

کاربردهای هوش مصنوعی در جراحی ارتوپدی

فاطمه شیخی فرد

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

استفاده از هوش مصنوعی (AI)^۱ به سرعت در بسیاری از حوزه ها در حال رشد است که حوزه پزشکی نیز از این قاعده مستثنی نیست. هوش مصنوعی اصطلاحی است که کاربرد عملی الگوریتم ها را برای تولید خروجی مفید، بدون نیاز به شناخت انسانی تعریف می کند. با توجه به گسترش حجم اطلاعات جمع آوری شده بیمار، معروف به «داده های بزرگ»، هوش مصنوعی به عنوان یک ابزار مفید در تحقیقات مراقبت های بهداشتی و در تمام جنبه های مسیرهای مراقبت از بیمار امیدوارکننده است. کاربردهای عملی در جراحی ارتوپدی عبارتند از: تشخیص، مانند تشخیص شکستگی و تشخیص تومور؛ مدل های پیش بینی کننده معیارهای پیامد بالینی و گزارش شده توسط بیمار، مانند محاسبه میزان مرگ و میر و طول مدت بستری در بیمارستان؛ و نظارت بر توانبخشی در زمان واقعی و آموزش جراحی است. با این حال، پزشکان باید از محدودیت های هوش مصنوعی آگاه باشند، زیرا توسعه چارچوب های گزارش دهی و اعتبارسنجی قوی برای جلوگیری از خطاها و سوگیری های قابل اجتناب از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف این مقاله مروری ارائه یک درک جامع از هوش مصنوعی و زیرشاخه های آن، و همچنین تشریح کاربردهای بالینی موجود آن در تروما و جراحی ارتوپدی است. علاوه بر این، این بررسی روایی به محدودیت های هوش مصنوعی و مسیر آینده می پردازد.

واژگان کلیدی: جراحی ارتوپدی، هوش مصنوعی، یادگیری ماشینی، آرتروپلاستی، شبکه های عصبی

¹ Artificial intelligence (AI)

مقدمه هوش مصنوعی

کاربرد هوش مصنوعی (AI) به سرعت در بسیاری از حوزه‌ها در حال رشد است و حوزه پزشکی نیز از این قاعده مستثنی نیست. به طور سنتی هوش مصنوعی یک اصطلاح کلی است که در اصل تکثیر عقل انسان از طریق رایانه را تئوری پردازی می‌کند. تعریف گسترده هوش مصنوعی، کاربرد عملی الگوریتم‌های پیچیده برای تولید خروجی مفید، بدون نیاز به هوش شناختی انسان است (Hashimoto et al, 2018). هوش مصنوعی در حال تبدیل شدن به بخشی جدایی ناپذیر از جامعه مدرن است؛ از خلبان خودکار پرواز هوایی گرفته تا تشخیص تقلب، تبلیغات رسانه‌های اجتماعی و قابلیت‌های به ظاهر همه فن حریف ChatGPT (Bernstein, 2023). تخمین زده می‌شود که هوش مصنوعی می‌تواند تا سال ۲۰۲۶ هزینه‌های سالانه مراقبت‌های بهداشتی ایالات متحده را ۱۵۰ میلیارد دلار کاهش دهد (Soldozy et al, 2020). بخش قابل توجهی از کاهش هزینه ناشی از اتخاذ یک رویکرد مدیریت سلامت پیشگیرانه است که انتظار می‌رود منجر به بستری شدن کمتر، ویزیت کمتر پزشک و کاهش درمان شود. (Bernstein, 2023) این موضوع را می‌توان به تشخیص زودهنگام بیماری با درمان‌های شناخته شده، از طریق بررسی خودکار حجم زیادی از داده‌ها با استفاده از هوش مصنوعی با پروفایل سازی ریسک فردی پیشرفته نسبت داد (Magan et al, 2020).

با توجه به افزایش روزافزون حجم اطلاعات جمع‌آوری شده بیمار، معروف به «داده‌های بزرگ»، هوش مصنوعی به عنوان یک ابزار مفید در تسلیحات تحقیقاتی مراقبت‌های بهداشتی نویدبخش است. الگوریتم‌های مبتنی بر مجموعه داده‌های بالینی (شامل پرونده‌های پزشکی الکترونیکی، داده‌های سطح ژنومی، نمرات بالینی معتبر و تصویربرداری و غیره) برای پیش‌بینی نتایج بالینی بیماران به شدت در حال بررسی هستند. این مفهوم مجموعه داده‌هایی به اندازه‌ای بزرگ را در بر می‌گیرد که هیچ راه قابل تصویری وجود ندارد که انسان بتواند بدون استفاده از فن آوری، چنین حجم عظیمی از اطلاعات را درک کند (Kurmish & lanunzio, 2022). در حالی که هوش مصنوعی می‌تواند داده‌های بزرگ را طبقه‌بندی و معنا کند، اما هنوز هم به اندازه داده‌های ارائه شده خوب است و بنابراین مشارکت انسان بسیار مهم است. دقت عملکرد آن را می‌توان به تدریج اصلاح کرد، زیرا به طرز جالبی به یادگیری متوالی انسان تشبیه شده است، به طوری که قرار گرفتن در معرض متوالی، درک را تقویت می‌کند (Kurmish & lanunzio, 2022).

در حالی که هنوز در مراحل اولیه خود است، استفاده از هوش مصنوعی در زمینه ارتوپدی مرز جدیدی از علم داده است. جراحی ارتوپدی در حال حاضر خانه برخی از نوآورانه‌ترین فن‌آوری‌ها، مانند جراحی با کمک رباتیک است که هوش مصنوعی بخش رو به رشد آن است (Kayani et al, 2021). اخیراً، ادبیات ارتوپدی و مراقبت‌های بهداشتی گسترده‌تر شاهد افزایش مطالعات با استفاده از هوش مصنوعی بوده است، که در بسیاری از موارد از روش‌شناسی استفاده می‌کنند که تفاوت چندانی با مدل‌های پیش‌بینی سنتی ندارد. برای تشریح کاربرد مدل‌های هوش مصنوعی در جراحی ارتوپدی، لازم است مفاهیم هر طرح معماری مشخص شود. مبنایی که از طریق آن هر مدل ایجاد شده، سطح پیچیدگی، قدرت و مهمتر از همه محدودیت‌ها را توصیف می‌کند. بنابراین، تمایز بین انواع مختلف هوش مصنوعی (شکل ۱)، به منظور دستیابی به یکپارچگی و اطمینان از شفافیت برای خوانندگان، بسیار مهم است. برای دستیابی به آن، درک بهتر هوش مصنوعی و زیرمجموعه‌های آن ضروری است، در حالی که در تحقیقات ارتوپدی می‌توان تمرکز بر واژه‌ی کلی هوش مصنوعی را رها کرد.

