الجراحة الروبوتية المدعومة بالذكاء الاصطناعي

AI-assisted robotic surgery

إعداد الطالبة : حلا سامر محمود مكاوي إشراف : الدكتور المهندس أحمد رياض الكردي

الملخص

الجراحة الروبوتية المدعومة بالذكاء الاصطناعي تعد تطورًا ثوريًا في الطب الحديث، حيث تساهم في تحسين الدقة، تقليل المخاطر، وتسريع التعافي.

يتناول البحث تاريخ هذه التقنية، مع التركيز على نظام "Da Vinci Surgical System" ، الذي أحدث تحولًا في العمليات الجراحية.

كما ناقش دور الذكاء الاصطناعي في دعم الجراحين من خلال تحليل الصور الطبية، التنبؤ بالمضاعفات، وتقديم توصيات دقيقة، مما يقلل من الأخطاء البشرية.

يستعرض البحث خوارزميات الذكاء الاصطناعي المستخدمة، مثل التعلم العميق والرؤية الحاسوبية، التي تمكن الروبوتات من تحليل البيانات الجراحية وتقديم دعم فوري للجراح.

كذلك، تطرق إلى التطبيقات المتعددة للجراحة الروبوتية، موضحًا تأثيرها في تحسين النتائج وتقليل التدخل الجراحي التقليدي، رغم وجود تحديات مثل التكلفة الباهظة، الحاجة إلى تدريب متخصص، والمخاوف الأخلاقية المتعلقة بالاعتماد المتزايد على الذكاء الاصطناعي في اتخاذ القرارات الطبية.

أما مستقبل الجراحة الروبوتية، فيتوقع البحث تطورات تجعلها أكثر استقلالية، مثل دمج الواقع الافتراضي والمعزز في التدريب الجراحي، واستخدام الذكاء الاصطناعي لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد للجسم البشري لتحسين دقة التخطيط الجراحي.

في النهاية، يخلص البحث إلى أن هذه التقنية ليست مجرد ابتكار، بل تحول جذري في مجال الجراحة يعزز كفاءة العمليات ويجعلها أكثر أمانًا ودقة، مما يمهد لمستقبل طبي يعتمد بشكل أكبر على الذكاء الاصطناعي لتحسين جودة الرعاية الصحية.

الكلمات المفتاحية :

الجراحة الروبوتية ، الذكاء الاصطناعي ، التعلم العميق ، تطبيقات الجراحة الروبوتية ، خوارزميات الروبوتات الجراحية ، الأطراف الروبوتية الذكية ، العمليات الجراحية الدقيقة ، تحليل البيانات الطبية ، مستقبل الجراحة .

Abstract

AI-assisted robotic surgery is a revolutionary advancement in modern medicine, enhancing precision, reducing risks, and accelerating recovery.
This research examines the evolution of this technology, focusing on the "Da Vinci Surgical System" ,which has transformed surgical procedures.

It also explores how artificial intelligence supports surgeons by analyzing medical images, predicting complications, and providing precise recommendations, thereby minimizing human errors.

The study delves into AI algorithms such as deep learning and computer vision, which empower surgical robots to process data and assist surgeons in real time.

Additionally, it addresses the wide range of applications for robotic surgery, demonstrating its role in improving outcomes and reducing conventional surgical interventions, despite challenges like high costs, specialized training requirements, and ethical concerns regarding increased AI dependence in medical decision-making.

Looking ahead, the research anticipates future advancements that will make robotic surgery more autonomous, including the integration of virtual and augmented reality into surgical training and the use of AI-generated 3D models of the human body to refine surgical planning.

Ultimately, this study concludes that AI-assisted robotic surgery is not just an innovation but a transformative shift in modern surgery, enhancing efficiency, safety, and accuracy while paving the way for a future where AI plays a central role in improving healthcare quality.

Keywords:

Robotic surgery, artificial intelligence, deep learning, robotic surgery applications, surgical robotics algorithms, intelligent robotic prosthetics, precision surgery, medical data analysis, future of surgery.

مقدمة

تخيل أن الجراح الذي يجري عملية معقدة ليس مجرد إنسان، بل نظام ذكاء اصطناعي دقيق يتحكم بروبوت متطور، ينفذ الحركات الجراحية بدقة تفوق الخيال، دون أن ترتجف يده أو يخطئ تقديره! هذا لم يعد مجرد مشهد من فيلم خيال علمي، بل أصبح اليوم حقيقة واقعة في عالم الطب.

الجراحة الروبوتية المدعومة بالذكاء الاصطناعي هي الثورة التي غيرت قواعد اللعبة، فهذه التقنية لم تأتِ فقط لتحسن العمليات الجراحية، بل جاءت لتعيد تعريفها بالكامل، مما يجعل عالم الجراحة أكثر دقة، أكثر أمانًا، وأكثر تطورًا من أي وقت مضى.

