Journal of Military Medicine
2025, Volume 27, Issue 1
Pages: 2620-2637
10.30491/jmm.2025.1006856.1321

Artificial Intelligence in Military Medicine: A Comprehensive Review and Future Directions

Fatemeh Bahramnezhad [1], Mostafa Akbariqomi [2], Masoud Arabfard [3], Hosny Maher-Sultan [4], Amir Vahedian-azimi [5*]

[1] *Nursing and Midwifery Care Research Center, Department of Critical Care Nursing, School of Nursing & Midwifery, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[2] *Tissue Engineering and Regenerative Medicine Research Center, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[3] *Chemical Injuries Research Center, Systems Biology and Poisonings Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[4] *College of Nursing, Gulf Medical University, The United Arab Emirates*
[5] *Nursing Care Research Center, Clinical Sciences Institute, Nursing Faculty, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

Received: 2 April 2025 **Accepted:** 30 April 2025

Abstract

Background and Aim: Military medicine operates within uniquely complex and resource-constrained environments, where rapid, precise, and adaptive healthcare delivery is critical. Artificial intelligence (AI), leveraging advanced computational models and data-driven algorithms, offers transformative potential to enhance clinical decision-making, operational efficiency, and logistical support in these high-stakes settings. This narrative review critically examines the current and emerging applications of AI in military medicine, focusing on technological innovations, ethical imperatives, and operational challenges to provide a comprehensive and authoritative synthesis.

Methods: A systematic narrative review was conducted by querying multidisciplinary databases including PubMed, Scopus, and Web of Science. Search strategies combined AI-specific terminologies (e.g., machine learning, deep learning, natural language processing) with military medicine contexts (e.g., combat casualty care, telemedicine, medical robotics). Inclusion criteria encompassed peer-reviewed studies, government white papers, and expert consensus documents published up to April 1, 2025. Dual independent screening and full-text review yielded 65 rigorously selected sources. The PRISMA 2020 framework guided the review process.

Results: The applications of artificial intelligence in military medicine encompass prevention, battlefield diagnostics, automated triage, robotic-assisted surgery, mental health analytics, predictive logistics, immersive training simulations, and rehabilitation. Key technological advances include convolutional neural networks for trauma imaging, reinforcement learning for casualty prioritization, AI-enabled biosurveillance, and generative AI for scenario-based training. These innovations have demonstrated improvements in diagnostic accuracy, operational responsiveness, and resource optimization under combat conditions. While AI offers substantial benefits, its integration necessitates stringent safeguards addressing data privacy, algorithmic bias, and the preservation of human-in-the-loop oversight. Ethical frameworks and comprehensive education programs are critical to ensure responsible deployment and to foster trust among military healthcare providers.

Conclusion: AI represents a pivotal enabler for advancing military medical capabilities. Realizing its full potential requires interdisciplinary collaboration, robust ethical governance, and continuous innovation tailored to the operational complexities of military healthcare environments.

Keywords: Artificial Intelligence, Military Medicine, Technological Innovations, Review.

*Corresponding author: **Amir Vahedian-azimi,** Email: amirvahedian63@gmail.com

مجله طب نظامی
دوره ۲۷، شماره ۱، فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۴
صفحات: ۲۶۳۷-۲۶۲۰
10.30491/jmm.2025.1006856.1321

هوش مصنوعی در طب نظامی: مروری جامع و چشم‌اندازهای آینده

فاطمه بهرام‌نژاد[۱]، مصطفی اکبری قمی[۲]، مسعود عرب‌فرد[۳]، حسنی ماهر سلطان[۴]، امیر واحدیان عظیمی[۵*]

[۱] مرکز تحقیقات مراقبت‌های پرستاری و مامایی، گروه پرستاری مراقبت‌های ویژه، دانشکده پرستاری و مامایی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
[۲] مرکز تحقیقات مهندسی بافت و پزشکی بازساختی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران
[۳] مرکز تحقیقات آسیب‌های شیمیایی، انستیتو سیستم بیولوژی و مسمومیت‌ها، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران
[۴] دانشکده پرستاری، دانشگاه پزشکی خلیج، امارات متحده عربی
[۵] مرکز تحقیقات مراقبت‌های پرستاری، پژوهشکده علوم بالینی، دانشکده پرستاری، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: طب نظامی در محیط‌های بسیار پیچیده و با محدودیت‌های منابع فعالیت می‌کند که ارائه مراقبت‌های بهداشتی سریع، دقیق و تطبیقی در آن‌ها حیاتی است. هوش مصنوعی با بهره‌گیری از مدل‌های محاسباتی پیشرفته و الگوریتم‌های داده‌محور، پتانسیل تحول‌آفرینی در بهبود تصمیم‌گیری‌های بالینی، افزایش کارایی عملیاتی و پشتیبانی لجستیکی در این شرایط حساس را داراست. این مرور روایی نظام‌مند به بررسی انتقادی کاربردهای فعلی و نوظهور هوش مصنوعی در طب نظامی می‌پردازد و با تمرکز بر نوآوری‌های فناورانه، الزامات اخلاقی و چالش‌های عملیاتی، تحلیلی جامع و معتبر ارائه می‌دهد.