یادگیری ماشین

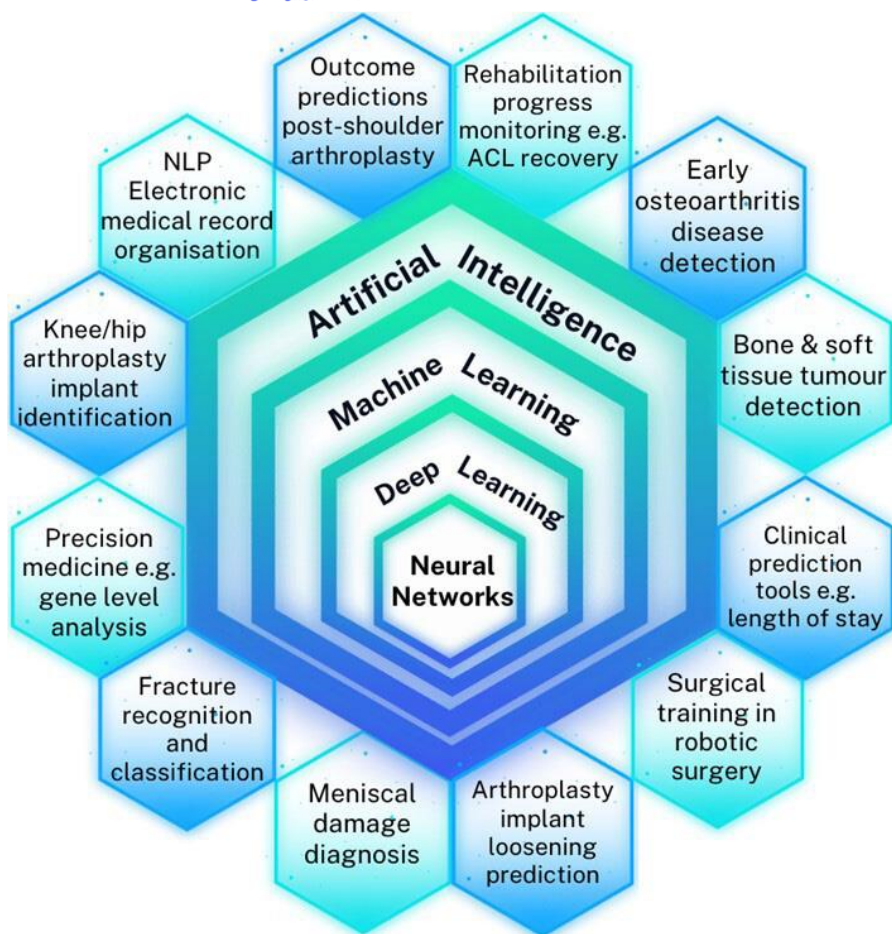
هوش مصنوعی یک زیرشاخه به نام یادگیری ماشین (ML)^۲ را در بر می گیرد. (شکل ۱). (Farrow et al, 2021). ML را می توان به عنوان استفاده از ابعاد برای "یادگیری و انطباق" بر اساس الگوریتم ها و داده های ورودی توصیف کرد که اغلب از درک انسان پیشی می گیرد. طبقه بندی های فرعی دیگر شامل ML نظارت شده، بدون نظارت و تقویتی است. ML نظارت شده شامل برچسب گذاری داده های ورودی توسط انسان و تصحیح اشتباهات رایانه است. به عنوان مثال، یک کامپیوتر هزاران تصویر از یک رادیوگرافی معمولی (کامپیوتر تمام ویژگی ها را از پیکسل های شناسایی شده توسط نظارت انسانی تشخیص می دهد) و سپس هزاران تصویر از یک استخوان شکسته را نشان می دهد. الگوریتم هوش مصنوعی تشخیص آنچه "شکسته" یا "نشکسته" برچسبگذاری شده است را دیکته می کند. ML فقط در نیمه راه کامل شده است و به دنبال این فرآیند، مدل باید برای تأیید صحت قبل از استفاده گسترده تر اصلاح یا آموزش داده شود. در زمینه ML نظارت شده، داده های «واقعیت زمینی» که برای آموزش مدل های ML استفاده می شوند، معمولاً توسط انسان ها برچسب گذاری یا حاشیه نویسی می شوند، که پاسخ یا نتیجه صحیح را برای یک ورودی مشخص نشان می دهد (Kunze et al, 2022). داشتن داده های صحت زمینی با کیفیت بالا و دقیق در اعتبارسنجی مدل های ML بسیار مهم است. علاوه بر این، زمانی که مدل برای ارائه حقیقت زمینی دقیق آموزش داده می شود، این امکان استفاده مجدد از مدل را در مسائل جدید فراهم می کند که از آن به عنوان "یادگیری انتقال" یاد می شود. به این ترتیب، توسعه دهنده می تواند از بازسازی کامل الگوریتم های جدید از مجموعه داده های جدید اجتناب کند، بنابراین در زمان و هزینه های زیادی صرفه جویی می کند. یادگیری انتقالی برای تشخیص شکستگی و کمی سازی آرتروز (OA)^۳ به کار گرفته شده است (Kurmis & Ianunzio, 2022).

ML بدون نظارت، داده های آموزشی بدون برچسب را با یک نتیجه شناخته شده مورد علاقه پردازش می کند و آنها را به عنوان شناخته شده یا ناشناخته خوشه بندی می کند. در مثال فوق، تصاویر رادیوگرافی از همان استخوان آناتومیک (مثلاً رادیوگرافی لگن) به کامپیوتر اجازه می دهد تا تشخیص دهد که چه چیزی طبیعی است. سپس کامپیوتر داده های مشابه را گروه بندی می کند و با استفاده از یک الگوریتم آن ها را با هم الگوبرداری می کند (مثلاً برای رادیوگرافی استخوان های شکسته و شکسته نشده). از تکرار این توابع می توان برای تنظیم دقیق الگوریتم و بهبود دقت استفاده کرد. این فرآیند (به نام 'epoch') ممکن است تا هزار بار تکرار شود تا به دقت مورد نیاز دست یابد، قبل از اینکه یک الگوریتم بتواند فراتر از اثبات مفهوم حرکت کند و وارد مرحله اعتبار سنجی شود. از طریق این مکانیسم است که می توان یک الگوریتم نهایی را ایجاد کرد و در صورت لزوم روی مجموعه داده های ناشناخته اعمال کرد (Kurmis & Ianunzio, 2022).

ML نیمه نظارت شده یا تقویت شده با کاوش در محیط بر اساس پاداش یا تنبیه از اقدامات خاص (مثلاً اتومبیل های خودران تسلا) یاد می گیرد (Baessler et al, 2021). تحقیقات رو به رشدی در زمینه یادگیری تقویتی عمیق برای استفاده از مدل ها در جراحی ارتوپدی به کمک رایانه، گزارش قابلیت های تولید راه حل های بالینی واقعی و بدون نیاز به داده های بیمار برای آموزش وجود دارد (Ackermann et al, 2021). با این حال، ابزارهای معتبر و قابل تکرار با کیفیت بالا در انتظار هستند.

² Machine learning (ML)

³³ Osteoarthritis (OA)



شکل ۱: کاربردهای کلیدی هوش مصنوعی در جراحی تروما و ارتوپدی. ACL، رباط صلیبی قدامی؛ NLP، پردازش زبان طبیعی.