منذ عقود مضت، كانت الجراحة تعتمد بشكل كامل على مهارة يد الجراح وحدسه وتجربته، لكن التطور العلمي لم يقف عند هذا الحد ، حيث أن اليوم أصبح الذكاء الاصطناعي قادرًا على تحليل كميات هائلة من البيانات الطبية، والتنبؤ بالمضاعفات ، وتقديم توصيات دقيقة للجراحين في الوقت الحقيقي، مما يرفع من مستوى الأداء الجراحي إلى مستويات غير مسبوقة.

لكن السؤال الأكبر الذي يطرح نفسه: إلى أين يمكن أن تصل هذه التكنولوجيا، هل سنشهد مستقبلًا تُجرى فيه الجراحات بالكامل بواسطة أنظمة الذكاء الاصطناعي دون تدخل بشري؟ ، هل يمكن لهذه الروبوتات أن تتطور لتصبح أكثر استقلالية ، وقادرة على اتخاذ قرارات جراحية دون الحاجة إلى إشراف طبي مباشر؟.

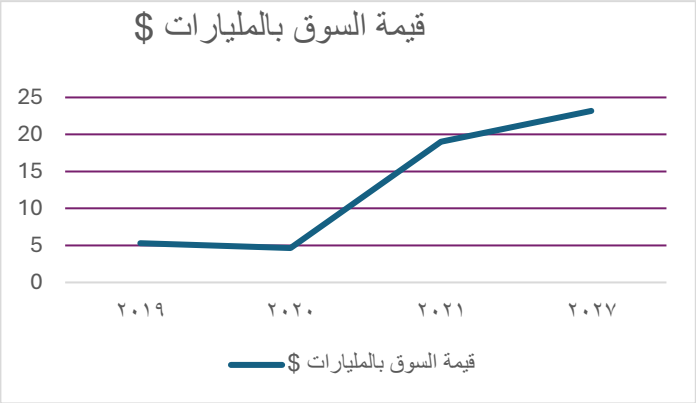
في هذا البحث، سنخوض رحلة عميقة لاستكشاف تاريخ وتطور الجراحة الروبوتية، وكيف غيّر الذكاء الاصطناعي عالم الجراحة ، وما هي التحديات التي تواجهها هذه التقنية ، والأهم من ذلك ، إلى أين تقودنا هذه الثورة الطبية الرائعة ، مستقبلك الصحي قد لا يكون بين يدي طبيب تقليدي ، بل بين أذرع روبوتية دقيقة يقودها ذكاء يفوق كل توقعاتنا!

١.تعريف الذكاء الاصطناعي :

الذكاء الاصطناعي (AI) هو مجال علمي وتقني يسعى إلى تطوير أنظمة حاسوبية قادرة على أداء المهام التي تتطلب ذكاءً بشريًا، مثل الإدراك ، التنبؤ، التخطيط ، والتحكم الحركي.

يعتمد الذكاء الاصطناعي على مجموعة متنوعة من التقنيات لمعالجة المعلومات واتخاذ القرارات بكفاءة، ويهدف إلى تحقيق تقدم في مجالي التكنولوجيا والعلوم لفهم الذكاء وتطبيقه عمليًا في مختلف المجالات . [25]

يُعرَّف الذكاء الاصطناعي (AI) بأنه دراسة الخوارزميات التي تمنح الآلات القدرة على التفكير وأداء الوظائف الإدراكية . وقد توسع استخدام الذكاء الاصطناعي في الطب والجراحة بشكل كبير مع تقدم التكنولوجيا وإتاحة البيانات السريرية رقميًا، مما جعله أداة أساسية في تحسين الكفاءة الجراحية وتقديم دعم فوري للجراحين أثناء العمليات. [23]



شكل (١) تطور سوق العمليات الجراحية الروبوتية عالميًا [12]

٢.تعريف الجراحة الروبوتية :

الجراحة الروبوتية هي تقنية متطورة تعتمد على أنظمة روبوتية حديثة لمساعدة الجراحين في تنفيذ العمليات بدقة عالية وتقليل التدخل الجراحي التقليدي، توفر هذه التقنية تحكمًا محسنًا، رؤية ثلاثية الأبعاد، وحركات دقيقة للغاية، مما يساعد في إجراء عمليات معقدة عبر شقوق صغيرة، فيقلل فقدان الدم ويسرّع التعافي. [3]

يتميز الروبوت الجراحي بقدرته على تنفيذ حركات دقيقة دون ارتجاف، ما يجعله مثاليًا للعمليات التي تتطلب أعلى درجات الدقة، كما تسهم التقنية في تقليل الأضرار للأنسجة المحيطة، مما يساعد المرضى على التعافي بسرعة مقارنة بالجراحة التقليدية.

توفر الروبوتات الجراحية أنظمة رؤية ثلاثية الأبعاد مع إمكانية تكبير الصورة، مما يمنح الجراح تفاصيل دقيقة عن المنطقة المستهدفة أثناء العملية، ويقلل احتمالية حدوث مضاعفات.

بفضل هذه الميزات، أصبحت الجراحة الروبوتية تُستخدم على نطاق واسع في تخصصات مثل جراحة الأعصاب، الأورام، واستئصال الأورام السرطانية، مما يعزز سلامة المرضى ويقلل الأخطاء الطبية المحتملة.

