ortopédica. En un ensayo con 68 pacientes, se reportaron mejoras en parámetros de imagen con un PSNR de 35.216 y un SSIM de 0,853, además de beneficios clínicos como reducción de dosis anestésica (61 mg vs. 78 mg), inicio más rápido de la anestesia (5 vs. 13 minutos), menor tiempo de bloqueo del dolor (8 vs. 15 minutos) y un despertar posoperatorio más temprano (8 vs. 15 minutos). Las puntuaciones de dolor posoperatorio fueron significativamente menores hasta el tercer día ($p < 0,05$), lo que sugiere un valor añadido en la práctica clínica[15]. De manera experimental, la reconstrucción fascicular tridimensional de nervios periféricos en especímenes cadavéricos, mediante ultrasonido de alta resolución con soporte de IA, permitió identificar fascículos individuales con resolución de $\sim 100 \mu\text{m}$. Aunque se observó una subestimación de hasta 22% en el volumen respecto a la microscopía por resonancia magnética, la técnica demostró potencial para aplicaciones intraoperatorias de alta precisión[6].

La planificación automatizada de la ruta de la aguja representa otra vertiente de desarrollo. En estudios con datos sintéticos e *in vitro*, la detección simultánea de aguja y objetivo anatómico alcanzó una precisión de 97%-98% y 95%, respectivamente, ajustando trayectorias robóticas con solo imágenes bidimensionales, lo que evidencia una solidez técnica, aunque aún con escasa validación clínica[16].

De forma complementaria, se han propuesto pipelines automatizados para segmentación de agujas en ultrasonido con validación fotoacústica, aunque la ausencia de métricas cuantitativas detalladas dificulta la comparación objetiva con otros sistemas[17]. La evidencia clínica directa, aunque limitada, proviene de una serie de casos con tres pacientes en los que la localización y seguimiento de la aguja se lograron en el primer intento sin complicaciones vasculares, lo que plantea un potencial beneficio en seguridad y eficacia[11].

En lo que respecta a la asistencia en el movimiento de la sonda, la validación externa de un sistema de superposición cromática en tiempo real mostró una identificación correcta en

93,5% de los casos, con tasas de falsos negativos de 3,0% y falsos positivos de 3,5%. Los evaluadores reportaron una reducción percibida del riesgo de trauma a estructuras críticas de entre 62,9% y 86,4%, así como del riesgo de fallo en el bloqueo en 81,3%, tras analizar 720 videos de 40 voluntarios con validación independiente[18].

En un enfoque distinto, modelos de aprendizaje profundo con random Fourier features permitieron estimar la localización tridimensional de la sonda a partir de imágenes bidimensionales. La validación en fantasmas anatómicos mostró un rendimiento superior respecto a modelos tradicionales, con resultados consistentes en validación cruzada. Aunque se proyecta como una estrategia prometedora para reconstrucción volumétrica y guía precisa, la validación en entornos clínicos reales aún es necesaria[19].

Bloqueo neuroaxial central

La identificación anatómica en procedimientos de bloqueo neuroaxial central ha sido objeto de múltiples aproximaciones basadas en inteligencia artificial, con resultados que sugieren un avance significativo respecto a las técnicas convencionales de palpación. En un estudio prospectivo realizado en 100 pacientes sometidos a anestesia espinal, un sistema automatizado de procesamiento de imágenes aplicado a ecografía lumbar logró una tasa de éxito del 92,0% en el primer intento de punción dural (IC95%: 85,0-95,9%). El tiempo mediano requerido para localizar el complejo posterior fue de 45,0 segundos [IQR: 21,9, 77,3], mientras que la correlación entre la profundidad estimada por el algoritmo y la medida clínica fue elevada ($r = 0,94$). Este nivel de concordancia respalda la fiabilidad de la herramienta y sugiere un potencial de incorporación en entornos clínicos rutinarios, si bien la variabilidad anatómica en poblaciones más complejas exige validaciones adicionales[7].

El desafío de identificar de manera combinada tanto los niveles vertebrales como los espacios paravertebrales ha sido abordado mediante el entrenamiento de redes neuronales profundas. En un análisis retrospectivo que incluyó 742 imágenes ecográficas anotadas por expertos, un modelo alcanzó una precisión del 91,7% para la detección del espacio paravertebral y del 74,3% para el hueso, con coeficientes Dice de 0,86 y 0,83, respectivamente. La validación cruzada mostró una IoU mediana de 0,773 y un Dice de 0,87, lo que evidencia un rendimiento robusto y consistente entre evaluadores independientes. A pesar de ello, la ausencia de validación clínica directa en pacientes limita aún su traslación inmediata a la práctica asistencial[20].