یادگیری عمیق و شبکه های عصبی

یادگیری عمیق (DL)^۴ زیرمجموعه ای پیشرفته تر و جامع تر از ML است که شامل لایه های متعدد و پیچیده الگوریتم است که شبکه های عصبی دیده شده در مغز را از طریق شبکه های عصبی مصنوعی (ANN)^۵ منعکس می کند. (شکل ۱). (Magan et al, 2020). در جایی که ML شامل هزاران تا میلیون ها پارامتر است، DL ممکن است دارای میلیاردها باشد، با درجات و لایه های مختلف پیچیدگی برای گسترش تابعی که برای آن برنامه ریزی شده است. مشابه ML، بسیاری از DL برای یادگیری و اصلاح نیاز به نظارت انسانی دارند. با این حال، علاقه تحقیقاتی فزاینده ای در مورد عملکرد مدل های DL بدون نیاز به نظارت انسانی وجود دارد. با ورودی بدون برچسب و بدون ساختار کار می کند و خروجی مورد نظر را مجاز می کند. نمونه ای از DL که در دنیای ارتوپدی مورد بررسی قرار می گیرد، شبکه های عصبی کانولوشن (CNNs)^۶ است که اغلب برای تجزیه و تحلیل تصویربرداری و وظایف بینایی کامپیوتری استفاده می شود.

تحقیقات زیادی در CNNs در ارتباط با شناسای و تشخیص تصویر، طبقه بندی و تشخیص تومور، بخش بندی و پردازش زبان طبیعی (NLP)^۷ انجام شده است که حوزه ارتوپدی نیز از این قاعده مستثنی نیست. معماری ریاضی CNN ها ممکن است به عنوان همپوشانی از الگوهای شبکه در نظر گرفته شود (Magan et al, 2020). بلوک های ساختمانی اصلی شامل لایه های کانولوشن (ترکیبی از عملیات خطی و غیرخطی که برای استخراج داده های تصویر استفاده می شوند)، لایه های ادغام شده (برای کاهش پارامترهای قابل یادگیری)، و لایه های کاملاً متصل طراحی شده برای انتشار خودکار ورودی تصویر و یادگیری سلسله مراتب فضایی ویژگی ها از طریق یک الگوریتم انتشار رو به جلو و عقب است (Magan et al, 2020). در بیشتر موارد، CNN ها از این سه لایه تشکیل شده اند: دو لایه اول، کانولوشن و ترکیب، استخراج ویژگی را انجام می دهند، در حالی که لایه سوم که یک لایه کاملاً متصل است، ویژگی های استخراج شده را به خروجی نهایی، مانند یک (طبقه بندی) نگاشت می کند (Magan et al, 2020).

پردازش زبان طبیعی و پرونده های پزشکی الکترونیکی

NLP درک کامپیوتر از زبان را توصیف می کند (Magan et al, 2020). از نظر عملکردی، می تواند سوابق پزشکی بالینی را اسکن کند و اطلاعاتی مانند یادداشت های عمل و گزارش های رادیولوژی را درک کند. الگوریتم های NLP این پتانسیل را دارند که جمع آوری داده ها را برای عناصر تشخیصی خودکار کنند، که می تواند مستقیماً مراقبت از بیمار را بهبود بخشد و نظارت گروهی را تقویت کند (Fu et al, 2021). پیامدهای NLP ممکن است شامل جمع آوری و تجزیه و تحلیل پایگاه های داده بزرگ با اطلاعات فراوان، معمولاً برای مرتب سازی دستی بسیار دشوار، و کاهش زمان مستندسازی باشد (Wyatt et al, 2021). NLP قبلاً در سازمان دهی داده های مرتبط از پرونده های سلامت پزشکی الکترونیکی در موارد شکستگی های اطراف پروتز و کمک به تشخیص عفونت های مفصلی پروتزی استفاده شده است (Fu et al, 2021). برای مثال، عناصر داده ای که معیارهای انجمن

⁴ Deep learning (DL)

⁵ Artificial neural networks (ANN)

⁶ Convolutional neural networks (CNNs)

⁷ Natural language processing (NLP)

عفونی اسکلتی عضلانی (MSIS)⁸ (Parvizi & Gehrke, 2014). را تشکیل می‌دهند، به صورت دستی استخراج شده و به عنوان استاندارد طلایی برای اعتبارسنجی استفاده شدند. الگوریتم NLP برای استخراج وجود مجرای سینوسی، چرکی، مستندات پاتولوژیک التهاب و رشد ارگانسیم های کشت شده از سوابق پزشکی به کار گرفته شد.

تشخیص و شناسای تصویر

تشخیص شکستگی در دهه گذشته، تجزیه و تحلیل تصویربرداری به نقطه کانونی قابل توجهی در تحقیقات هوش مصنوعی تبدیل شده است (Corban et al, 2021). نویسندگان متعددی توانایی CNN ها را برای شناسایی شکستگی های مختلف اندام فوقانی و تحتانی در رادیوگرافی ها، مانند شکستگی های لگن، استخوان پاشنه و رادیال مورد مطالعه قرار داده اند. دقت تا ۹۸٪ گزارش شده است، همچنین پتانسیل CNN ها برای عملکرد بهتر یا عملکرد ضعیف تر نسبت به انسان ها گزارش شده است (Gyftopoulos et al, 2019). همچنین گزارش شده است که مدل های DL می توانند جانبی بودن، نمای معاینه و قسمتی از بدن را در رادیوگرافی مچ، دست و مچ پا تشخیص دهند. آن ها همچنین نشان داده اند که در دستیابی به تشخیص های بسیار دشوار، مانند شکستگی های کتف، به اندازه متخصصان انسانی موثر هستند (Langerhuizen et al, 2020). نباید فراموش کرد که عملکرد CNN ها قبل از پذیرش بالینی باید هم در داخل و هم از خارج تایید شود. در حالی که اعتبار سنجی داخلی کاملاً موفقیت آمیز است، موانعی وجود دارد که اعتبار سنجی خارجی را دشوار می کند، به عنوان مثال. برای طبقه بندی شکستگی. یکی از مسائل گزارش شده مربوط به موسسات مختلف است که از سیستم های برچسب گذاری مختلف برای رادیوگرافی یا دز پرتو استفاده می کنند. به ویژه، اگر یک مؤسسه معین پروتکل های خود را تغییر دهد، الگوریتم های قبلاً تأیید شده ممکن است نامعتبر و ترجمه آنها مشکل ساز شود.

مقاله ای که اخیراً توسط Oliveira E Carmo و همکارانش (Oliveira e Carmo et al, 2021) ارائه شده عدم اعتبار خارجی CNN ها برای تشخیص شکستگی را در مطالعات برجسته می کند. در یک مرور سیستماتیک بزرگ، تنها چهار مطالعه (۱۱٪ از کل مطالعات شناسایی شده) یافت شد که اعتبار خارجی، هم زمانی و هم جغرافیایی، فراتر از یک سایت بیمارستان را نشان می داد. نویسندگان توصیه می کنند که از دستورالعمل های گزارش دهی استاندارد شده به منظور تعیین حقیقت پایه برای CNN ها در تشخیص شکستگی، مانند چک لیست تحقیقات هوش مصنوعی بالینی (CAIR)⁹، برای ارزیابی انتقادی عملکرد CNN ها برای تسهیل اجرای نهایی در عمل بالینی استفاده شود. (Oliveira e Carmo et al, 2021). تشخیص تومور نشان می دهد که پتانسیل هوش مصنوعی فراتر از تشخیص شکستگی است. پارک و همکاران (Park et al, 2022) نشان دادند که یک CNN قادر است تشخیص دقیق تومورهای استخوان فمور (ران) پروگزیمال را در مقایسه با پزشکان تحت الشعاع قرار دهد (Park et al, 2022). به طور خاص، ML ممکن است برای تشخیص تومورهای مبهم استخوان اولیه و بافت نرم مفید باشد، تومورهایی که به وضوح در رادیوگرافی ساده مشهود نیستند. سایر کاربردهای تشخیصی هوش مصنوعی همچنین نتایج امیدوارکننده ای را در چندین کاربرد تشخیصی دیگر، از ناهنجاری های رشدی گرفته تا آسیب های بافت نرم زانو، نشان داده است.