٣. التطور التقني للجراحة الروبوتية وتأثير الذكاء الاصطناعي:

شهد الذكاء الاصطناعي تطورًا هائلًا في العقود الأخيرة، مما أحدث ثورة في التقنيات الجراحية وجعل الجراحة الروبوتية أكثر دقة وأمانًا.

أحد أبرز تأثيراته هو تعزيز تقنيات التصوير الطبي، إذ أصبح بالإمكان تحليل صور الأشعة والتصوير ثلاثي الأبعاد لمنح الجراح رؤية أوضح أثناء العمليات. كما ساعدت الخوارزميات الذكية في تطوير أنظمة جراحية تنبؤية، تمكن الجراحين من التفاعل مع البيانات في الوقت الفعلي واتخاذ قرارات جراحية قائمة على تحليل دقيق للحالة الطبية، مما يرفع مستوى الأداء الجراحي ويقلل من احتمالية حدوث المضاعفات.

ساهم الذكاء الاصطناعي في تطوير أنظمة التحكم في الروبوتات الجراحية، مما أتاح للجراحين تنفيذ عمليات أكثر تعقيدًا بدقة عالية للغاية، هذه الابتكارات لم تؤدِ فقط إلى تقليل التدخل الجراحي التقليدي، بل أيضًا إلى تسريع عملية التعافي وتقليل المخاطر الطبية، مما يعزز جودة الرعاية الصحية ويجعل الجراحة الروبوتية أكثر كفاءة وموثوقية.

في المستقبل، يُتوقع أن تستمر هذه التطورات في إحداث نقلة نوعية في عالم الجراحة، حيث يمكن أن تصبح الروبوتات أكثر استقلالية، وتعتمد على الذكاء الاصطناعي دون الحاجة إلى إشراف بشري مباشر ومع دمج الواقع الافتراضي والواقع المعزز في التدريب الجراحي، واستخدام الذكاء الاصطناعي لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد للجسم البشري، ستصبح عمليات التخطيط الجراحي أكثر دقة، مما يفتح آفاقًا جديدة لتحسين مستوى الجراحة ويجعلها أكثر تطورًا من أي وقت مضى. [19]

٤.تاريخ تطور الجراحة الروبوتية :

في عام ٢٠٠٠م ، أحدث نظام دافنشي الجراحي تحولًا كبيرًا في عالم الجراحة الروبوتية بعد اعتماده من قبل إدارة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA) ،حيث مكّن الجراحين من تنفيذ عمليات دقيقة بأقل تدخل بشري، معززًا الدقة عبر رؤية ثلاثية الأبعاد وأذرع روبوتية متطورة.

في سبتمبر من نفس العام، أجريت أول عملية جراحية روبوتية لإزالة الزائدة الدودية في نيويورك باستخدام هذا النظام، الذي سرعان ما أثبت كفاءته في جراحات القلب المفتوح واستبدال صمامات القلب وعلاج بعض أنواع السرطان، مما عزز موثوقيته في العمليات الدقيقة.

وفي خطوة رائدة، شهد العالم أول تجربة للجراحة الروبوتية عن بُعد ، حيث أجرى أطباء في نيويورك عملية لمريض في فرنسا عبر ١٤ ألف كيلومتر باستخدام نظام روبوتي في مستشفى ستراسبورغ، أُطلق عليها Operation Lindbergh استغرقت العملية ٤٥ دقيقة ، وغادر المريض المستشفى خلال يومين، مما أكد فعالية التقنية في تسريع التعافي.

أجرى الجراح الفرنسي بيروك العملية من باريس مستخدمًا نظام **ZEUS** الجراحي، المطور بواسطة **Computer Motion**، فيما وفّرت **France Telecom** اتصالًا عالي السرعة عبر كابلات بحرية ، مما قلل تأخير نقل البيانات إلى ١٥٥ ملي في الثانية فقط ، وهو إنجاز قياسي مقارنة بالتقنيات الجراحية السابقة.

ومع تقدم الجراحة الروبوتية، أصبح أمن البيانات أولوية، إذ تحتاج هذه الأنظمة إلى بنية سيبرانية قوية لضمان سلامة المرضى ومنع أي اختراق قد يؤثر على العمليات الجراحية عن بُعد.

كما عزز الذكاء الاصطناعي دقة العمليات من خلال تحليل البيانات الطبية ودعم الجراحين في اتخاذ قرارات دقيقة، مما زاد من اعتماد هذه الأنظمة في تخصصات مثل جراحة الأعصاب، الأورام، والجراحات الدقيقة الأخرى.

تثبت هذه التطورات أن الجراحة الروبوتية ليست مجرد تقنية متقدمة، بل ثورة طبية تهدف إلى تحسين الرعاية الصحية وتقليل الأخطاء الطبية، مما يمهد الطريق لمستقبل يعتمد بشكل أكبر على الذكاء الاصطناعي في العمليات الجراحية. [20][24]

٥.خوارزميات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في الجراحة :

شهدت الجراحة الروبوتية تطورًا كبيرًا بفضل دمج الذكاء الاصطناعي وخوارزميات التعلم الآلي، مما ساعد في تحسين دقة العمليات وتقليل الأخطاء البشرية بشكل ملحوظ.

