ISSN 0001-6012 eISSN 2215-5856
Acta Médica Costarricense
Editada por: Colegio de Médicos y Cirujanos de Costa Rica
2025 / octubre-diciembre; 67 (4): 1-6
doi: 10.51481/amc.v67i4.1445

Comunicación breve

Seguridad de la robótica en relación con las complicaciones postoperatorias

(Safety of Robotics in Relation to Postoperative Complications)

Fernando Mauricio León-Martínez[1], Thalía Silvana Quito-Ramírez[2], Josseline Belén Álvarez-Arévalo[3], Aylin Camila Romero-Cueva[4]

Resumen

Introducción: el uso de la robótica en medicina ha permitido a los profesionales de la salud mejorar el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades mediante métodos prácticos, seguros y menos invasivos para el paciente, esto ha generado un impacto significativo en las últimas décadas debido a la alta precisión que ofrece. Se espera que, mediante la colaboración entre sistemas robóticos especializados en cirugía, inteligencia artificial y la intervención humana, se logren resultados óptimos en los próximos años. Sin embargo, una brecha económica limita el acceso de ciertos países a estas tecnologías.

Objetivo: identificar los beneficios basados en evidencia de la robótica en la reducción de complicaciones postoperatorias.

Métodos: se realizó una búsqueda exhaustiva en las bases de datos Scopus, Web of Science y PubMed, identificando 40 artículos; se excluyeron 5 artículos que no cumplieron con los criterios de inclusión, para un total de 35 artículos analizados.

Resultados: la robótica quirúrgica demuestra ventajas significativas, que incluyen la disminución de complicaciones perioperatorias, menor pérdida de sangre y recuperación postoperatoria más rápida. Se documentan aplicaciones en procedimientos oncológicos y pediátricos, aunque también se identifican limitaciones y desafíos tecnológicos.

Conclusión: la cirugía robótica se ha consolidado como una herramienta útil e importante para procedimientos quirúrgicos complejos. La inteligencia artificial representa un complemento promisorio para generaciones futuras de la medicina; sin embargo, se requiere mayor investigación para optimizar su aplicación clínica.

Descriptores: cirugía, cirugía robótica, cuidados posoperatorios, seguridad

Abstract

Introduction: The use of robotics in medicine has enabled healthcare professionals to improve diagnosis, treatment, and disease prevention through practical, safe, and minimally invasive methods for patients, generating significant impact in recent decades due to the high precision it offers. It is expected that through collaboration between robotic systems specialized in surgery, artificial intelligence, and human intervention, optimal results will be achieved in coming years. However, an economic gap limits access to these technologies in certain countries.

Objective: To identify evidence-based benefits of robotics in reducing postoperative complications.

Afiliación Institucional:
[1]Universidad Católica de Cuenca, Carrera de Medicina, Cuenca, Ecuador. fleon@ucacue.edu.ec
0000-0002-3969-2986
[2]Carrera de Medicina, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador. thalia.quito@est.ucacue.edu.ec
0009-0006-1152-6376
[3]Carrera de Medicina, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador. josseline.alvarez@est.ucacue.edu.ec
0009-0001-7832-9661
[4]Carrera de Medicina, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador. cr174335@gmail.com
0009-0001-2530-3724

Abreviaturas:
IA; Inteligencia Artificial.

Conflictos de interés: No existen conflictos de interés.
Fuentes de apoyo: Este trabajo fue realizado sin financiamiento externo o apoyo económico específico.

✉ fleon@ucacue.edu.ec

Esta obra está bajo una licencia internacional: Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Methods: An exhaustive search was conducted in Scopus, Web of Science, and PubMed databases, identifying 40 articles; 5 articles were excluded that did not meet inclusion criteria, resulting in 35 articles analyzed.

Results: Robotic surgery demonstrates significant advantages, including reduction of perioperative complications, decreased blood loss, and faster postoperative recovery. Applications are documented in oncologic and pediatric procedures, although limitations and technological challenges are also identified.

Conclusion: Robotic surgery has become an established useful and important tool for complex surgical procedures. Artificial intelligence represents a promising complement for future generations of medicine; however, greater research is needed to optimize its clinical application.

Keywords: surgery, robotic surgery, postoperative care, safety.