یک بررسی اثبات مفهوم توسط Xie و همکارانش (Xie et al, 2021) یک الگوریتم مبتنی بر CNN را برای بهبود کیفیت اسکن های MRI در شکستگی های پلاتوی تیبیا با نقایص منیسک ترکیبی آزمایش کرد. (Farhadi et al, 2022). هنگامی که

⁸⁸ Musculoskeletal Infection Society (MSIS)

⁹ Clinical Artificial Intelligence Research (CAIR)

تشخیص MRI با یافته های آرتروسکوپی مقایسه شد، نویسندگان به ترتیب حساسیت ۹۶.۹٪، ویژگی ۹۳.۲٪ و دقت ۹۵.۳٪ را ثبت کردند. تصویربرداری واضح تر و تقویت شده هوش مصنوعی تولید شده توسط مدل CNN منجر به تشخیصی شد که با یافته های حین عمل مطابقت داشت. این مطالعه یکی از بسیاری از مطالعاتی است که زمینه های امکان پذیر برای تحقیقات آینده و پیشرفت های روش های تصویربرداری فعلی را برجسته می کند (Xie et al, 2021). با توجه به ناهنجاری های مادرزادی، مانند دیسپلازی هیپ، مطالعات نیز کاربردهایی را برای اندازه گیری های رادیولوژیکی به شیوه ای سریع و مؤثر نشان داده اند (Archer et al, 2022).

تشخیص و طبقه بندی آرتروز (OA) با کمک هوش مصنوعی از رادیوگرافی ها دقت مشابهی را با پزشکان ارشد نشان داده است. علاوه بر این، CNN ها برای تشخیص شکستگی پوکی استخوان به منظور ارزیابی مستقیم تراکم مواد معدنی استخوان از رادیوگرافی ها توسعه یافته اند (Nguyen et al, 2021). تشخیص تصویر هوش مصنوعی ممکن است به زودی به یک کاربرد بسیار مورد توجه در ارتوپدی تبدیل شود، که در مطالعه ای توسط جانگ و همکاران (Jang et al, 2022) تایید شده است که در آن گزارش شده بود که CNN ها نقاط عطف استخوان و بافت نرم را به عنوان اشیایی در رادیوگرافی شناسایی می کنند. علاوه بر این، محاسبات دقیق تر با استفاده از مدل DL برای تراز زانو ممکن است پتانسیل برنامه ریزی قبل از عمل در آرتروپلاستی کامل زانو (TKA)^{۱۰} را فراهم کند. ۴۷ (Jang et al, 2022) با این حال، چندین محدودیت مانند حقایق ثابت شده زمین، کیفیت رادیوگرافی، هم تراز، یا چرخش نشان دهنده تغییرپذیری است و به این ترتیب، این روش ها هنوز در برنامه ریزی قبل از عمل برای TKA به کار نمی روند. (Jang et al, 2022).

یک بررسی هدف گذاری اخیر توسط Gurung و همکارانش، (Gurung et al, 2022) کاربرد هوش مصنوعی را در تجزیه و تحلیل رادیوگرافی های بعد از عمل جراحی مفصل ران (THA)^{۱۱} و TKA برای اطمینان از موقعیت یابی مناسب ایمپلنت مورد بررسی قرار داد و دقت ۹۰٪ را گزارش کرد. در حالی که ۱۲ مطالعه جداگانه در سطح بزرگ انجام شد و از ۳۲۰۰۰۰ رادیوگرافی استفاده کردند، استحکام آنها نقطه بحث بود. نویسندگان به این نتیجه رسیدند که در حال حاضر شواهد کافی برای استفاده از هوش مصنوعی برای اهداف مذکور در عمل بالینی وجود ندارد (Gurung et al, 2022).

گزارش شده است که شناسایی خودکار ایمپلنت های آرتروپلاستی با استفاده از DL یک تقویت کننده مفید در جراحی تجدید نظر است که امکان برنامه ریزی دقیق تکنیک عمل و تجهیزات لازم برای استخراج را ممکن می سازد (Borjali et al, 2020). مطالعه ای توسط برجالی و همکارانش (Borjali et al, 2020) یک رویکرد جدید، بسیار دقیق و کاملاً خودکار را ارزیابی کرد که طراحی پروتز THA را از رادیوگرافی ساده شناسایی می کند. یک مدل هوش مصنوعی قادر به شناسایی پروتز در عرض میلی ثانیه، در مقابل ۲۰ تا ۳۰ دقیقه، می تواند پیامدهای بزرگی برای ایمنی بیمار داشته باشد (Borjali et al, 2020). علاوه بر این، نشان داده شده است که جراحان در ۱۰٪ موارد، قبل از عمل و ۲٪ در حین عمل قادر به شناسایی پروتز نیستند (Borjali et al, 2020). نشان داده شده است که این با افزایش زمان عمل، از دست دادن خون/استخوان، زمان بهبودی و هزینه های مراقبت های بهداشتی مرتبط است. (Borjali et al, 2020). حساسیت تا ۹۴٪ و ویژگی ۹۷٪ در شناسایی شل شدن ایمپلنت به دنبال آرتروپلاستی مفصل ران و زانو با استفاده از CNN گزارش شده است. نکته قابل توجه، الگوریتم CNN نسبت به رادیوگرافی ساده از

¹⁰ Total knee arthroplasty (TKA)

¹¹ Total hip arthroplasty (THA)

نمونه انسانی بهتر عمل کرد و نقش بالقوه آن را در جلوگیری از عوارض جدی و توزیع مجدد زمان بالینی برای بهبود مراقبت از بیمار را نشان می دهد. (Kunze et al, 2022).

الگوریتم های پیش بینی

تحقیقات اخیر ارزش پیش بینی مدل های هوش مصنوعی را برای محاسبه میزان مرگ و میر، خطر انتقال خون و مدت اقامت در بیمارستان پس از آرتروپلاستی انتخابی نشان داده اند (Jo et al, 2020). این می تواند هنگام در نظر گرفتن مسیرهای مراقبت از بیمار، از بهینه سازی قبل از عمل تا برنامه های بهبودی و تخصیص منابع، سودمند باشد. همچنین گزارش شده است که مدل های DL / ML می توانند تا یک دهه قبل، OA زانو و مفصل ران را با استفاده از تحلیل بافت استخوانی بر روی استخوان ران پروکسیمال^{۱۲} و استابولوم^{۱۳}، و عوامل خطر بالینی، با دقت قابل قبولی پیش بینی کنند (Hirvasniemi et al, 2019).

از نظر مفهومی، این می تواند به عنوان یک ابزار طبقه بندی ریسک عمل کند و افراد نیازمند مداخله زودهنگام را شناسایی کند (Kurmis & Ianunzio, 2022). یک مطالعه اخیر که مدل مرسوم ANN، ML را با رگرسیون لجستیک سنتی ۲۸۷۴۲ بیمار از برنامه ملی بهبود کیفیت جراحی (ایالات متحده آمریکا) مقایسه می کند، پیش بینی مشابهی از عوامل مهم بالینی را برای ترخیص ایمن در همان روز پس از TKA با استفاده از مدل ANN نشان داده (Wei et al, 2021).