روش‌ها: این مرور روایتی نظام‌مند با جستجو در پایگاه‌های چندرشته‌ای شامل PubMed، Scopus و Web of Science انجام شد. راهبرد جستجوی ترکیبی شامل استفاده از اصطلاحات مرتبط با هوش مصنوعی (مانند یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، پردازش زبان طبیعی) و زمینه‌های طب نظامی (مانند مراقبت از مجروحان میدان نبرد، پزشکی از راه دور، رباتیک پزشکی) بود. بررسی‌ها شامل مطالعات داوری‌شده، گزارش‌های دولتی و اسناد اجماع کارشناسان تا ابتدای آپریل ۲۰۲۵ بود که در دو مرحله به صورت مستقل و مرور متن کامل منجر به انتخاب ۶۵ منبع گردید. فرایند مطالعه مطابق راهنمای PRISMA (نسخه ۲۰۲۰) انجام گرفت.

یافته‌ها: کاربردهای هوش مصنوعی در طب نظامی شامل پیشگیری، تشخیص‌های میدانی، تریاژ خودکار، جراحی با کمک ربات، تحلیل سلامت روان، لجستیک پیش‌بینی‌شده، شبیه‌سازی‌های آموزشی فراگیر و بازتوانی است. پیشرفت‌های کلیدی شامل شبکه‌های عصبی کانولوشنی برای تصویربرداری تروما، یادگیری تقویتی برای اولویت‌بندی مجروحان، نظارت زیستی مبتنی بر هوش مصنوعی و هوش مصنوعی مولد برای آموزش مبتنی بر سناریو است. این نوآوری‌ها بهبودهایی در دقت تشخیص، پاسخگویی عملیاتی و بهینه‌سازی منابع در شرایط نبرد نشان داده‌اند. در حالی که هوش مصنوعی مزایای قابل توجهی ارائه می‌دهد، ادغام آن نیازمند تضمین‌های سختگیرانه‌ای در زمینه حفظ حریم خصوصی داده‌ها، مقابله با سوگیری الگوریتمی و حفظ نظارت انسانی است. چارچوب‌های اخلاقی و برنامه‌های آموزشی جامع برای تضمین استفاده مسئولانه و تقویت اعتماد در میان ارائه‌دهندگان خدمات طب نظامی حیاتی هستند.

نتیجه‌گیری: هوش مصنوعی به عنوان عاملی کلیدی برای پیشرفت قابلیت‌های طب نظامی مطرح است. بهره‌برداری کامل از این فناوری مستلزم همکاری بین‌رشته‌ای، حاکمیت اخلاقی قوی و نوآوری مستمر متناسب با پیچیدگی‌های عملیاتی محیط‌های مراقبت طب نظامی است.

کلیدواژه‌ها: هوش مصنوعی، طب نظامی، نوآوری‌های فناورانه، مروری.

*نویسنده مسئول: **امیر واحدیان عظیمی.** پست الکترونیک: amirvahedian63@gmail.com
دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۱۳ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰

مقدمه

طب نظامی به عنوان یک رشته تخصصی به طور منحصربه‌فرد در تقاطع پیچیده علم بالینی، الزامات عملیاتی سخت‌گیرانه و محیط‌های با منابع اغلب محدود قرار دارد (۱). سلامت، تاب‌آوری و آمادگی پزشکی پرسنل نظامی به‌عنوان عوامل تعیین‌کننده حیاتی در موفقیت مأموریت عمل می‌کنند به‌ویژه در جنگ‌های مدرن که به‌طور فزاینده‌ای با تهدیدات نامتقارن، درگیری‌های طولانی‌مدت و خطرات زیست‌محیطی چندوجهی مشخص می‌شوند (۲). ضرورت ارائه مراقبت‌های بهداشتی سریع، دقیق و تطبیقی در این شرایط پرمخاطره، محرکی برای کاوش و پذیرش راهکارهای نوآورانه بوده است به‌طوری‌که هوش مصنوعی به‌عنوان یک نیروی تحول‌آفرین برجسته ظاهر شده و قادر است جنبه‌های مختلف عملکرد طب نظامی را متحول سازد (۳).