Fecha de recibido: *04, febrero, 2025* ***Fecha de aceptado:*** *29, enero. 2026*

La robótica forma parte de las tecnologías emergentes de la Cuarta Revolución Industrial, buscando su integración en diversos ámbitos del conocimiento.[1,2] En el área de la salud, su aplicación en el personal sanitario y la atención al paciente ha mostrado un potencial transformador. Por ejemplo, los sistemas de inteligencia artificial (IA) y robótica facilitan la identificación de enfermedades infecciosas como tuberculosis y virus de inmunodeficiencia humana (VIH), además de alertar sobre la presencia de contaminantes ambientales.[1]

En procedimientos quirúrgicos, la robótica se ha asociado con intervenciones que ofrecen mayor precisión y control, esperándose una recuperación mejorada y resultados superiores a las técnicas convencionales.[2,3] Los avances tecnológicos en las últimas décadas no solo mejoran los resultados quirúrgicos, sino que también expanden las posibilidades en especialidades como oncología, dermatología y el tratamiento de enfermedades de baja prevalencia, como la acalasia, además de contribuir a la formación médica.[2,5]

La implementación de cirugía robótica ha sido posible gracias a equipos especializados que mejoran continuamente en seguridad y manejo, aunque emergen barreras importantes. La principal es la económica, derivada de los altos costos de adquisición, mantenimiento y actualización de estos sistemas.[2] Otra consideración es el impacto laboral, ya que la adopción de estas tecnologías requiere capacitación especializada del personal de salud para maximizar sus beneficios.[6]

Aunque la capacitación en sistemas emergentes es esencial para su uso óptimo y el desarrollo continuo de nuevas tecnologías, la robótica e IA en cuidado de la salud mantienen la necesidad fundamental de participación humana.[1,6] La combinación entre habilidad técnica robótica—particularmente su precisión en procedimientos diagnósticos y quirúrgicos—y habilidades sociales y emocionales humanas resulta crítica para el bienestar y recuperación del paciente.[1,2,4]

A pesar de las críticas y desafíos, la robótica aplicada a la medicina, especialmente en procedimientos invasivos que requieren decisiones clínicas complejas y personalizadas, tiene como propósito fundamental mejorar la calidad de vida de los pacientes. Esto incluye considerar la asistencia de estos equipos y servicios, así como la IA en la toma de decisiones clínicas. Objetivo: Identificar los beneficios basados en evidencia de la robótica en la reducción de complicaciones postoperatorias mediante revisión sistemática de literatura científica.

Métodos

Se realizó una revisión bibliográfica sistemática con enfoque cualitativo, nivel descriptivo y diseño documental. La pregunta de investigación fue: ¿La robótica en cirugía sirve como medida de prevención de complicaciones postoperatorias?

Estrategia de búsqueda:

Se realizaron búsquedas en las bases de datos Scopus, Web of Science y PubMed utilizando los siguientes términos controlados (DeCS): “cirugía”, “cirugía robótica”, “cuidados postoperatorios” y “seguridad”. Se emplearon operadores booleanos AND y OR con la siguiente estrategia de búsqueda: (“robotic surgery” or “cirugía robótica” or “robot-assisted surgery”) and (“postoperative care” or “cuidados postoperatorios” or “complicaciones postoperatorias”) and (“safety” or “seguridad”).

Criterios de inclusión:

- Artículos de acceso abierto o disponibles a través de las instituciones participantes.
- Publicados entre 2019 y 2026 (últimos 5 años).
- Relacionados con aplicaciones de robótica en cirugía en seres humanos.
- Enfoque en resultados quirúrgicos, complicaciones o seguridad.
- Artículos de revisión, estudios observacionales y ensayos clínicos.

Criterios de exclusión:

- Estudios duplicados.
- Reportes de casos únicos.
- Investigaciones sin relación con seguridad de robótica quirúrgica en humanos.
- Artículos no disponibles a texto completo.

Selección de documentos y análisis:

De los 40 artículos inicialmente identificados, se excluyeron 5 que no cumplían los criterios de inclusión, como resultado quedaron 35 artículos para análisis. Se utilizó Mendeley Reference Manager para la gestión de citas y referencias bibliográficas, ya que garantiza un formato consistente y citas ordenadas. Los estudios fueron analizados según país de origen, diseño metodológico, población estudiada y características operatorias de los procedimientos.