مدل های پیش بینی هوش مصنوعی متعددی که مقادیر زیادی از داده های بیمار را برای بهبود نتایج مراقبت های بهداشتی شبیه سازی می کنند، توصیف شده اند. نمونه هایی در جراحی ارتوپدی شامل مدل های هوش مصنوعی است که بیماران مناسب را برای بلوک های عصبی پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی (ACL)^{۱۴} پیش بینی می کند (Corban et al, 2021). کیم و همکارانش (Kim et al, 2018) یک الگوریتم DL را برای پیش بینی خطر مرگ و میر و عوارض ناشی از ادغام ستون فقرات توسعه دادند و دریافتند که این الگوریتم در مقایسه با سیستم امتیازدهی سنتی مورد استفاده توسط انجمن بیهوشی آمریکا دقیق تر است (McDonnell et al, 2021). یکی دیگر از کاربردهای جالب هوش مصنوعی توسط کومار و همکاران (Kumar et al, 2020) به نمایش گذاشته شده است که یک الگوریتم ML را برای پیش بینی نتایج بیمار در آرتروپلاستی شانه توسعه دادند. ورودی شامل دامنه حرکتی شانه، اطلاعات دموگرافیک، نمرات جراحان شانه و آرنج آمریکایی (ASES)^{۱۵} (RESEARCHCOMMITTEEAMERICANSHOUL, 1999) و نمرات درد مقیاس بینایی (VAS)^{۱۶}، برای ارزیابی پیش آگهی و دامنه حرکت تا هفت سال پس از درمان، با حداکثر ۸۲٪ دقت را گزارش کردند (Kumar et al, 2022). یک مطالعه اخیر شامل ۱۱۱۴۷ بیمار تحت عمل جراحی آرتروپلاستی اولیه شانه، دقت ۷۳.۱٪ تا ۹۱.۸٪ را با استفاده از ANN در پیش بینی مدت اقامت، هزینه های بیمارستانی و وضعیت ترخیص برای هر دو شرایط مزمن /دژنراتیو و حاد/ تروماتیک گزارش کرد (Karnuta et al, 2020) از یک تجزیه و تحلیل چند مرکزی گذشته نگر اخیر از نزدیک به ۲۰۰۰ بیمار پس از آرتروپلاستی کامل شانه، مدلی برای پیش بینی امتیازات دو ساله ASES ایجاد و تأیید شده است. این مدل در ۸۵ درصد از بیماران با حداقل تفاوت مهم بالینی دقیق گزارش شد

¹² Proximal

¹³ Acetabulum

¹⁴ Anterior cruciate ligamen (ACL)

¹⁵ American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES)

¹⁶ Visual analogue scale (VAS)

نقش هوش مصنوعی در آموزش جراحی

هوش مصنوعی می تواند نقش محوری در آموزش جراحی ارتوپدی ایفا کند، جایی که تکرار و وجود چارچوب آموزشی برای کسب شایستگی ضروری است (Guerrero et al, 2023). از طریق ML و بینایی کامپیوتر، هوش مصنوعی اکنون ظرفیت جمع آوری داده ها و ارائه بازخورد معنادار و شخصی در مورد توانایی های جراحی را دارد. Lavanchy و همکارانش (Lavanchy et al, 2021) یک الگوریتم ML ایجاد کردند که قادر به ارزیابی مهارت کولسیستکتومی لاپاروسکوپی^{۱۷} بود که دقت ۸۷٪ را در شناسایی سینماتیک ابزارهای جراحی به عنوان یک معیار جایگزین کارایی نشان داد (Guerrero et al, 2023). این بازخورد سازنده ای را برای اپراتور فراهم می کند و سیستمی را نشان می دهد که می تواند به طور عملی به ارتوپدی ترجمه شود (Lavanchy et al, 2021). ادغام سیستم های هوش مصنوعی (مانند دستیار عملیاتی مجازی) در واقعیت مجازی (VR)^{۱۸} و واقعیت افزوده (AR)^{۱۹} می تواند به دستیابی به نقد عینی بدون وابستگی به روش یادگیری معمولی «کارآموزی» کمک کند. Siemionow و همکارانش (Siemionow et al, 2020) نمونه ای از ادغام موفقیت آمیز هوش مصنوعی در AR را ارائه کردند. محققان یک سیستم ML را توسعه دادند که امکان پوشش تصویر سه بعدی ستون فقرات را بر روی جسد فراهم می کرد و قرار دادن کاوشگر فلزی دقیق را در مهره های کمری تسهیل می کرد (Siemionow et al, 2020). مزیت اصلی این فناوری ها ایمنی بیمار است، با توجه به اینکه کارآموزان جراحی می توانند در عین کاهش خطر برای بیماران، تجربه کسب کنند.

توانبخشی و مراقبت های بعد از عمل

مرحله بعد از عمل به عنوان یک حوزه کلیدی مورد علاقه هوش مصنوعی برجسته شده است (Alsareii et al, 2022). مجموعه رو به رشدی از مطالعات، استفاده از تلفن های هوشمند را برای جمع آوری داده های مداوم و از راه دور در مورد وضعیت حیاتی بیمار و پیشرفت توانبخشی پس از TKA را گزارش کرده اند (Kurmis & Ianunzio, 2022). الگوریتم های مبتنی بر ML امکان ردیابی مشارکت فیزیوتراپی و مشارکت در ورزش را می دهند و در صورت عدم رعایت نکات عطف بیمار، می توانند به متخصصان مراقبت های بهداشتی هشدار دهند (Batailler et al, 2022). به طور مشابه، نظارت بر موارد حیاتی، رفاه، و عوارض بیماران، مانند ترومبوز ورید عمقی، به طور گسترده در ادبیات مستند شده است (Alsareii et al, 2022). این ویژگی های هوش مصنوعی برای کاهش نرخ بستری مجدد به دنبال TKA و THA ثبت شده است. با این حال، هیچ تفاوت آماری معنی داری در میزان ترخیص از بیمارستان بدون نظارت از راه دور گزارش نشده است (Ramkumar et al, 2019). به طور جالب توجه، همچنین پیشنهاد شده است که الگوریتم های ML می توانند با استفاده از بیومکانیکی یک تقویت مفید در توان بخشی پس از جراحی ACL را اثبات کنند (Kunze et al, 2022).

DL توسط مطالعات متعدد تبلیغ شده است تا با استفاده از رادیوگرافی آرتروپلاستی لگن، خطر عوارض ناشی از جراحی تجدیدنظر را پیش بینی کند. Rouzrokh و همکارانش (Rouzrokh et al, 2021) دریافتند که یک الگوریتم DL که بر روی بیش از ۹۰۰۰۰ تصویر پس از عمل آموزش داده شده بود، دررفتگی ایمپلنت را طی پنج سال پس از جراحی پیش بینی کرد. این مدل دارای ارزش پیش بینی منفی نسبتاً بالایی بود. با این حال، این ممکن است هنوز یک روش مفید «رد کردن» برای بیماران پرخطر ارائه کند و نقش بالقوه هوش مصنوعی را در هدایت مداخلات پیشگیرانه نشان دهد (Rouzrokh et al, 2021).