تعتمد هذه التقنية على مجموعة من الخوارزميات الذكية، التي تساهم في تعزيز أداء الروبوتات الجراحية وتحسين نتائج العمليات.

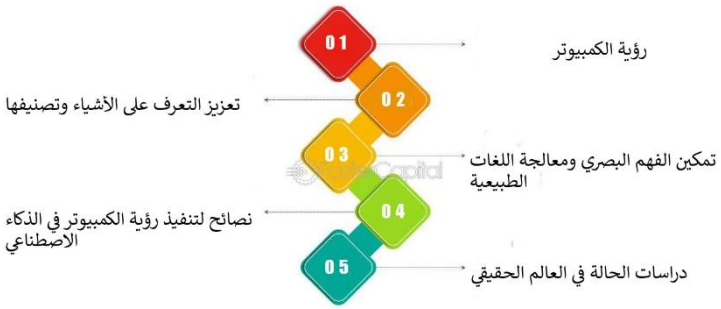
أهم الخوارزميات المستخدمة:

- **خوارزميات الذكاء الاصـــطناعي التنبؤية (Predictive AI Algorithms):** تحلل بيانات المرضـــى وتتنبأ بالمضاعفات المحتملة قبل حدوثها، مما يساعد الأطباء في اتخاذ قرارات علاجية أكثر دقة.

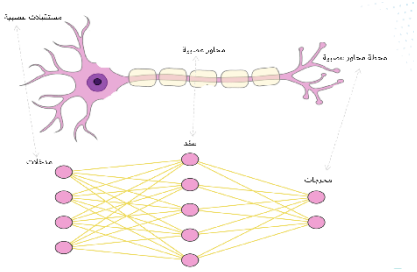
خوارزميات التعلم العميق (Deep Learning): تســتخدم لمعالجة وتحليل الصــور الطبية، مما يســمح بتحديد مناطق الجراحة بدقة عبر التصــوير ثلاثي الأبعاد، ويُســهل اتخاذ قرارات جراحية أكثر فعالية، تُســتخدم لمتابعة الأدوات الجراحية أثناء العمليات عبر تحليل الصــور الحية، مما يوفر تحكمًا ســلسًــا ودقيقًا في المعدات الجراحية الروبوتية.

شكل (٢) : خوارزمية التعلم العميق

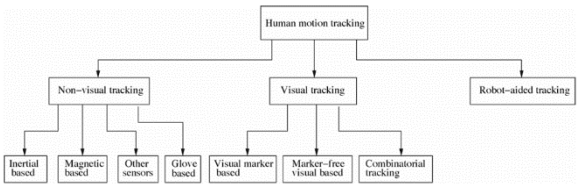
شكل (٣) : أهمية الرؤية الحاسوبية في الذكاء الاصطناعي



- **خوارزميات الشـــبكات العصـــبية الاصـــطناعية (Artificial Neural Networks):** تحلل أنماط العمليات الجراحية السابقة لتحسين أداء الروبوتات وتمكينها من اتخاذ قرارات مدروسة استنادًا إلى البيانات التاريخية.
- **خوارزميات التخطيط الحركي (Motion Planning Algorithms):** تُساعد في ضبط حركة الروبوتات داخل الجسم، حيث يتم تحديد أفضل مسار للأدوات الجراحية دون الإضرار بالأنسجة المحيطة .

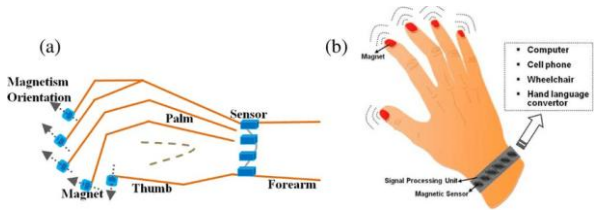


شكل (٤):الخلية العصبية عند الإنسان مقابل الشبكة العصبية الاصطناعية



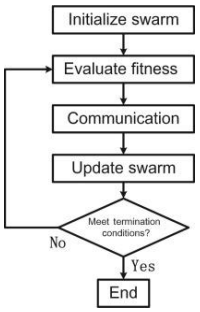
شكل (٥): آلية خوارزمية تخطيط الحركة

- **خوارزميات الذكاء الاصـــطناعي في التتبع المغناطيســـي (AI-Based Magnetic Tracking):** تســتخدم لتحديد الموقع الدقيق للأدوات الجراحية داخل الجسم، مما يعزز دقة العمليات الجراحية ويقلل من نسبة الأخطاء.