Consideraciones éticas:

Esta revisión se fundamentó en principios morales de conducta ética del personal de salud, prioriza calidad asistencial y seguridad del paciente en contextos de innovación tecnológica, acorde con estándares internacionales de investigación.

Resultados

Descripción general de estudios incluidos

Los 35 estudios analizados abarcan un amplio espectro geográfico y marcos metodológicos heterogéneos. Se incluyen revisiones históricas y tecnológicas de cirugía robótica en urología realizadas en Europa; evaluaciones sistemáticas de la integración de inteligencia artificial en cirugía asistida por robot y sus aplicaciones clínicas generales.[1,2] Se documentan experiencias iniciales con cirugía transoral robótica (TORS) en Grecia, características operatorias del tratamiento robótico de acalasia en Italia[3,4], y estudios prospectivos multicéntricos europeos que evalúan curvas de aprendizaje en mesorectectomía robótica y plataformas emergentes para cáncer de próstata.[5,6]

En América Latina se destacan análisis comparativos entre abordajes laparoscópicos y robóticos en endometriosis en población mexicana, junto con el primer caso pediátrico nacional de sigmoidectomía asistida por robot.[7,8] Adicionalmente, se reportan resultados de TORS en regiones endémicas de Asia, complementados con evaluaciones funcionales, oncológicas y de calidad de vida en cáncer supraglótico utilizando tecnologías avanzadas en Bélgica.[9,10] Se incorporan revisiones narrativas sobre cirugía robótica pediátrica y metaanálisis de trasplante renal asistido por robot en cohortes europeas.[11,12]

La mayoría de los estudios presentan niveles de evidencia heterogéneos, predominan revisiones narrativas y estudios observacionales con muestras reducidas, experiencias preliminares de centros individuales. Esta diversidad metodológica refleja el estado actual de la literatura sobre robótica quirúrgica.

1. Ventajas de la cirugía robótica en procedimientos complicados

En pacientes con endometriosis profunda, la laparoscopia asistida por robot (RAL) presenta mayor rendimiento comparado con cirugía convencional (laparoscopia estándar). Las ventajas documentadas incluyen menor tiempo de hospitalización y reducción del dolor postoperatorio.[7] Esta comparación demuestra que la RAL es más efectiva y segura que los procedimientos convencionales, siempre que sea realizada por cirujanos expertos con experiencia suficiente, ya que se ha visto que mejora significativamente la calidad de vida y la recuperación del paciente.

Resultados similares se observan en el tratamiento de acalasia mediante la miotomía de Heller robótica (RHM), procedimiento que ha demostrado tasas bajas de complicaciones postoperatorias, donde destaca su seguridad y confiabilidad en el manejo de estructuras de complejidad anatómica elevada.[4]

2. Aplicaciones en cirugía pediátrica y oncológica

Un ejemplo destacado de mejora en seguridad pediátrica es la sigmoidectomía asistida por robot en pacientes pediátricos con constipación crónica idiopática. Esta técnica resulta en menores complicaciones e incluso reduce la necesidad de laxantes y enemas postoperatorios, datos que contribuyen a mejor recuperación del paciente y menor morbilidad.[8]

La cirugía transoral robótica (TORS) se ha posicionado como opción segura para extirpación de tumores benignos y malignos de cabeza y cuello.[3,9,10] En el campo pediátrico y neonatológico, la cirugía robótica presenta avances transformadores caracterizados por mayor precisión, menor invasividad y recuperaciones postoperatorias más rápidas.[11]

3. Reducción de riesgos y mejora de la seguridad

El trasplante renal asistido por robot (RAKT) se ha reconocido como técnica segura, con baja morbilidad quirúrgica y alta efectividad en preservar función renal, la cual se posiciona como una alternativa más confiable frente a métodos tradicionales.[12]

La colectomía derecha robótica (RRC) ha demostrado tasas reducidas de conversión a cirugía abierta y estancia hospitalaria en comparación con la laparoscopia convencional, ello le ha permitido consolidarse como método seguro y eficaz.[13]

En gastrectomía robótica para cáncer gástrico, los estudios demuestran resultados quirúrgicos excelentes con resultados oncológicos superiores a la laparoscopia convencional; sin embargo, se requieren ensayos clínicos adicionales para confirmar beneficios a largo plazo.[14]