محدودیت های هوش مصنوعی در ارتوپدی

¹⁷ Laparoscopic cholecystectomies

¹⁸ Virtual reality (VR)

¹⁹ Augmented reality (AR)

هوش مصنوعی با هزینه های سرمایه ای قابل توجه و بار مالی بر روی سیستم های مراقبت های بهداشتی مرتبط است و به طور بالقوه مانع پذیرش گسترده آن می شود (Batailler et al, 2022). با وجود این، تجزیه و تحلیل های هزینه-فایده با دقت طراحی شده می تواند مشخص کند که آیا کاربرد آن در ارتوپدی منجر به مداخلات مقرون به صرفه می شود یا خیر (Sandhu, 2019). خطر نقض محرمانه بودن بیمار در مجموعه داده های بزرگ ذاتی است و بنابراین باید به عنوان یک ملاحظات اخلاقی برجسته در نظر گرفته شود (Farrow et al, 2021). همانند هر تحقیقی که به محیط بالینی گسترده تر تعمیم داده می شود، مدل های هوش مصنوعی باید از یک فرآیند دقیق اعتبار سنجی عبور کنند. Norgeot و همکاران (Norgeot et al, 2020) حداقل مجموعه ای از مستندات را پیشنهاد کردند تا سطوح مشابهی از شفافیت و سودمندی را برای کاربرد هوش مصنوعی در پزشکی و جراحی ایجاد کنند. حداقل اطلاعات در مورد مدل سازی هوش مصنوعی بالینی (MI-CLAIM)^{۲۰} این دستورالعمل ها شامل شش حوزه است که در ارزیابی مدل های CNN نیاز به توجه دارند و هدف آن اطلاع رسانی به پذیرش بالینی مدل های هوش مصنوعی است: (۱) طراحی مطالعه، (۲) جداسازی داده ها به پارتیشن ها برای آموزش مدل و آزمایش مدل، (۳) بهینه سازی و انتخاب مدل نهایی، (۴) ارزیابی عملکرد، (۵) بررسی مدل، و (۶) خط لوله قابل تکرار (Norgeot et al, 2020). کاربرد مدل های هوش مصنوعی خارج از داده ها یا مؤسسه ای که طراحی شده است (اعتبار خارجی) باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد. خطاهای سیستماتیک در الگوریتم ها می تواند منجر به پیامدهای سهل انگارانه و گسترده برای بیماران شود. بر این اساس، یک رویکرد سیستماتیک برای طراحی و اعتبارسنجی مدل ها با استفاده از مفاهیم اثبات شده برای جلوگیری از چنین خطاهایی قبل از ترجمه به عمل بالینی مورد نیاز است. برای کاهش این خطر، هوش مصنوعی به عنوان مکملی برای فرآیند تصمیم گیری بالینی در نظر گرفته شده است، نه یک جایگزین. پزشکان باید از محدودیت های هوش مصنوعی آگاه باشند و تا زمانی که اعتبار خارجی در محدوده خطای قابل قبول ثابت شود، محتاطانه عمل کنند (Langerhuizen et al, 2019).

هوش مصنوعی به خوبی داده های خود است و توسعه چارچوب های گزارش دهی قوی برای جلوگیری از خطاهای اجتناب پذیر حیاتی است (Polisetty et al, 2022). دستورالعمل هایی برای ایجاد مدل ها ضروری است، مانند گزارش شفاف یک مدل پیش بینی چند متغیره برای ابتکار پیش آگهی یا تشخیص فردی (TRIPOD)^{۲۱}، (Vigdorichik et al, 2022) که قبلاً در اعتبارسنجی ML در ارتوپدی استفاده شده است. پیچیدگی CNN ها معمولاً به پیچیدگی داده های ورودی بستگی دارد. هرچه داده های ورودی پیچیده تر باشد، الگوریتم های ریاضی جامع تری برای ارائه خروجی مورد نیاز مورد نیاز است. یک مشکل ذاتی که بارها در ادبیات توصیف شده است، تولید CNN های پیچیده است که صرفاً منعکس کننده داده هایی است که برای ارزیابی تنظیم شده اند (Rouzrokh et al, 2021). برازش بیش از حد به مدلی اطلاق می شود که پس از آموزش مدل به خوبی تعمیم پذیری را از دست می دهد، و به ویژه در مدل هایی که ناپارامتریک/غیرخطی هستند و هنگام یادگیری تابع هدف انعطاف پذیری بیشتری دارند، رایج است. عدم تعمیم پذیری ممکن است به یادگیری جزئیات نوسانات تصادفی و نویز به عنوان بخشی از داده های آموزشی نسبت داده شود. بنابراین، هنگامی که به مجموعه داده های خارجی ترجمه می شود، مدل قادر به تشخیص الگوهای جدید به عنوان کارآمد نیست. علاوه بر این، این مسئله زمانی رخ می دهد که مدل به جای درک الگوهای تعمیم یافته تر در زیر داده ها، کاملاً بر روی ویژگی های جزئی موجود در مجموعه داده های آموزشی تمرکز می کند و بنابراین نیاز به یادگیری مداوم با حجم بیشتری از داده ها دارد (Vigdorichik et al, 2022). برای پزشکان ضروری است که از این خطر آگاه باشند و یک تلاش جمعی از سوی ذینفعان متعدد برای اطمینان از جمع آوری، بررسی و حاشیه نویسی مناسب داده هایی که فراتر از یک مؤسسه خاص تأیید شده اند، مورد نیاز است.

²⁰ Minimum information about clinical AI modelling (MI-CLAIM)

²¹ Transparent Reporting of a multivariate prediction model for Individual Prognosis or Diagnosis (TRIPOD)

نتیجه گیری و ملاحظات آینده

استفاده از هوش مصنوعی در ارتوپدی پتانسیل بهبود نتایج بیمار و کاهش حجم کاری متخصصان مراقبت های بهداشتی را دارد. یک توسعه آینده نگرانه، "دوقلو دیجیتالی" ابتکاری است که به بازنمایی مجازی از خود مربوط می شود. تصور می شود که این سنگ بنای پزشکی دقیق است و قادر به پیش بینی بیماری ها، نتایج درمان و مداخلات پیشگیرانه متناسب با فنوتیپ فرد بیمار، حتی تا سطح ژنوم است. تأثیری که این می تواند بر تکامل جراحی ارتوپدی و پزشکی داشته باشد تقریباً غیرقابل درک است. هوش مصنوعی در جراحی ارتوپدی در شناسایی ایمپلنت های لگن و زانو، برجسته سازی نامناسب ایمپلنت، تشخیص ویژگی های شل شدن و پیش بینی طول مدت بستری در بیمارستان، هزینه های مربوطه، نتایج عملکردی و امتیازات پیش آگهی نویدبخش است. وضعیت فعلی فناوری هوش مصنوعی نیازمند تلاشی هماهنگ برای پیشرفت مؤثر از اثبات مفهوم به عمل بالینی است. در این راستا، ایجاد چارچوب های اعتبارسنجی و گزارش دهی سیستماتیک و قوی برای امکان پذیرش ایمن از این فناوری بسیار مهم است.