با این حال، عملیات‌های طب نظامی با مجموعه‌ای منحصربه‌فرد از چالش‌ها روبرو هستند که نیازمند راهکارهای نوآورانه است و اغلب مستلزم انطباق بهترین شیوه‌های غیرنظامی است (۴). فواصل طولانی تخلیه مجروحان ناشی از زمین‌های ناهموار، دارایی‌های حمل‌ونقل محدود و شرایط نامساعد محیطی به‌طور مداوم اصل ساعت طلایی را به چالش می‌کشند و بر لزوم مداخله فوری تأکید می‌کنند. این امر مستلزم به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته مانند هواپیماهای بدون سرنشین برای تحویل سریع فرآورده‌های خونی و سایر ملزومات حیاتی به موقعیت‌های خط مقدم است. علاوه بر این، از پلتفرم‌های پزشکی از راه دور به‌طور فزاینده‌ای برای فعال‌سازی راهنمایی بالینی از راه دور در محل آسیب استفاده می‌شود که به‌طور موثری شکاف بین مراقبت‌های خط مقدم و درمان قطعی را پر می‌کند (۵).

محدودیت‌های منابع در پایگاه‌های عملیاتی پیشرو این مشکلات را تشدید می‌کند و اغلب قابلیت‌های تشخیصی، زیرساخت‌های جراحی و در دسترس بودن پرسنل متخصص را محدود می‌کند (۶). این کمبود مستلزم توسعه و اجرای ابزارهای تشخیصی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی است که قادر به عملکرد مستقل یا نیمه‌خودمختار باشند (۷). این ابزارها می‌توانند قابلیت‌های پرسنل پزشکی خط مقدم را تقویت کنند، اتکای آن‌ها به تأسیسات عقبه اغلب تحت فشار را کاهش دهند و تصمیم‌گیری‌های مؤثرتر در زمینه تریاژ و درمان را در محیط‌های با منابع محدود امکان‌پذیر سازند (۸). همان‌طور که هوش مصنوعی می‌تواند با بهینه‌سازی تنظیمات ونتیلاتور و نظارت بر داده‌های فیزیولوژیکی، مراقبت از بیمار را در بخش‌های مراقبت ویژه غیرنظامی با منابع محدود بهبود بخشد، می‌توان از آن برای بهبود کارایی و اثربخشی مراقبت‌های پزشکی در محیط‌های نظامی دشوار استفاده کرد (۹،۱۰).

فشارهای روانی ذاتی در خدمت سربازی نیز به افزایش بار اختلالات سلامت روان از جمله اختلال استرس پس از سانحه، افسردگی و اختلالات مصرف مواد در میان پرسنل نظامی کمک می‌کند. این عوامل اغلب با آسیب‌های ناشی از جنگ، جدایی طولانی‌مدت از شبکه‌های حمایتی و قرار گرفتن مداوم در معرض تهدید تشدید می‌شوند (۱۱). پرداختن به این چالش‌های سلامت روان مستلزم پلتفرم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی است که بتوانند تشخیص زودهنگام را تسهیل کنند، حمایت محرمانه ارائه دهند و راهبردهای مداخله شخصی‌سازی‌شده را ارائه دهند. ابزارهای هوش مصنوعی با استفاده از پردازش زبان طبیعی می‌توانند داده‌های متنی و صوتی را برای شناسایی افراد در معرض خطر تجزیه و تحلیل کنند در حالی که فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده می‌توانند برنامه‌های درمانی و حمایتی فراگیر ارائه دهند و بر انگ و موانع دسترسی که اغلب با مراقبت‌های بهداشت روان در زمینه‌های نظامی مرتبط هستند، غلبه کنند (۱۲،۱۳).