La viabilidad de estas técnicas también ha sido examinada en modelos animales. En un estudio *in vivo* con 50 especímenes porcinos, un sistema de ultrasonido intraoperatorio asistido por inteligencia artificial permitió segmentar y clasificar en tiempo real estructuras críticas como nervios, músculo psoas y superficie vertebral. Los coeficientes Dice superaron el 80% en todos los tejidos, con especificidades mayores al 95% en hueso y músculo, y una precisión en la detección de nervios superior al 95%. La disección posterior confirmó la exactitud de las predicciones. Aunque estos hallazgos sugieren un notable potencial para su aplicación intraoperatoria en cirugía espinal, la extrapolación a la práctica clínica en humanos permanece pendiente de validación[21].

Por otra parte, los avances en segmentación anatómica han

llevado al desarrollo de arquitecturas especializadas, como el modelo Q-VUM, diseñado para optimizar bloqueos guiados por ultrasonido. En una serie retrospectiva que incluyó 3.162 imágenes de 112 pacientes, se alcanzó un mIoU de 0,734, una precisión media de píxel de 0,829, un coeficiente Dice de 0,841 y una precisión global de 0,944. En la segmentación específica del músculo cuadrado lumbar, los valores fueron IoU de 0,711 y Dice de 0,831. El 85% de los píxeles predichos coincidieron con las áreas de bloqueo reales, lo que sugiere un desempeño superior frente a arquitecturas comparativas. No obstante, aún no se dispone de validación directa en bloqueos neuroaxiales centrales, lo que limita su aplicabilidad inmediata en dicho contexto[22].

La optimización de la calidad de las imágenes en procedimientos de anestesia espinal ha sido evaluada mediante algoritmos capaces de identificar puntos de referencia anatómicos y de estimar la idoneidad del escaneo en tiempo real. En un estudio prospectivo con 100 pacientes, se replicaron resultados de alta concordancia con la práctica clínica, incluyendo una tasa de éxito en el primer intento de punción dural del 92,0% (IC95%: 85,0-95,9%) y una correlación elevada entre la profundidad estimada y la medida directa ($r = 0,94$). Estos datos reafirman la aplicabilidad del enfoque, aunque el reto persiste en extender la validación a escenarios que involucren anatomías complejas o condiciones clínicas distintas de las evaluadas[7].

Discusión

Los hallazgos demuestran que la inteligencia artificial (IA) aplicada a la anestesia regional guiada por ultrasonido aporta avances sustanciales en múltiples dimensiones del procedimiento clínico. En bloqueos de nervio periférico, la discrepancia entre métricas numéricas convencionales y la percepción clínica subraya la necesidad de integrar evaluaciones centradas en la utilidad real, pues valores intermedios de IoU y Dice han coincidido con calificaciones clínicas de excelencia. El desempeño algorítmico no puede evaluarse únicamente con parámetros técnicos, sino que debe correlacionarse con la toma de decisiones en escenarios reales.

La implementación de sistemas de superposición cromática y reconstrucción tridimensional confirma un potencial clínico tangible. El impacto positivo en la reducción de tiempos de referencia anatómica, el incremento en la satisfacción del operador y la disminución de la dosis anestésica en entornos quirúrgicos sugiere un valor agregado más allá de la mejora en la calidad de imagen. No obstante, estas aplicaciones requieren validaciones multicéntricas que contemplen variabilidad anatómica, diversidad de operadores y escenarios clínicos heterogéneos.

Los beneficios más consistentes emergen en contextos de formación y en operadores con experiencia limitada. La IA eleva la proporción de exploraciones correctas y mejora la identificación anatómica sin prolongar los tiempos de procedimiento, lo que la perfila como herramienta de nivelación y democratización del acceso a técnicas avanzadas de anestesia regional. Aun así, la confianza subjetiva del operador no se ha visto modificada, lo que evidencia que la adopción tecnológica no sustituye el proceso formativo, sino que lo complementa.

La clasificación automática de imágenes y la planificación robótica de trayectorias representan vertientes de alta proyección

futura. El desempeño superior de los modelos de clasificación respecto a la segmentación tradicional anticipa su aplicabilidad en tiempo real, aunque la escasa validación clínica limita aún su extrapolación. De igual modo, la planificación automatizada de aguja y la estimación tridimensional de la sonda revelan una solidez técnica prometedora, pero se mantienen en un estadio experimental.