El procedimiento de derivación duodeno-ileal de anastomosis única con gastrectomía en manga (SADI-S) ha demostrado viabilidad dentro del campo de la cirugía bariátrica avanzada.[15]

La utilización de inclinómetros digitales en procedimientos como osteomías metatarsales afirma mejora en precisión quirúrgica y resultados postoperatorios, además demuestra ser una herramienta confiable para garantizar seguridad y objetivos operatorios.[16] Adicionalmente, la resonancia magnética intraoperatoria demuestra utilidad en identificación de estructuras, logra disminución de tiempo quirúrgico, reducción de sangrado y minimización de trauma tisular.[17]

4. Limitaciones y desafíos

A pesar de los beneficios documentados de los sistemas robóticos asistidos por IA en medicina, enfrenta desafíos significativos. Estos incluyen conjuntos de datos limitados y falta de transparencia en algoritmos; la resolución de estas limitaciones permitirá la integración segura y efectiva de la IA en procedimientos quirúrgicos.[2,33]

Adicionalmente, los altos costos de estos sistemas (como Da Vinci) y la falta de ensayos aleatorizados controlados siguen siendo barreras importantes para el avance científico en la asistencia robótica quirúrgica.[1,18]

Una revisión reciente enfatizó la falta de avances en laparoscopia tradicional y la creciente dependencia de robótica, esto sugiere que sistemas robóticos pueden mejorar técnicas tradicionales existentes mediante curvas de aprendizaje optimizadas.[19,34]

Dentro de la cirugía pancreática, avances como la fluorescencia con verde indocianina (ICG) muestran beneficios claros, aunque aún se requiere investigación científica de largo plazo para demostrar su potencial completo.[20,35]

En oncología, modelos tridimensionales de organoides tumorales como herramientas preclínicas mejoran tratamiento y administración de fármacos, desarrollando técnicas terapéuticas más eficaces.[21]

Discusión

Los estudios analizados detallan la importancia de la robótica en procedimientos quirúrgicos a lo largo de las últimas décadas, de ahí que se demuestre que los avances tecnológicos han generado un desarrollo significativo en la historia de la medicina. Se documenta un cambio trascendental desde el sistema Da Vinci, que por años una mantuvo posición predominante, hasta sistemas como PROBOT y HUGO que actualmente tienen aplicabilidad en medicina general, ginecología y urología.[1,6]

Lodiakis et al.[3] enfatiza el uso del sistema Da Vinci para el tratamiento quirúrgico de cabeza y cuello en diagnósticos oncológicos, esto incluye ganglios linfáticos metastásicos y tumores orofaríngeos. Los procedimientos abarcan disecciones de cuello con ligadura de arterias carótidas linguales y externas que, por medio de técnicas mínimamente invasivas logra una ventajosa recuperación temprana del paciente.

Otros estudios demuestran coincidencia en criterios positivos de la robótica postoperatoria en procedimientos de trasplante, oncológicos, transfusionales o invasivos en general.[4,22-24]

Se documenta que el uso de la robótica en procedimientos quirúrgicos resulta segura y efectiva, ya que muestra resultados significativamente mejores y precisos en postoperatorio de prótesis y procedimientos óseos comparado con las técnicas convencionales.[25,26] Es importante destacar que en los procedimientos laparoscópicos, los médicos especialistas requieren de una experiencia previa suficiente.[5,22] La curva de aprendizaje facilita la capacitación para aplicar conocimientos a nuevas técnicas como cirugía robótica mediante sistemas como Da Vinci o ROBOT-CR (robótica colorrectal).[30,31]

Como observación notable, Moglia et al.[2] indica que la IA no ha presentado gran impacto directo en el quirófano, aunque no se apoya directamente sobre robots quirúrgicos. Algunos procedimientos robóticos no han mostrado

diferencias con alternativas convencionales en tiempo de duración o resultados quirúrgicos[27,28], factor que puede influir en efectividad de recuperación del paciente.