منابع

- Ackermann, J., Wieland, M., Hoch, A., Ganz, R., Snedeker, J. G., Oswald, M. R., Pollefeys, M., Zingg, P. O., Esfandiari, H., & Fürnstahl, P. (2021). *A New Approach to Orthopedic Surgery Planning Using Deep Reinforcement Learning and Simulation* (pp. 540–549).
- Alsareii, S. A., Raza, M., Alamri, A. M., AlAsmari, M. Y., Irfan, M., Khan, U., & Awais, M. (2022). Machine Learning and Internet of Things Enabled Monitoring of Post-Surgery Patients: A Pilot Study. *Sensors*, 22(4), 1420.
- Archer, H., Reine, S., Alshaikhsalama, A., Wells, J., Kohli, A., Vazquez, L., Hummer, A., DiFranco, M. D., Ljuhar, R., Xi, Y., & Chhabra, A. (2022). Artificial intelligence-generated hip radiological measurements are fast and adequate for reliable assessment of hip dysplasia. *Bone & Joint Open*, 3(11), 877–884. 0125.R1
- Baessler, A. M., Brolin, T. J., Azar, F. M., Sen, S., Chang, M., Falkner, D., Zmistowski, B. M., Routman, H. D., Namdari, S., Gulotta, L. V., & Throckmorton, T. W. (2021). Development and validation of a predictive model for outcomes in shoulder arthroplasty: a multicenter analysis of nearly 2000 patients. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 30(12), 2698–2702.
- Batailler, C., Shatrov, J., Sappey-Marinier, E., Servien, E., Parratte, S., & Lustig, S. (2022). Artificial intelligence in knee arthroplasty: current concept of the available clinical applications. *Arthroplasty*, 4(1), 17.
- Bernstein, J. (2023). Not the Last Word: ChatGPT Can't Perform Orthopaedic Surgery. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 481(4), 651–655.
- Borjali, A., Chen, A. F., Muratoglu, O. K., Morid, M. A., & Varadarajan, K. M. (2020). Detecting total hip replacement prosthesis design on plain radiographs using deep convolutional neural network. *Journal of Orthopaedic Research*, 38(7), 1465–1471.
- Corban, J., Lorange, J.-P., Laverdiere, C., Khoury, J., Rachevsky, G., Burman, M., & Martineau, P. A. (2021). Artificial Intelligence in the Management of Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(7), 232596712110142.
- Farhadi, F., Barnes, M. R., Sugito, H. R., Sin, J. M., Henderson, E. R., & Levy, J. J. (2022). Applications of artificial intelligence in orthopaedic surgery. *Frontiers in Medical Technology*, 4.
- Farrow, L., Zhong, M., Ashcroft, G. P., Anderson, L., & Meek, R. M. D. (2021). Interpretation and reporting of predictive or diagnostic machine-learning research in Trauma & Orthopaedics. *The Bone & Joint Journal*, 103-B(12), 1754–1758.
- Fu, S., Wyles, C. C., Osmon, D. R., Carvour, M. L., Sagheb, E., Ramazanian, T., Kremers, W. K., Lewallen, D. G., Berry, D. J., Sohn, S., & Kremers, H. M. (2021). Automated Detection of Periprosthetic Joint Infections and Data Elements Using Natural Language Processing. *The Journal of Arthroplasty*, 36(2), 688–692.
- Guerrero, D. T., Asaad, M., Rajesh, A., Hassan, A., & Butler, C. E. (2023). Advancing Surgical Education: The Use of Artificial Intelligence in Surgical Training. *The American Surgeon*, 89(1), 49–54.
- Gurung, B., Liu, P., Harris, P. D. R., Sagi, A., Field, R. E., Sochart, D. H., Tucker, K., & Asopa, V. (2022). Artificial intelligence for image analysis in total hip and total knee arthroplasty. *The Bone & Joint Journal*, 104-B(8), 929–937.
- Gyftopoulos, S., Lin, D., Knoll, F., Doshi, A. M., Rodrigues, T. C., & Recht, M. P. (2019). Artificial Intelligence in Musculoskeletal Imaging: Current Status and Future Directions. *American Journal of Roentgenology*, 213(3), 506–513.
- Hashimoto, D. A., Rosman, G., Rus, D., & Meireles, O. R. (2018). Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. *Annals of Surgery*, 268(1), 70–76.
- Hirvasniemi, J., Gielis, W. P., Arbabi, S., Agricola, R., van Spil, W. E., Arbabi, V., & Weinans, H. (2019). Bone texture analysis for prediction of incident radiographic hip osteoarthritis using machine learning: data from the Cohort Hip and Cohort Knee (CHECK) study. *Osteoarthritis and Cartilage*, 27(6), 906–914.
- Jang, S. J., Kunze, K. N., Brilliant, Z. R., Henson, M., Mayman, D. J., Jerabek, S. A., Vigdorchik, J. M., & Sculco, P. K. (2022). Comparison of tibial alignment parameters based on clinically relevant anatomical landmarks. *Bone & Joint Open*, 3(10), 767–776.
- Jo, C., Ko, S., Shin, W. C., Han, H.-S., Lee, M. C., Ko, T., & Ro, D. H. (2020). Transfusion after total knee arthroplasty can be predicted using the machine learning algorithm. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 28(6), 1757–1764.
- Karnuta, J. M., Churchill, J. L., Haeberle, H. S., Nwachukwu, B. U., Taylor, S. A., Ricchetti, E. T., & Ramkumar, P. N. (2020). The value of artificial neural networks for predicting length of stay, discharge disposition, and