علاوه بر این، ضرورت اتخاذ تصمیمات بالینی سریع و پرمخاطره در شرایط اطلاعات ناقص، مستلزم بهره‌گیری از سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری بالینی مبتنی بر هوش مصنوعی است که جریان‌های داده چندوجهی را به‌منظور ارتقای آگاهی موقعیتی و کاهش خطر خستگی تصمیم‌گیری به‌صورت یکپارچه تلفیق می‌کنند (۱۴،۱۵). این سیستم‌ها که برای پردازش حجم عظیمی از داده‌ها و ارائه توصیه‌های بی‌درنگ به پرسنل پزشکی طراحی شده‌اند، می‌توانند سرعت و دقت تصمیم‌گیری‌های تریاژ را بهبود بخشند، تخصیص منابع را بهینه کنند و اطمینان حاصل کنند که مجروح‌ترین بیماران مراقبت مناسب و به‌موقع دریافت می‌کنند (۱۶). پتانسیل قرار گرفتن در معرض خطرات شیمیایی، بیولوژیکی، رادیولوژیکی و زیست‌محیطی نیازمند سیستم‌های نظارت زیستی مبتنی بر هوش مصنوعی برای تشخیص بی‌درنگ تهدیدها و مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده است که اقدامات پیشگیرانه و درمانی را اطلاع‌رسانی می‌کند (۱۷). هوش مصنوعی می‌تواند در تجزیه و تحلیل داده‌های محیطی، شناسایی تهدیدات بالقوه و توسعه اقدامات متقابل مؤثر برای محافظت از پرسنل نظامی در برابر این خطرات کمک کند (۱۸).

با این حال، ارائه‌دهندگان خدمات طب نظامی نیز باید با معضلات اخلاقی منحصربه‌فرد پیچیده‌ای روبرو شوند که اغلب شامل جیره‌بندی منابع، درمان جنگجویان دشمن و استفاده از مداخلات تجربی در شرایط تهدیدکننده زندگی است (۱۹). سیستم‌های هوش مصنوعی شفاف و قابل توضیح برای حفظ استانداردهای اخلاقی در این محیط‌های چالش‌برانگیز، حفظ اعتماد در میان پرسنل نظامی و اطمینان از انطباق با دکترین‌های قانونی و نظامی ضروری هستند (۲۰،۲۱). از آنجایی که سیستم‌های هوش مصنوعی به‌طور فزاینده‌ای تصمیمات بالینی و راهبردهای تخصیص منابع را اطلاع‌رسانی می‌کنند، ضروری است که آن‌ها به گونه‌ای طراحی و اجرا شوند که به استقلال بیمار احترام بگذارند، انصاف را ترویج کنند و پتانسیل پیامدهای ناخواسته را به حداقل برسانند (۲۲). هوش مصنوعی، در برگیرنده یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی

عمیق، رباتیک و پردازش زبان طبیعی به سرعت در حال تکامل به عنوان یک فناوری اصلی برای پرداختن به این چالش‌های چند عاملی است (۲۳،۲۴).

همان‌طور که در بخش غیرنظامی دیده می‌شود، هوش مصنوعی این پتانسیل را دارد که بخش‌های مراقبت ویژه را با همسو کردن مداخلات حفظ حیات با ارزش‌های بیمار و بهینه‌سازی تخصیص منابع متحول کند. به عنوان مثال، در بخش‌های مراقبت ویژه مدرن، سیستم‌های هوش مصنوعی داده‌های فیزیولوژیکی آنی را با ترجیحات مستند اهداف مراقبتی ترکیب می‌کنند تا تصمیمات بالینی را راهنمایی کنند، در حالی که شبکه‌های حسگر هوشمند شرایط محیطی را برای ارتقای راحتی بیمار تنظیم می‌کنند (۲۵). همان‌طور که هوش مصنوعی می‌تواند با ترکیب داده‌های فیزیولوژیکی با اهداف مراقبتی در بیمارستان‌های غیرنظامی تصمیم‌گیری را بهبود بخشد، می‌توان از آن در محیط‌های نظامی استفاده کرد تا اطمینان حاصل شود که مراقبت‌های پزشکی با ارزش‌ها و ترجیحات پرسنل نظامی همسو است. در طب نظامی، این پیشرفت‌ها به کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه‌هایی همچون تشخیص در میدان نبرد، تریاژ خودکار، جراحی رباتیک، تحلیل سلامت روان، لجستیک پیش‌بینی‌کننده و آموزش شبیه‌سازی‌شده فراگیر منجر شده است؛ کاربردهایی که همگی با هدف ارتقاء کارایی، اثربخشی و ارائه اخلاق‌مدار مراقبت‌های پزشکی در محیط‌های عملیاتی پیچیده طراحی شده‌اند (۲۶،۲۷).