En bloqueos neuroaxiales centrales, los sistemas basados en IA superan de forma consistente a las técnicas de palpación y muestran correlaciones robustas con mediciones clínicas directas, alcanzando tasas de éxito elevadas en el primer intento de punción. Sin embargo, los resultados provienen de poblaciones relativamente homogéneas, lo que restringe su generalización a pacientes con anatomías complejas o condiciones clínicas adversas.

El desarrollo de arquitecturas específicas como el modelo Q-VUM evidencia que la segmentación profunda puede optimizar la localización de estructuras críticas y mejorar la precisión global. A pesar de su solidez metodológica, la ausencia de validación clínica en procedimientos neuroaxiales reales limita su adopción inmediata. Los estudios en animales corroboran la factibilidad técnica y la fidelidad anatómica, pero la traslación a la práctica humana exige ensayos controlados.

Conclusión

La evidencia señala que la IA en anestesia regional guiada por ultrasonido ya no se limita al terreno exploratorio, sino que comienza a demostrar beneficios clínicos concretos. No obstante, persisten brechas críticas: la necesidad de estudios multicéntricos, la evaluación en pacientes con variabilidad anatómica y comorbilidades, y el establecimiento de métricas que integren desempeño técnico con resultados clínicos relevantes. Solo bajo estas condiciones será posible consolidar la transición de la IA como un recurso de apoyo técnico a una herramienta clínica de impacto en seguridad, eficiencia y calidad asistencial.

Referencias

- Marhofer P, Chan VW. Ultrasound-guided regional anesthesia: current concepts and future trends [Internet]. *Anesth Analg*. 2007 May;104(5):1265–9. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.1213/01.ane.0000260614.32794.7b> PMID:17456684
- LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning [Internet]. *Nature*. 2015 May;521(7553):436–44. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.1038/nature14539> PMID:26017442
- Anwar SM, Majid M, Qayyum A, Awais M, Alnowami M, Khan MK. Medical Image Analysis using Convolutional Neural Networks: A Review [Internet]. *J Med Syst*. 2018 Oct;42(11):226. [cited 2025 Aug 18] <https://doi.org/10.1007/s10916-018-1088-1> PMID:30298337
- Delvaux BV, Maupain O, Giral T, Bowness JS, Mercadal L. Evaluation of AI-based nerve segmentation on ultrasound: relevance of standard metrics in the clinical setting [Internet]. *Br J Anaesth*. 2025 May;134(5):1497–502. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.1016/j.bja.2024.12.040> PMID:40016039
- Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence [Internet]. *Nat Med*. 2019 Jan;25(1):44–56. [cited 2025 Aug 18] <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7> PMID:30617339
- Pušnik L, Lechner L, Serša I, Cvetko E, Haas P, Jengojan SA, et al. 3D fascicular reconstruction of median and ulnar nerve: initial experience and comparison between high-resolution ultrasound and MR microscopy [Internet]. *Eur Radiol Exp*. 2024 Aug;8(1):100. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.1186/s41747-024-00495-5> PMID:39196445
- Oh TT, Ikhsan M, Tan KK, Rehena S, Han NR, Sia AT, et al. A novel approach to neuraxial anesthesia: application of an automated ultrasound spinal landmark identification [Internet]. *BMC Anesthesiol*. 2019 Apr;19(1):57. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.1186/s12871-019-0726-6> PMID:30991949
- Yu KH, Beam AL, Kohane IS. Artificial intelligence in healthcare [Internet]. *Nat Biomed Eng*. 2018 Oct;2(10):719–31. [cited 2025 Aug 18] <https://doi.org/10.1038/s41551-018-0305-z> PMID:31015651
- Bowness J, Varsou O, Turbitt L, Burkett-St Laurent D. Identifying anatomical structures on ultrasound: assistive artificial intelligence in ultrasound-guided regional anesthesia [Internet]. *Clin Anat*. 2021 Jul;34(5):802–9. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.1002/ca.23742> PMID:33904628
- Bowness JS, Macfarlane AJ, Burkett-St Laurent D, Harris C, Margetts S, Morecroft M, et al. Evaluation of the impact of assistive artificial intelligence on ultrasound scanning for regional anaesthesia [Internet]. *Br J Anaesth*. 2023 Feb;130(2):226–33. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.1016/j.bja.2022.07.049> PMID:36088136
- Erdem G, Ermis Y, Özkan D. The Effect of Using Ultrasonography Device Integrated with Artificial Intelligence on Imaging the Injection Area in Peripheral Nerve Block Applications. *JARSS* [Internet]. 2023 Jan;31(1):21–7. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.54875/jarss.2023.24381>.
- Gungor I, Gunaydin B, Oktar SO, M Buyukgebiz B, Bagcaz S, Ozdemir MG, et al. A real-time anatomy identification via tool based on artificial intelligence for ultrasound-guided peripheral nerve block procedures: an accuracy study [Internet]. *J Anesth*. 2021 Aug;35(4):591–4. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.1007/s00540-021-02947-3> PMID:34008072
- Gungor I, Gunaydin B, Buyukgebiz Yesil BM, Bagcaz S, Ozdemir MG, Inan G, et al. Evaluation of the effectiveness of artificial intelligence for ultrasound guided peripheral nerve and plane blocks in recognizing anatomical structures. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger* [Internet]. 2023 Oct [cited 2025 Aug 17];250:152143. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2023.152143>.
- Jo Y, Lee D, Baek D, Choi BK, Aryal N, Jung J, et al. Optimal view detection for ultrasound-guided supraclavicular block using deep learning approaches [Internet]. *Sci Rep*. 2023 Oct;13(1):17209. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44170-y> PMID:37821574
- Liu C, Li L, Zhou X, Wang X. Intelligent Three-Dimensional Reconstruction Algorithm-Based Ultrasound-Guided Nerve Block in Intraoperative Anesthesia and Postoperative Analgesia of Orthopedic Surgery. Zheng P, editor. *Computational and Mathematical Methods in Medicine* [Internet]. 2022 Jul 22 [cited 2025 Aug 17];2022:1–9. Available from: <https://doi.org/10.1155/2022/9447649>.
- Arapı V, Hardt-Stremayr A, Weiss S, Steinbrener J. Bridging the simulation-to-real gap for AI-based needle and target detection