شكل (٦):

بنية نظام تتبع حركة اليد الكهرومغناطيسية



شكل(٧):

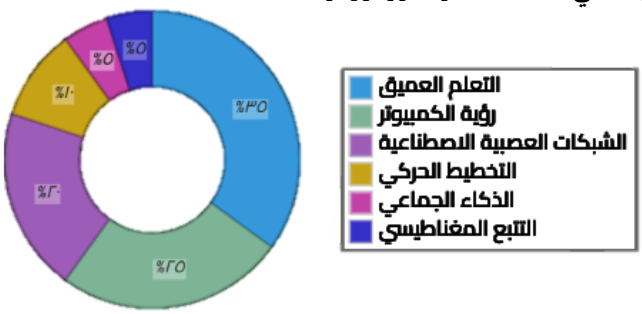
خوارزميات الذكاء الجماعي (Intelligence Algorithms)

الخوارزميات المبتكرة لتعزيز الكفاءة:

بالإضافة إلى ذلك، يتم استخدام **خوارزميات الذكاء الجماعي (Swarm Intelligence Algorithms)** التي تعتمد على استراتيجيات بحث متقدمة لاستكشاف الحلول المثلى خلال فترة قصيرة، مثل:

- **خوارزمية القرش الأبيض (WSO)** وخوارزمية **الثعبان(SO)** ، التي تساهم في تحسين تقنيات التتبع المغناطيسي أثناء العمليات الجراحية.
- **الشبكات العصبية العميقة** التي تُتيح تقديرات دقيقة لمواقع الأدوات الجراحية، مما يعزز دقة نظام التتبع القائم على الذكاء الاصطناعي.

تشير هذه التطورات إلى أن الذكاء الاصطناعي أصبح عنصرًا أساسيًا في تحسين أداء الجراحة الروبوتية، حيث يساهم في تقليل المضاعفات، تحسين نتائج العمليات، وتعزيز دقة التحكم في الأدوات الجراحية، مما يفتح آفاقًا جديدة لجراحات أكثر أمانًا ودقة في المستقبل . [17][5][7]



الشكل (٨): نسب توزع الخوارزميات المستخدمة في الروبوتات الجراحية

٦. تطبيقات الجراحة الروبوتية :

- في جراحة القلب، تُستخدم الروبوتات في إصلاح صمامات القلب وجراحات المجازة التاجية، مما يسمح بإجراء العمليات عبر شقوق صغيرة جدًا، مما يسرّع التعافي.
- في جراحة الأعصاب، تُساعد الأنظمة الروبوتية في إجراء عمليات الدماغ الدقيقة، مثل إزالة الأورام، حيث توفر تحكمًا متناهٍ في الحركة، مما يقلل الأضرار المحتملة للأنسجة العصبية.
- في جراحة الجهاز الهضمي، تُستخدم في علاج الارتجاع المعدي المريئي واستئصال أورام القولون والمستقيم، مما يُقلل نسبة المضاعفات الجراحية وتوسعت إلى أن وصلت لجراحة السمنة الروبوتية .
- في جراحة المسالك البولية، تُستخدم الروبوتات في استئصال البروستاتا وجراحات الكلى والمثانة، مما يعزز دقة العمليات ويُقلل من فقدان الدم.

- في جراحة العظام والمفاصل، تُستخدم التكنولوجيا الروبوتية في استبدال الركبة والمفاصل الاصطناعية، حيث تساعد في تحقيق محاذاة مثالية للمفاصل، مما يُقلل الألم ويُحسن الأداء الوظيفي بعد الجراحة.
- في جراحة الأورام، تُســـهم الأنظمة الجراحية الروبوتية في إزالة الأورام الســـرطانية بدقة عالية ، مما يُحافظ على الأنسجة السليمة ، ويُقلل من التأثيرات الجانبية للعلاج الجراحي. [22][4][2]

٧. التحديات والعقبات :

رغم التطور الكبير في **الجراحة الروبوتية**، إلا أن هناك العديد من التحديات والعقبات التي تؤثر على مدى انتشارها واعتمادها عالميًا. وفقًا للتقارير الطبية، تشمل أبرز هذه التحديات:

- **التكلفة العالية :** تُعد الأنظمة الجراحية الروبوتية، مثل نظام دافنشـــي، باهظة الثمن، حيث تتطلب استثمارات ضخمة في المعدات والتدريب، مما يجعلها غير متاحة في جميع المستشفيات. [9]
- **التحديات التقنية :** رغم دقة الروبوتات الجراحية، إلا أنها قد تواجه مشكلات تقنية مثل أعطال الأجهزة أو تأخر الاستجابة، مما قد يؤثر على سير العمليات الجراحية. [10]
- **نقص التدريب :** يحتاج الجراحون إلى تدريب مكثف لاســـتخدام الأنظمة الروبوتية بكفاءة، حيث يتطلب الأمر مهارات جديدة تختلف عن الجراحة التقليدية. [16]
- **المخاوف القانونية والأخلاقية :** في حالة حدوث خطأ طبي، قد يكون من الصـــعب تحديد المســـؤولية القانونية، هل تقع على الجراح أم على الشركة المصنعة للروبوت؟ [13]
- **الاعتماد على الذكاء الاصطناعي :** رغم أن الذكاء الاصطناعي يساعد في تحسين دقة العمليات، إلا أن هناك مخاوف بشأن مدى استقلالية الروبوتات، وهل يمكنها اتخاذ قرارات جراحية دون تدخل بشري. [15]
- **التحديات في الجراحة المعقدة :** أن بعض العمليات الجراحية المعقدة، مثل جراحة القلب المفتوح، لا تزال تتطلب تدخلًا بشريًا مباشرًا لضمان نجاحها. [14]

٨. دور الحركة العكسية في الروبوتات الجراحية :

تلعب الحركة العكسية دورًا أساسيًا في الجراحة الروبوتية، حيث تساعد الروبوتات الجراحية في حساب أفضل طريقة لتحريك أدواتها دون الاصطدام بالعقبات، مما يضمن دقة العمليات.