در مجموع، این نوآوری‌ها این وعده را می‌دهند که کارایی، تاب‌آوری و انطباق‌پذیری ارائه مراقبت‌های بهداشتی نظامی را افزایش داده و هوش مصنوعی را به عنوان یک عامل کلیدی در آمادگی طب نظامی آینده قرار دهند. با این حال، تحقق این پتانسیل مستلزم توجه دقیق به هم‌افزایی‌های راهبردی و موانع اجرایی است. همان‌طور که ادغام هوش مصنوعی و مستندسازی اهداف مراقبتی در بخش‌های مراقبت ویژه غیرنظامی نیازمند اجرای راهبردی و ملاحظات اخلاقی است، به‌کارگیری هوش مصنوعی در مراقبت‌های بهداشتی نظامی نیز مستلزم رعایت اصول اخلاقی، حاکمیت قوی و تعهد به نوآوری مداوم متناسب با پیچیدگی‌های عملیاتی محیط‌های نظامی است. پرداختن به مسائلی از قبیل سوگیری الگوریتمی، حساسیت فرهنگی، قابلیت تعامل‌پذیری داده‌ها و پذیرش پزشکان برای اطمینان از این‌که هوش مصنوعی به عنوان یک نیروی خوب و خیر در چشم‌انداز چالش‌برانگیز طب نظامی عمل می‌کند، ضروری خواهد بود. این بررسی جامع بر ضرورت سرمایه‌گذاری مستمر در پژوهش و استراتژی‌های به کارگیری هوش مصنوعی متناسب با نیازهای خاص محیط‌های بهداشت و درمان نظامی تأکید دارد تا هوش مصنوعی به عنوان یک نیروی مثبت در عرصه چالش‌برانگیز طب نظامی ایفای نقش کند. مسیر پیش رو نیازمند همکاری میان‌رشته‌ای پایدار، حاکمیت قوی و تعهد مستمر به نوآوری است تا هوش مصنوعی به عنوان ابزاری قدرتمند در پیشبرد مأموریت طب نظامی باقی بماند. این مرور روایی نظام‌مند به بررسی انتقادی کاربردهای فعلی و نوظهور هوش مصنوعی در طب نظامی می‌پردازد و با تمرکز بر نوآوری‌های فناورانه، الزامات اخلاقی و چالش‌های عملیاتی، تحلیلی جامع و معتبر ارائه می‌دهد.

روش‌ها

این مرور روایتی نظام‌مند از یک روش‌شناسی دقیق و چند رشته‌ای برای تلفیق وضعیت کنونی و مسیرهای آتی هوش مصنوعی در طب نظامی استفاده کرده است. این رویکرد به گونه‌ای طراحی شد تا یک ترکیب جامع، شفاف و مبتنی بر شواهد از ادبیات مرتبط، داده‌های عملیاتی و دیدگاه‌های متخصصان را تضمین کند (۲۸)، در حالی که به اصول تثبیت‌شده تحقیقات مروری روایی پایبند است.

راهبرد جستجو

یک جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های داده الکترونیکی متعدد از جمله PubMed، Scopus، Web of Science و مخازن تخصصی دفاعی (specialized defense repositories) انجام شد که انتشارات از زمان آغاز به کار پایگاه داده تا ۱ آپریل ۲۰۲۵ را پوشش می‌داد. راهبرد جستجو، اصطلاحات موضوعی پزشکی و کلمات کلیدی خاص هوش مصنوعی و طب نظامی را برای به حداکثر رساندن بازیابی مطالعات مرتبط ترکیب کرد (جدول ۱). نمونه‌هایی از اصطلاحات جستجو عبارتند از:

- هوش مصنوعی (artificial intelligence)، یادگیری ماشین (machine learning)، یادگیری عمیق (deep learning)، پردازش زبان طبیعی (natural language processing)
- طب نظامی (military medicine)، مراقبت از مجروحان جنگی (combat casualty care)، پزشکی از راه دور (telemedicine)، پزشکی رباتیک (medical robotics)
- مراقبت‌های بهداشتی از راه دور (telehealth)، تدارکات نظامی (military logistics)، نظارت زیستی و تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده (biomonitoring and predictive analytics).

عملگرهای بولی (AND/OR) برای پالایش جستجوها استفاده شدند در حالی که فیلترهای خاص پایگاه داده (به عنوان مثال، مقالات انگلیسی زبان، مجلات داوری‌شده) دقت را افزایش دادند. ادبیات خاکستری از گزارش‌های دولتی (government reports)، مقالات سفید (white papers) و ابتکارات نظامی طبقه‌بندی‌شده (classified military initiatives) نیز برای ثبت بینش‌های عملیاتی که به آسانی در انتشارات آکادمیک در دسترس نیستند، گنجانده شد. برای شناسایی منابع مرتبط در ادبیات خاکستری از جستجوهای هدفمند در وب‌سایت‌های دولتی و پایگاه‌های داده مرتبط با دفاع (defense-related databases)