- in robot-assisted ultrasound-guided interventions [Internet]. *Eur Radiol Exp*. 2023 Jun;7(1):30. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.1186/s41747-023-00344-x> PMID:37332035
17. Gisi K, Pramanik M. Photoacoustic imaging for efficient dataset automation in deep learning aided ultrasound-guided needle tracking. In: Oraevsky AA, Wang LV, editors. *Photons Plus Ultrasound: Imaging and Sensing 2025* [Internet] San Francisco, United States: SPIE; 2025. p. 121. [cited 2025 Aug 17]. <https://doi.org/10.1117/12.3042350>.
18. 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 [Internet]. *Br J Anaesth*. 2023 Feb;130(2):217–25. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.1016/j.bja.2022.06.031> PMID:35987706
19. Cárdenas-Bedoya W, Gil-González S, Cárdenas-Peña D, Gil-González J, Orozco-Gutiérrez AA, Aguirre-Ospina OD. 3D probe localization from 2D ultrasound images using an RFF-enhanced deep neural network. In: *2024 46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* [Internet]. Orlando, FL, USA: IEEE; 2024 [cited 2025 Aug 17]. p. 1–4. Available from: <https://doi.org/10.1109/EMBC53108.2024.10782917>.
20. Zhao Y, Zheng S, Cai N, Zhang Q, Zhong H, Zhou Y, et al. Utility of Artificial Intelligence for Real-Time Anatomical Landmark Identification in Ultrasound-Guided Thoracic Paravertebral Block [Internet]. *J Digit Imaging*. 2023 Oct;36(5):2051–9. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.1007/s10278-023-00851-8> PMID:37291383
21. Carson T, Ghoshal G, Cornwall GB, Tobias R, Schwartz DG, Foley KT. Artificial Intelligence-enabled, Real-time Intraoperative Ultrasound Imaging of Neural Structures Within the Psoas: Validation in a Porcine Spine Model [Internet]. *Spine*. 2021 Feb;46(3):E146–52. [cited 2025 Aug 17] <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003704> PMID:33399436
22. Wang Q, He B, Yu J, Zhang B, Yang J, Liu J, et al. Automatic Segmentation of Ultrasound-Guided Quadratus Lumborum Blocks Based on Artificial Intelligence. *J Digit Imaging Inform med* [Internet]. 2024 Sep 25 [cited 2025 Aug 17];38(3):1362–73. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10278-024-01267-8>.