يعتمد هذا المبدأ على تحديد الموضع المطلوب للأداة الجراحية ثم حساب كيفية تحريك الذراع الروبوتية لتحقيق الهدف، مع مراعاة موقع المفاصـــل والزوايا المناســـبة لكل حركة. ولتجنب العقبات، يتم دمج معادلات الحركة العكســـية مع خوارزميات التخطيط الحركي لضمان مسار آمن ودقيق للأدوات الجراحية. [1]

٩. المستقبل والابتكارات المتوقعة :

مستقبل الجراحة الروبوتية يشهد تطورًا غير مسبوق، مدفوعًا بالتكنولوجيا الحديثة والبيانات الرقمية، مما يعزز الدقة والكفاءة في العمليات الجراحية.

يُعتبر نظام الجراحة الروبوتية دا فينشي (da Vinci Surgical System) أحد أكثر الأنظمة الجراحية الروبوتية استخدامًا، حيث يوفر دقة عالية ويقلل التدخل الجراحي التقليدي. يتميز بأذرع روبوتية متطورة تمنح الجراحين تحكمًا أكبر داخل الجسم، مما يقلل من المضاعفات ويسرّع عملية التعافي .[11]

تُستخدم روبوتات ROSA Robotics في جراحات الأعصاب والعظام، حيث تتيح دقة متناهية في تحديد المواقع الجراحية عبر التصوير ثلاثي الأبعاد، مما يساعد في تحسين نتائج العمليات وتقليل نسبة الأخطاء البشرية أثناء الجراحة. [18]

تم تصميم روبوتات Mako Robotics خصيصًا لجراحات استبدال المفاصل، حيث تتيح للجراحين تخطيطًا دقيقًا للعملية مسبقًا، مما يؤدي إلى تحسين نتائج الجراحة وتقليل فترة التعافي للمرضى. [8]

الجراحة عن بُعد عبر شبكات 5G تمكّن الجراحين من إجراء عمليات دقيقة لمسافات بعيدة دون الحاجة إلى التواجد الفعلي في موقع الجراحة، مما يسهم في تقديم رعاية صحية متقدمة للمناطق النائية التي تفتقر إلى الأطباء المتخصصين. [6]

تُعد اليد الروبوتية الذكية تقنية متطورة تحاكي وظائف اليد البشرية، حيث تعتمد على مستشعرات دقيقة وأنظمة تحكم ذكية، كما تتصل بعض النماذج الحديثة مباشرة بالأعصاب عبر واجهات عصبية، مما يجعلها تعمل كما لو كانت يدًا طبيعية ، هذه التطورات تؤكد أن الجراحة الروبوتية ليست مجرد تحسين تقني، بل ثورة طبية تهدف إلى رفع مستوى الأمان، تقليل الأخطاء الجراحية، وتسريع التعافي، مما يمهد لمستقبل طبي أكثر تطورًا وابتكارًا.

التقنية	الاستخدام الرئيسي	مستوى الدقة	التكلفة	ميزة فريدة
da Vinci Surgical System	الجراحة الدقيقة وتقليل التدخل الجراحي التقليدي	عالية جدًا	مرتفعة	أذرع روبوتية تمنح الجراح دقة أكبر في المناورة
ROSA Robotics	جراحات الأعصاب والعظام باستخدام التصوير ثلاثي الأبعاد	متناهية الدقة	متوسطة	يساعد في تقليل الأخطاء البشرية أثناء الجراحة
Mako Robotics	استبدال المفاصل بتخطيط دقيق للعملية	عالية جدًا	مرتفعة	تحسين نتائج الجراحة وتقليل فترة التعافي للمرضى
الجراحة عن بُعد عبر 5G	عمليات جراحية عن بُعد بفضل الشبكات السريعة	دقيقة	متفاوتة	إمكانية إجراء جراحة من مسافات بعيدة بدون وجود الجراح
اليد الروبوتية	أطراف صناعية ذكية وجراحة روبوتية	متقدمة جدًا	متفاوتة	تتصل بالأعصاب مما يسمح بالتحكم كما لو كانت يدًا طبيعية

الشكل (٩): التقنيات المبتكرة وميزاتها

الخاتمة :

بينما يشهد العالم تطورًا غير مسبوق في الذكاء الاصطناعي والجراحة الروبوتية، يبقى السؤال الأهم : كيف يمكن لهذه التقنيات أن تخدم الإنسانية؟ الجراحة الروبوتية ليست مجرد تقدم تقني، بل هي بوابة نحو مستقبل أكثر أمانًا ودقة، حيث تمتزج عبقرية العقل البشري بالإبداع العلمي لخلق واقع صحي أفضل .