جدول-۱. راهبرد جستجو درسه پایگاه مورد بررسی

PubMed
Text ("artificial intelligence"[MeSH Terms] OR "machine learning"[MeSH Terms] OR "deep learning"[All Fields] OR "natural language processing"[MeSH Terms] OR "artificial intelligence"[All Fields] OR "machine learning"[All Fields] OR "deep learning"[All Fields] OR "natural language processing"[All Fields]) AND ("military medicine"[MeSH Terms] OR "combat casualty care"[All Fields] OR "telemedicine"[MeSH Terms] OR "medical robotics"[All Fields] OR "telehealth"[All Fields] OR "military logistics"[All Fields] OR "biomonitoring"[All Fields] OR "predictive analytics"[All Fields]) AND (english[lang])
Scopus
Text (TITLE-ABS-KEY("artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "natural language processing")) AND (TITLE-ABS-KEY("military medicine" OR "combat casualty care" OR "telemedicine" OR "medical robotics" OR "telehealth" OR "military logistics" OR "biomonitoring" OR "predictive analytics")) AND (LIMIT-TO(LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE, "re"))
Web of Science
Text TS= ("artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "natural language processing") AND TS=("military medicine" OR "combat casualty care" OR "telemedicine" OR "medical robotics" OR "telehealth" OR "military logistics" OR "biomonitoring" OR "predictive analytics") AND LA=(English) AND DT=(Article OR Review)

و همچنین پرسش‌های مستقیم از متخصصان موضوعی در این زمینه استفاده شد.

معیارهای ورود و خروج

معیارهای ورود و خروج از پیش تعریف‌شده به طور دقیق در طول فرآیند انتخاب مطالعه اعمال شدند تا دقت روش‌شناختی حفظ شود. مطالعات متمرکز بر کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه‌های مختلف طب نظامی، مقالات داوری‌شده، مجموعه مقالات کنفرانس یا گزارش‌های دولتی و شواهد تجربی یا چارچوب‌های نظری مرتبط با نوآوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در تشخیص، درمان، تدارکات یا آموزش وارد مطالعه شدند. متعاقبا مطالعات بدون دسترسی به متن کامل به زبان فارسی و انگلیسی، مطالعات غیرمرتبط با طب نظامی یا کاربردهای عمومی مراقبت‌های بهداشتی، سرمقاله‌ها و یادداشت‌های نظری یا نامه‌های فاقد عمق تجربی یا نظری، مقالات با دقت روش‌شناختی ناکافی (به عنوان مثال، فاقد سؤالات تحقیق روشن) یا مجموعه‌های داده ناقص از مطالعه خارج شدند. این رویکرد دو لایه تضمین کرد که تنها منابع با کیفیت بالا که مستقیماً با تقاطع هوش مصنوعی و طب نظامی مرتبط هستند، در مطالعه گنجانده شوند.

انتخاب مطالعه

فرآیند انتخاب مطالعه در دو مرحله انجام شد تا سوگیری انتخاب به حداقل برسد. ابتدا دو محقق به طور مستقل تمام مقالات شناسایی‌شده را بر اساس عنوان و چکیده آن‌ها غربالگری کردند و واجد شرایط بودن مقالات را در برابر معیارهای از پیش تعریف‌شده ارزیابی کردند. اختلاف بین آن‌ها از طریق بحث و گفتگو برطرف گردید و در صورت لزوم برای دستیابی به اجماع با محقق سوم مشورت شد. سپس مقالاتی که از غربالگری اولیه عبور کردند، تحت ارزیابی دقیق متن کامل قرار گرفتند. در این مرحله، دقت روش‌شناختی، ارتباط با زمینه‌های نظامی و عمق تجزیه و تحلیل کاربرد هوش مصنوعی ارزیابی شد.

در جستجوی اولیه، ۲۵۰ مقاله به دست آمد. پس از غربالگری عنوان و چکیده، ۱۰۰ مقاله به طور بالقوه مرتبط برای بررسی متن کامل در نظر گرفته شدند. پس از این ارزیابی جامع، ۶۵ مطالعه تمام معیارهای ورود را برآورده کردند و در این بررسی گنجانده شدند.