Es importante considerar desafíos financieros significativos. Los costos de adquisición y mantenimiento de estas tecnologías pueden ser prohibitivos si no son accesibles o no cumplen objetivos positivos esperados.[22,29,32,34]

Sin embargo, no se descarta el uso futuro próximo de estos sistemas. Se requiere una mayor investigación respecto a esta temática, por ende, se espera que la IA adopte habilidades específicas para resolver problemas en el quirófano, y así mejorar la recuperación y efectividad postoperatoria.

Esta investigación se fundamentó en una compilación extensa de estudios con niveles de evidencia heterogéneos, en los que predominan revisiones narrativas y estudios observacionales con muestras reducidas o experiencias preliminares de centros individuales.[1,3-10] Esta heterogeneidad limita la consistencia de comparaciones entre técnicas quirúrgicas e introduce posibles sesgos de selección, particularmente en investigaciones que evalúan plataformas robóticas de reciente implementación o series iniciales.[3,5]

Numerosos estudios se realizaron en regiones endémicas o instituciones altamente especializadas, restricción que limita la extrapolación de hallazgos a contextos generales o sistemas de salud con acceso limitado a tecnologías avanzadas.[7,8]

Las revisiones sistemáticas analizadas, aunque informativas, abarcan estudios primarios con metodologías disímiles y un elevado grado de heterogeneidad, lo cual podría comprometer la consistencia global de resultados.

La acelerada evolución tecnológica, especialmente en inteligencia artificial y nuevas plataformas robóticas, implica que parte de la evidencia disponible pueda volverse anticuada rápidamente.[1,2,11]

En conjunto, estas limitaciones disminuyen la generalización de resultados y exigen una interpretación cautelosa de conclusiones, en parte porque se enfatiza la necesidad de ensayos prospectivos multicéntricos con muestras amplias y diseños comparativos estandarizados.

Los avances tecnológicos han permitido desarrollar nuevas habilidades y aplicaciones que benefician a la sociedad, al mejorar el rendimiento en educación y áreas profesionales. El campo de la salud ha aprovechado significativamente estas tecnologías al lograr avances importantes en procedimientos quirúrgicos de baja y alta complejidad mediante la implementación de ciencias tecnológicas.

La cirugía robótica se ha consolidado como herramienta confiable y segura en el campo quirúrgico. Estos sistemas robóticos han contribuido a reducir complicaciones durante y después de procedimientos quirúrgicos. Aunque los hallazgos de esta investigación son preliminares, proporcionan elementos que podrían convertirse en aplicaciones prácticas a corto plazo para servicios de cirugía, ello permite implementar modelos de colaboración humano-máquina efectivos.

Sin embargo, al aplicar estas tecnologías (debe adaptarse a situaciones específicas), se requiere de validación adicional en estudios multicéntricos con grupos poblacionales variados. Es crítico reconocer que estas herramientas presentan limitaciones significativas. Para maximizar su impacto es necesario abordar desafíos relacionados con costos, generar mayor evidencia científica clínica de largo plazo y mejorar aplicaciones de IA.

Con estas modificaciones y desarrollo continuo, la robótica puede consolidarse como modelo estándar en el área quirúrgica ya que transforma la práctica médica y mejora sustancialmente los resultados para los pacientes.

Referencias

1. Brassetti A, Ragusa A, Tedesco F, Prata F, Cacciatore L, Iannuzzi A, et al. Robotic surgery in urology: History from PROBOT® to HUGO™. Sensors (Basel). 2023;23:7104. DOI: 10.3390/s23167104.

2. Moglia A, Georgiou K, Georgiou E, Satava RM, Cuschieri A. A systematic review on artificial intelligence in robot-assisted surgery. Int J Surg. 2021;95:106151. DOI: 10.1016/j.ijsu.2021.106151

3. Liodakis A, Kostas C, Papakostas K, Moraitis D. Feasibility and safety of TORS with the Da Vinci XI surgical system. Our initial Athens experience. Otolaryngol Open. 2023;6:100024. DOI: 10.1016/j.oor.2023.100024

4. Palomba G, Capuano M, Basile R, Sorrentino G, Fernicola A, Anoldo P, et al. Robotic Surgery in Achalasia: State of the Art. Chirurgia (Romania). 2023;118:8-19. DOI: 10.21614/chirurgia.2830

5. Arquillière J, Dubois A, Rullier E, Rouanet P, Denost Q, Celerier B, et al. Learning curve for robotic-assisted total mesorectal excision: a multicentre, prospective study. Colorectal Dis. 2023;25:1863-77. DOI: 10.1111/codi.16695