لكن وسط هذه الإنجازات، يبقى هناك نداء أعظم , نداء الحرية في **سورية** ..

هو حلم يعيشه الأمل، يتجسد في كل قلب ينبض بحب الأرض، في كل عين ترنو إلى مستقبل أكثر عدلًا وكرامة ، وحق تسعى إليه العقول الطامحة ، فكما يسعى العلم لإنقاذ الحياة، فإن السعي لتحرير الأرض هو جوهر الحياة نفسها، فالوطن الحر هو الأساس لكل إبداع، لكل تقدم، ولكل إنجاز يُبنى على أرض مستقلة وأرواح لا تعرف القيود.

التكنولوجيا تمنح الإنسان أدوات لتجاوز الحدود، لكن الحرية وحدها تمنحه القوة ليصنع مستقبله

لا قيمة للعلم بلا إنسانية، ولا معنى للوطن بلا حرية، ولا مجد للأمة بلا إرادة حرة قادرة على إعادة بناء تاريخها بأيدي أبنائها. بعد التحرير، يبدأ عهد جديد، تُكتب صفحاته بأفعال عظيمة

المستقبل يُكتب بأفعالنا، **السوريات و السوريون** ..

كما كانوا دومًا، قادرون على كتابته بحروف من نور ونضال.

Conclusion

As the world advances in artificial intelligence and robotic surgery, the real question remains: how can these technologies serve humanity? Robotic surgery is not just an innovation—it is a path to a safer, more precise future where human ingenuity meets scientific progress to improve lives.

Yet, beyond these achievements, there is a greater call—the call for freedom in Syria. It is not merely a dream but a living hope, reflected in every heart devoted to the land, in every eye longing for justice and dignity. Just as science strives to save lives, the fight for liberation is the essence of life itself. A free nation is the foundation for creativity, progress, and every achievement built on sovereign ground and unshackled minds.

Technology gives humanity the tools to break barriers, but only freedom grants the power to shape destiny. Science without humanity is meaningless, just as a homeland without freedom is empty. After liberation, a new era begins—one written with resilience and action. Syrians, as they always have been, will write their future in letters of light and determination.

المراجع :

1. .Douglas P. Murphy, "The Future of Robots in Medicine," *Robotics in Physical Medicine and Rehabilitation*, Elsevier, 2025, Pages 179-193, ISBN 9780323878654, https://doi.org/10.1016/B978-0-323-87865-4.00012-1, ScienceDirect.
2. Felipe J.F. Coimbra, Rebeca Hara Nahime, Silvio Melo Torres, Igor Correia Farias, "Esophagus/foregut and pancreatic robotic surgery," *Handbook of Robotic Surgery*, Academic Press, 2025, Pages 527-535, ISBN 9780443132711, https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13271-1.00012-1.
3. FBI – *robotic surgical procedures market: Fortune Business Insights*, – *Robotic Surgical Procedures Market | Fortune Business Insights*. Available at: https://www.fortunebusinessinsights.com/ar/industry-reports/methodology/robotic-surgical-procedures-market-100124 (Accessed: 21 April 2025).
4. Garima Chopra, Suhaib Ahmed, "Artificial intelligence and machine learning–assisted robotic surgery: Current trends and future scope," *Artificial Intelligence in Biomedical and Modern Healthcare Informatics*, Academic Press, 2025, Pages 23-29, ISBN 9780443218705, https://doi.org/10.1016/B978-0-443-21870-5.00003-0.
5. Liu, Z., Li, M., Zhang, R., Zhang, G., Han, S., & Chen, K. (2025). *Preoperative path planning of craniotomy surgical robot based on improved MDP-LQR-RRT* algorithm*. Biomedical Signal Processing and Control, 105, 107647
6. Natalia M. López, Emilio Kenan, "Robotics for upper limb rehabilitation: a comprehensive exploration," *Advances in Technology-Assisted Neurorehabilitation*, Academic Press, 2025, Pages 99-116, ISBN 9780128198773, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819877-3.00010-X, ScienceDirect.
7. Ranganathan, S., Cannataro, M. and Asif Khan, M. (2025) 'Scalable Deep Learning for Bioinformatics', *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology*. Amsterdam: Elsevier.
8. Rakesh Kumar Sakthivel, Gayathri Nagasubramania, "Enhancing data services with AI-powered telemedicine, metaverse, and remote collaboration over 6G networks," *Advances in Computers*, Elsevier, 2025, ISSN 0065-2458, https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2025.03.017, ScienceDirect.
9. Ruby Pant, Kapil Joshi, Shubham Mahajan, "Robotics: challenges and opportunities in healthcare," *Data Science in the Medical Field*, Academic Press, 2025, Pages 361-367, ISBN 9780443240287, https://doi.org/10.1016/B978-0-443-24028-7.00025-8.
10. Sameer Mohommed Khan, "Robotics and AI-assisted surgery: Advancements and applications," *Fundamentals of AI for Medical Education, Research and Practice*, Academic Press, 2025, Pages 331-354, ISBN 9780443335846, https://doi.org/10.1016/B978-0-443-33584-6.00015-3.
11. Sameer Mohommed Khan, "Robotics and AI-assisted surgery: Advancements and applications," *Fundamentals of AI for Medical Education,* , Academic Press, 2025, Pages 298-245, ISBN 9780443335846, https://doi.org/10.1016/B978-0-443-33584-6.00015-3, ScienceDirect.
12. Samreen, S. *et al.* (2025) *The SAGES Manual of Robotic Surgery*. S.l.: SPRINGER INTERNATIONAL PU.
13. Tapsi Nagpal, Ravi Prakash Mishra, Pankaj Sharma, Shivani Bansal, "Background and research orientation of artificial intelligence models for segmentation in medical imaging," *Revolutionizing Medical Systems using Artificial Intelligence*, Academic Press, 2025, Pages 25-46, ISBN 9780443328626, https://doi.org/10.1016/B978-0-443-32862-6.00002-X, ScienceDirect.