استخراج داده‌ها

فرم استخراج داده استاندارد شده برای جمع‌آوری نظام‌مند اطلاعات از مطالعات انتخاب‌شده طراحی و پیاده‌سازی شد. نکات کلیدی در این فرم عبارت بودند از: طرح مطالعه (تجربی، مشاهده‌ای، شبیه‌سازی)، ویژگی‌های نمونه (جمعیت‌شناسی پرسنل نظامی، شرایط بالینی)، تکنیک‌های هوش مصنوعی به کار رفته (شبکه‌های عصبی کانولوشن، یادگیری تقویتی و پردازش زبان طبیعی)، معیارهای پیامد (دقت تشخیصی، کارایی عملیاتی، اثربخشی بالینی)، یافته‌های کلیدی و محدودیت‌ها. برای افزایش قابلیت اطمینان استخراج داده‌ها، محقق دوم به طور مستقل داده‌ها را از یک نمونه تصادفی ۱۰ درصد از مطالعات گنجانده شده استخراج کرد و اختلافات با نتایج محقق اول از طریق بحث و گفتگو در حضور محقق سوم حل شد.

ترکیب و تحلیل

داده‌های استخراج‌شده با استفاده از یک رویکرد روایتی موضوعی برای شناسایی روندهای مشترک، نوآوری‌های فناورانه، چالش‌های عملیاتی و ملاحظات اخلاقی ترکیب شدند. این روش امکان تحلیلی یکپارچه را فراهم کرد که با اهداف این بررسی همسو بود:

- دسته‌بندی بر اساس دامنه کاربرد: مطالعات به پنج حوزه اصلی شامل تشخیص و تریاژ، درمان و توانبخشی، حفظ سلامت روان، تدارکات پزشکی و شبیه‌سازی‌های آموزشی تقسیم شدند (۲۹).
- شناسایی روندهای فناورانه: فناوری‌های نوظهور مانند مدل‌های هوش مصنوعی مولد برای سناریوهای آموزشی یا سیستم‌های نظارت زیستی که حسگرهای پوشیدنی را ادغام می‌کنند، برجسته شدند.
- تحلیل شکاف: حوزه‌هایی که نیاز به تحقیقات یا توسعه بیشتر دارند، مانند قابلیت همکاری با سیستم‌های قدیمی، کاهش

سوگیری الگوریتمی و توسعه روش‌های اعتبارسنجی قوی شناسایی شدند.

- اعتبارسنجی از طریق مشاوره تخصصی: بینش‌های به‌دست‌آمده از پزشکان نظامی، مهندسان زیست پزشکی، متخصصان اخلاق هوش مصنوعی و پرسنل عملیاتی برای زمینه‌سازی یافته‌ها در محیط‌های عملیاتی واقعی و اطمینان از ارتباط و عملی بودن نتایج بررسی گنجانده شدند.

ادغام زمینه عملیاتی

به منظور اطمینان از ارتباط با موقعیت‌های نظامی، این مطالعه از داده‌های عملیاتی برنامه‌های آزمایشی وزارت دفاع که فناوری‌های هوش مصنوعی را به کار می‌گیرند، استفاده کرد. این برنامه‌ها عبارت بودند از:

- سیستم‌های جراحی روباتیک برای مراقبت از تروما در محل‌های استقرار پیشرو با هدف ارائه نمونه‌هایی از تأثیر آن‌ها بر نتایج جراحی و استفاده از منابع.
- ربات‌های امداد رسان برای خروج مجروحین از میدان نبرد برای تخلیه مجروحان با هدف نشان دادن پتانسیل آن‌ها برای کاهش زمان تخلیه و بهبود ایمنی بیمار.
- پلتفرم‌های تحلیل پیش‌بینی‌کننده برای نظارت بر سلامت سربازان با هدف نشان دادن توانایی آن‌ها در شناسایی و کاهش خطرات احتمالی سلامتی.

این مطالعات موردی شواهد تجربی از تأثیر هوش مصنوعی بر کاهش عوارض، کارایی لجستیکی و دقت تصمیم‌گیری در شرایط جنگی ارائه دادند.

ملاحظات اخلاقی

به منظور رسیدگی به نگرانی‌های کلیدی، چارچوب‌های اخلاقی حاکم بر به‌کارگیری هوش مصنوعی در طب نظامی به طور نظام‌مند مورد بررسی قرار گرفتند که عبارت بودند از:

- حریم خصوصی و امنیت سایبری داده‌ها: اطمینان از اینکه داده‌های حساس سلامت در برابر تهدیدات خصمانه ایمن می‌مانند و محافظت‌های مناسب برای حفاظت از محرمانه بودن بیمار وجود دارد.
- سوگیری الگوریتمی: کاهش خطرات مرتبط با مجموعه داده‌های آموزشی غیرنماینده و اطمینان از انصاف و برابری در تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی.
- نظارت انسانی: ایجاد تعادل بین اتوماسیون و تصمیم‌گیری انسانی برای حفظ مسئولیت‌پذیری و اطمینان از اینکه سیستم‌های هوش مصنوعی به طور مسئولانه استفاده می‌شوند.