6. Tamborino F, Dello Stritto G, Salzano G, Lannutti P, Mascitti M, Digiacomo A, et al. Current status, evolution, and future perspectives in robotic platform systems for prostate cancer treatment: a narrative review. Chin Clin Oncol. 2024;13:74. DOI: 10.21037/cco-24-47

7. Bandala C, Cifuentes-Chacón JP, Cortes-Vázquez A, Ruz-Barros R, Garrocho-Hernández L, Cortes-Algara A. Efficacy between Conventional Laparoscopy and Robotic Surgery in Mexican Patients with Endometriosis: A Comparative Study. J Clin Med. 2024;13:3576. DOI: 10.3390/jcm13123576

8. Meza A, Jiménez P, Terriquez S, Tamayo A, Hernández E. Megarrectosigmoides por constipación crónica idiopática, sigmoidectomía con robot en el paciente pediátrico. Primer caso en México. Cir Cir. 2022;90:684-688. DOI: 10.24875/CIRU.21000685

9. Chang C-C, Chen C-H, Hsieh T-L, Chang K-H, Huang J-Y, Lin FC-F, et al. Clinical Characteristics and Treatment Outcomes of Oral Cancers Using Transoral Robotic Surgery in an Endemic Region. Cancers. 2023;15:4896. DOI: 10.3390/cancers15194896

10. Hassid S, Krug B, Deheneffe S, Daisne JF, Delahaut G, Lawson G, et al. Treatment of supraglottic squamous cell carcinoma with advanced technologies: observational prospective evaluation of oncological outcomes, functional outcomes, quality of life and cost-effectiveness (SUPRA-QoL). BMC Cancer. 2023;23:493. DOI: 10.1186/s12885-023-10953-9

11. Lacob ER, Iacob R, Ghenciu LA, Popoiu T-A, Stoicescu ER, Popoiu CM. Small Scale, High Precision: Robotic Surgery in Neonatal and Pediatric Patients—A Narrative Review. Children. 2024;11:270. DOI: 10.3390/children11030270

12. Slagter J, Outmani L, Tran K, Ijzermans J, Minnee R. Robot-assisted kidney transplantation as a minimally invasive approach for kidney transplant recipients: A systematic review and meta-analyses. Int J Surg. 2022;99:106264. DOI: 10.1016/j.ijsu.2022.106264

13. Chun J, Zhao S, Chen W, Xiang J. Robotic versus laparoscopic right colectomy for colon cancer: a systematic review and meta-analysis. Wideochir Inne Tech Maloinwazyjne. 2022;18:20-30. DOI: 10.5114/wiitm.2022.120960

14. Piero G, Esposito G, Magistri P, Serra V, Guidetti C, Olivieri T, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: The largest meta-analysis. Int J Surg. 2020;82:210-228. DOI: 10.1016/j.ijsu.2020.07.053

15. Wang L, Yu Y, Wang J, Li S, Jiang T. Evaluation of the learning curve for robotic single-anastomosis duodenal-ileal bypass with sleeve gastrectomy. Front Surg. 2022;9:969418. DOI: 10.3389/fsurg.2022.969418

16. Fernández-Vizcaino C, Nieto-García E, Fernández-Ehrling N, Ferrer-Torregrosa J. Improving the Accuracy of Metatarsal Osteotomies in Minimally Invasive Foot Surgery Using a Digital Inclinometer: Preliminary Study. Sensors. 2024;24:1022. DOI: 10.3390/s24031022

17. Liu Y, Wu J, Liu D, Xiang D, Wu X, Wang T. The application of mixed reality technique in oromaxillo-facial reconstruction with the perforator flap for malignant tumor patients. Front Oncol. 2024;14:1437598. DOI: 10.3389/fonc.2024.1437598

18. Gage D, Neilson T, Pino MG, Eiferman D, Knight-Davis J. Establishment of a 24/7 robotic acute care surgery program at a large academic medical center. Surg Endosc. 2024;38:4663-4669. DOI: 10.1007/s00464-024-11036-x

19. Williamson T, Song SE. Robotic Surgery Techniques to Improve Traditional Laparoscopy. JSLS. 2022;26:e2022.00002. DOI: 10.4293/JSLS.2022.00002