14. Venkatasubramanian Kalpathy Venkiteswaran, Sarthak Misra, "Magnetic actuation of flexible and soft robotic systems for medical applications," *Recent Progress in Medical Miniature Robots*, Academic Press, 2025, Pages 323-364, ISBN 9780443133855, https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13385-5.00012-X, ScienceDirect.

15. Vivek Kumar, Kapil Joshi, Rajiv Kumar, Minakshi Memoria, Ashulekha Gupta, F. Ajesh, "Future prospective of neuromorphic computing in artificial intelligence: A review, methods, and challenges," *Primer to Neuromorphic Computing*, Academic Press, 2025, Pages 185-197, ISBN 9780443214806, https://doi.org/10.1016/B978-0-443-21480-6.00008-0, ScienceDirect.

16. Zhenzhong Liu, Mingyang Li, Runfeng Zhang, Guobin Zhang, Shilei Han, Kelong Chen, "Preoperative path planning of craniotomy surgical robot based on improved MDP-LQR-RRT* algorithm," *Biomedical Signal Processing and Control*, Volume 105, 2025, Article 107647, ISSN 1746-8094, https://doi.org/10.1016/j.bspc.2025.107647.

17. Ee Chern Ng, Sheng Xu, Xuan Eric Liu, Jason Beng Teck Lim, Ming Han Lincoln Liow, Hee Nee Pang, Darren Keng Jin Tay, Seng Jin Yeo, Jerry Yongqiang Chen, "Enhanced recovery after surgery day surgery for MAKO® robotic-arm assisted TKA; better outcome for patients, improved efficiency for hospitals," *Journal of Orthopaedics*, Volume 56, 2024, Pages 77-81, ISSN 0972-978X, https://doi.org/10.1016/j.jor.2024.05.013, ScienceDirect.

18. Manzano, J.P. and Ferreira, L.M. (٢) *Robotic surgery devices in Surgical Specialties*. S.l.: SPRINGER INTERNATIONAL PU.

19. Qian , C. and Ren, H. (2024) 'Chapter 9 – Deep reinforcement learning in surgical robotics: Enhancing the automation level', in *Handbook of Robotic Surgery*. Germany, Munich: Academic Press, pp. 89–102.

20. Riccardo Autorino, Christopher Bednarz, Fairleigh Reeves, Prokar Dasgupta, "The evolution of robotic single-port dedicated platforms," *Single-Port Robotic Surgery in Urology*, Academic Press, 2022, Pages 1-10, ISBN 9780323919067, https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91906-7.00009-0, ScienceDirect.

21. *Data and Information Management* (2022). Högskolan Dalarna.

22. Shirley L. Wang, Andrew T. Gabrielson, Phillip M. Pierorazio, Mohamad E. Allaf, "Comparison of perioperative outcomes and costs between single-port and standard multiport robot-assisted surgeries in urology," *Single-Port Robotic Surgery in Urology*, Academic Press, 2022, Pages 133-154, ISBN 9780323919067, https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91906-7.00005-3.

23. Felipe J.F. Coimbra, Rebeca Hara Nahime, Silvio Melo Torres, Igor Correia Farias, "Esophagus/foregut and pancreatic robotic surgery," *Handbook of Robotic Surgery*, Academic Press, 2025, Pages 527-535, ISBN 9780443132711, https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13271-1.00012-1.

24. Hashimoto, D., Meireles, O.R. and Rosman, G. (2021) *Artificial Intelligence in surgery: Understanding the role of AI in Surgical Practice*. New York: McGraw Hill.

25. .Douglas P. Murphy, "The Future of Robots in Medicine," *Robotics in Physical Medicine and Rehabilitation*, Elsevier, 2025, Pages 179-193, ISBN 9780323878654, https://doi.org/10.1016/B978-0-323-87865-4.00012-1, ScienceDirect.