- inpatient costs after anatomic and reverse shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 29(11), 2385–2394.
- Kayani, B., Konan, S., Huq, S. S., Ibrahim, M. S., Ayuob, A., & Haddad, F. S. (2021). The learning curve of robotic-arm assisted acetabular cup positioning during total hip arthroplasty. *HIP International*, 31(3), 311–319.
- Kim, J. S., Arvind, V., Oermann, E. K., Kaji, D., Ranson, W., Ukogu, C., Hussain, A. K., Caridi, J., & Cho, S. K. (2018). Predicting Surgical Complications in Patients Undergoing Elective Adult Spinal Deformity Procedures Using Machine Learning. *Spine Deformity*, 6(6), 762–770.
- Kumar, V., Roche, C., Overman, S., Simovitch, R., Flurin, P.-H., Wright, T., Zuckerman, J., Routman, H., & Teredesai, A. (2020). What Is the Accuracy of Three Different Machine Learning Techniques to Predict Clinical Outcomes After Shoulder Arthroplasty? *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 478(10), 2351–2363.
- Kumar, V., Schoch, B. S., Allen, C., Overman, S., Teredesai, A., Aibinder, W., Parsons, M., Watling, J., Ko, J. K., Gobbato, B., Throckmorton, T., Routman, H., & Roche, C. (2022). Using machine learning to predict internal rotation after anatomic and reverse total shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 31(5), e234–e245.
- Kunze, K. N., Orr, M., Krebs, V., Bhandari, M., & Piuze, N. S. (2022). Potential benefits, unintended consequences, and future roles of artificial intelligence in orthopaedic surgery research. *Bone & Joint Open*, 3(1), 93–97.
- Kurmis, A. P., & Ianunzio, J. R. (2022). Artificial intelligence in orthopedic surgery: evolution, current state and future directions. *Arthroplasty*, 4(1), 9.
- Langerhuizen, D. W. G., Bulstra, A. E. J., Janssen, S. J., Ring, D., Kerkhoffs, G. M. M. J., Jaarsma, R. L., & Doornberg, J. N. (2020). Is Deep Learning On Par with Human Observers for Detection of Radiographically Visible and Occult Fractures of the Scaphoid? *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 478(11), 2653–2659.
- Langerhuizen, D. W. G., Janssen, S. J., Mallee, W. H., van den Bekerom, M. P. J., Ring, D., Kerkhoffs, G. M. M. J., Jaarsma, R. L., & Doornberg, J. N. (2019). What Are the Applications and Limitations of Artificial Intelligence for Fracture Detection and Classification in Orthopaedic Trauma Imaging? A Systematic Review. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 477(11), 2482–2491.
- Lavanchy, J. L., Zindel, J., Kirtac, K., Twick, I., Hosgor, E., Candinas, D., & Beldi, G. (2021). Automation of surgical skill assessment using a three-stage machine learning algorithm. *Scientific Reports*, 11(1), 5197.
- Magan, A., Kayani, B., Chang, J., Roussot, M., Moriarty, P., & Haddad, F. (2020). Artificial intelligence and surgical innovation: lower limb arthroplasty. *British Journal of Hospital Medicine*, 81(10), 1–7.
- McDonnell, J. M., Evans, S. R., McCarthy, L., Temperley, H., Waters, C., Ahern, D., Cunniffe, G., Morris, S., Synnott, K., Birch, N., & Butler, J. S. (2021). The diagnostic and prognostic value of artificial intelligence and artificial neural networks in spinal surgery. *The Bone & Joint Journal*, 103-B(9), 1442–1448.
- Nguyen, T. P., Chae, D.-S., Park, S.-J., & Yoon, J. (2021). A novel approach for evaluating bone mineral density of hips based on Sobel gradient-based map of radiographs utilizing convolutional neural network. *Computers in Biology and Medicine*, 132, 104298.
- Norgeot, B., Quer, G., Beaulieu-Jones, B. K., Torkamani, A., Dias, R., Gianfrancesco, M., Arnaout, R., Kohane, I. S., Saria, S., Topol, E., Obermeyer, Z., Yu, B., & Butte, A. J. (2020). Minimum information about clinical artificial intelligence modeling: the MI-CLAIM checklist. *Nature Medicine*, 26(9), 1320–1324.
- Oliveira e Carmo, L., van den Merkhof, A., Olczak, J., Gordon, M., Jutte, P. C., Jaarsma, R. L., Ijpma, F. F. A., Doornberg, J. N., & Prijs, J. (2021). An increasing number of convolutional neural networks for fracture recognition and classification in orthopaedics. *Bone & Joint Open*, 2(10), 879–885.
- Park, C.-W., Oh, S.-J., Kim, K.-S., Jang, M.-C., Kim, I. S., Lee, Y.-K., Chung, M. J., Cho, B. H., & Seo, S.-W. (2022). Artificial intelligence-based classification of bone tumors in the proximal femur on plain radiographs: System development and validation. *PLOS ONE*, 17(2), e0264140.
- Parvizi, J., & Gehrke, T. (2014). Definition of Periprosthetic Joint Infection. *The Journal of Arthroplasty*, 29(7), 1331.
- Polisetty, T. S., Jain, S., Pang, M., Karnuta, J. M., Vigdorchik, J. M., Nawabi, D. H., Wyles, C. C., & Ramkumar, P. N. (2022). Concerns surrounding application of artificial intelligence in hip and knee arthroplasty. *The Bone & Joint Journal*, 104-B(12), 1292–1303.
- Ramkumar, P. N., Haeberle, H. S., Ramanathan, D., Cantrell, W. A., Navarro, S. M., Mont, M. A., Bloomfield, M.,

- & Patterson, B. M. (2019). Remote Patient Monitoring Using Mobile Health for Total Knee Arthroplasty: Validation of a Wearable and Machine Learning–Based Surveillance Platform. *The Journal of Arthroplasty*, 34(10), 2253–2259.
- RESEARCHCOMMITTEEAMERICANSHOUL. (1999). A standardized method for assessment of elbow function. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 8(4), 351–354.
- Rouzrokh, P., Ramazanian, T., Wyles, C. C., Philbrick, K. A., Cai, J. C., Taunton, M. J., Maradit Kremers, H., Lewallen, D. G., & Erickson, B. J. (2021). Deep Learning Artificial Intelligence Model for Assessment of Hip Dislocation Risk Following Primary Total Hip Arthroplasty From Postoperative Radiographs. *The Journal of Arthroplasty*, 36(6), 2197-2203.e3.
- Sandhu, J. (2019). ‘Robosurgeons vs. robosceptics’: can we afford robotic technology or can we afford not to? *Journal of Clinical Urology*, 12(4), 285–295.
- Siemionow, K., Katchko, K., Lewicki, P., & Luciano, C. (2020). Augmented reality and artificial intelligence-assisted surgical navigation: Technique and cadaveric feasibility study. *Journal of Craniovertebral Junction and Spine*, 11(2), 81.
- Soldozy, S., Young, S., Yağmurlu, K., Norat, P., Sokolowski, J., Park, M. S., Jane, J. A., & Syed, H. R. (2020). Transsphenoidal surgery using robotics to approach the sella turcica: Integrative use of artificial intelligence, realistic motion tracking and telesurgery. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 197, 106152.
- Vigdorchik, J. M., Jang, S. J., Taunton, M. J., & Haddad, F. S. (2022). Deep learning in orthopaedic research. *The Bone & Joint Journal*, 104-B(8), 909–910.
- Wei, C., Quan, T., Wang, K. Y., Gu, A., Fassihi, S. C., Kahlenberg, C. A., Malahias, M.-A., Liu, J., Thakkar, S., Gonzalez Della Valle, A., & Sculco, P. K. (2021). Artificial neural network prediction of same-day discharge following primary total knee arthroplasty based on preoperative and intraoperative variables. *The Bone & Joint Journal*, 103-B(8), 1358–1366.
- Wyatt, J. M., Booth, G. J., & Goldman, A. H. (2021). Natural Language Processing and Its Use in Orthopaedic Research. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 14(6), 392–396.
- Xie, X., Li, Z., Bai, L., Zhou, R., Li, C., Jiang, X., Zuo, J., & Qi, Y. (2021). Deep Learning-Based MRI in Diagnosis of Fracture of Tibial Plateau Combined with Meniscus Injury. *Scientific Programming*, 2021, 1–8.



Applications of artificial intelligence in orthopedic surgery

Fateme.Sheikhifard

Faculty of Electrical and Computer Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, 8415683111, Iran

abstract

The use of artificial intelligence (AI) is growing rapidly in many fields, and the field of medicine is no exception. Artificial intelligence is a term that defines the practical application of algorithms to produce useful output, without the need for human cognition. Due to the expanding volume of collected patient information, known as "big data", artificial intelligence holds promise as a useful tool in healthcare research and in all aspects of patient care pathways. Practical applications in orthopedic surgery include: diagnosis, such as fracture diagnosis and tumor detection; Predictive models of clinical and patient-reported outcome measures, such as calculating mortality and hospital length of stay; and real-time rehabilitation monitoring and surgical training. However, clinicians should be aware of the limitations of AI, as it is important to develop robust reporting and validation frameworks to avoid avoidable errors and biases. The purpose of this review article is to provide a comprehensive understanding of artificial intelligence and its subfields, as well as to describe its existing clinical applications in trauma and orthopedic surgery. In addition, this narrative review expands upon the limitations of artificial intelligence and the future direction

Keywords: Orthopedic surgery, Artificial intelligence, Machine learning, Arthroplasty, Neural networks