20. Kalayarasan R, Shukla A. Changing trends in the minimally invasive surgery for chronic pancreatitis. World J Gastroenterol. 2023;29:2101-2113. DOI: 10.3748/wjg.v29.i14.2101

21. Guan X, Huang S. Advances in the application of 3D tumor models in precision oncology and drug screening. Front Bioeng Biotechnol. 2022;10:1021966. DOI: 10.3389/fbioe.2022.1021966

22. Celotto F, Jou J, Ramacciotti N, Spolverato G, Bianco F. Current Status of Robotics in Abdominal Solid Organ Transplantation. Curr Probl Surg. 2025;13:101301. DOI: 10.1007/s40137-024-00440-w

23. Sparkman B, Freudenberger D, Vudatha V, Trevino J, Khader A, Fernandez L. Robotic cytoreductive surgery and hyperthermic intraperitoneal chemotherapy: is there a benefit? Surg Endosc. 2025;39:513-521. DOI: 10.1007/s00464-024-11199-7

24. Farzat M, Leyh S, Wagenlehner F. Robotic surgery of the urothelial carcinoma of the upper urinary tract single surgeon initial experience, 66 consecutive cases. World J Urol. 2024;28:161. DOI: 10.1007/s10151-024-03044-9

25. Xing P, Qu J, Feng S, Guo J, Huang T. Comparison of the efficacy of robot-assisted total knee arthroplasty in patients with knee osteoarthritis with varying severity deformity. J Orthop Surg Res. 2024;19:872. DOI: 10.1186/s13018-024-05372-w

26. Altorfer F, Avrumova F, Lebl D. Robotic-Assisted Decompression, Decortication, and Instrumentation for Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. JBJS Essent Surg Tech. 2024;14:e23.00080. DOI: 10.2106/JBJS.ST.23.00080

27. Haslhofer DJ, Anelli-Monti V, Hausbrandt P, Kammerlander C, Klasan A. No difference in surgical time and total theatre time between robotically assisted and computer assisted total knee arthroplasty. J Orthop Traumatol. 2024;25:52. DOI: 10.1186/s10195-024-00798-8

28. Wyatt J, O'Connell E, Choi M, Powell S, Hanchanale V, Ahmed S, et al. Open versus robotic-assisted techniques for multivisceral pelvic resections of locally advanced or recurrent colorectal and anal cancers: short-term outcomes from a single centre. Tech Coloproctol. 2024;28:161. DOI: 10.1007/s10151-024-03044-9

29. Sakai Y, Morishita T. The financial impact of robotic surgery on hospital gross profits in Japan compared to laparoscopic surgery. Asian J Endosc Surg. 2024;18:e13410. DOI: 10.1111/ases.13410

30. Liu P-R, Lu L, Zhang J-Y, Huo T-T, Liu S-X, Ye Z-W. Application of artificial intelligence in medicine: An overview. Curr Med Sci. 2021;41:1105-1115. DOI: 10.1007/s11596-021-2474-3

31. Abdullah YI, Schuman JS, Shabsigh R, Caplan A, Al-Aswad LA. Ethics of artificial intelligence in medicine and ophthalmology. Asia Pac J Ophthalmol (Phila). 2021;10:289-298. DOI: 10.1097/APO.0000000000000397

32. Probst P. A review of the role of robotics in surgery: To DaVinci and beyond! Mo Med. 2023;120:389-396.

33. Vilallonga R, Paňella C, Ciscar A, Díaz K, Herms D, Solis J, et al. Revisional robotic bariatric surgery. Largest single centre prospective cohort study and review of the literature. Chirurgia (Bucur). 2023;118:455-463. DOI: 10.21614/chirurgia.2023.v.118.i.5.p.455

34. Ramser M, Baur J, Keller N, Kukleta JF, Dörfer J, Wiegering A, et al. Robotic hernia surgery I. English version: Robotic inguinal hernia repair (r-TAPP). Video report and results of a series of 302 hernia operations. Chirurg. 2021;92:1-13. DOI: 10.1007/s00104-021-01446-1

35. Huang S. Advances in the application of 3D tumor models in precision oncology and drug screening. Nat Rev Clin Oncol. 2023;20:789-801. DOI: 10.3389/fbioe.2022.1021966