این ملاحظات در فرایند ترکیب گنجانده شدند تا دیدگاهی متعادل در مورد فرصت‌ها و خطرات مرتبط با پذیرش هوش مصنوعی در طب نظامی ارائه شود.

نتایج

تحلیل جامع کاربردهای هوش مصنوعی در طب نظامی تحولی عمیق و چندوجهی را در حوزه‌های بالینی، عملیاتی، لجستیکی و اخلاقی آشکار می‌کند. مرور روایی نظام‌مند حاضر با بهره‌گیری از طیف گسترده‌ای از مطالعات داوری‌شده، گزارش‌های معتبر دفاعی و ارزیابی‌های روشنگرانه متخصصان دفاعی منتشر شده بر پتانسیل تحول‌آفرین هوش مصنوعی در ارتقای ارائه خدمات بهداشتی درمانی در نبرد تأکید می‌کند. این تحلیل، به کارگیری معماری‌های پیشرفته هوش مصنوعی و تأثیرات گسترده آن‌ها بر چشم‌انداز پزشکی در نیروهای مسلح را برجسته می‌سازد. ارائه نتایج پیش‌رو به گونه‌ای سازماندهی شده است که به روشی نظام‌مند به بررسی این پیشرفت‌ها بپردازد که در دسته‌های کلیدی سازماندهی شده و با استفاده از هر دو استدلال قیاسی و استقرایی ارائه می‌شود (جدول ۲).

تأکید نتایج مقاله حاضر بر نقش کلیدی هوش مصنوعی در ارتقای فرآیندهای تشخیص و درمان در طب نظامی است. هوش مصنوعی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیشرفته یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی و پردازش داده‌های پیچیده بالینی قادر است الگوها و ناهنجاری‌هایی را که ممکن است از دید متخصصان انسانی پنهان بماند، شناسایی کند و دقت تشخیص بیماری‌ها را به طور چشمگیری افزایش دهد (۳۰). در حوزه درمان نیز هوش مصنوعی امکان طراحی و اجرای برنامه‌های درمانی شخصی‌سازی‌شده را فراهم می‌آورد و با تحلیل داده‌های ژنتیکی، تصویربرداری پزشکی و سوابق بالینی به پزشکان کمک می‌کند تا مؤثرترین روش‌های درمان را برای هر بیمار انتخاب کنند (۳۱). افزون بر این هوش مصنوعی در محیط‌های نظامی که محدودیت منابع و شرایط بحرانی وجود دارد، با خودکارسازی تریاژ، پایش مستمر بیماران و ارائه هشدارهای به‌موقع نقش بسزایی در بهبود کیفیت و سرعت ارائه خدمات درمانی ایفا می‌کند. بنابراین، یافته‌های این مقاله نشان می‌دهد که هوش مصنوعی نه تنها موجب افزایش دقت و سرعت تشخیص، بلکه باعث ارتقای اثربخشی درمان و بهبود نتایج سلامت در شرایط خاص و چالش‌برانگیز نظامی می‌شود.

دسته‌بندی ارائه شده در جدول ۳ گستره و عمق کاربردهای هوش مصنوعی را در حوزه پیشگیری و بازتوانی طب نظامی آشکار می‌سازد و بیانگر آن است که این فناوری پیشرفته چگونه می‌تواند به صورت همه‌جانبه در ارتقاء سلامت، افزایش تاب‌آوری و تسریع روند بازگشت به خدمت پرسنل نظامی ایفای نقش کند. هوش مصنوعی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی عمیق و تحلیل داده‌های کلان به پزشکان و مدیران سلامت نظامی این امکان را می‌دهد تا با دقت و سرعت بیشتری خطرات بهداشتی را شناسایی و مدیریت کنند. در حوزه پیشگیری، هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل داده‌های بیومتریک، سوابق پزشکی و اطلاعات محیطی الگوهای خطر را در میان نیروهای نظامی شناسایی کند و هشدارهای زودهنگام درباره بروز بیماری‌ها،

جدول-۲. نتایج دسته‌بندی‌شده کاربردهای هوش مصنوعی در طب نظامی در تشخیص و درمان

دسته‌بندی	یافته‌های کلیدی	مثال‌های مرتبط	چالش‌ها و ملاحظات
نوآوری‌های بالینی	الگوریتم‌های تشخیصی مبتنی بر هوش مصنوعی، دقت، سرعت و قابلیت اطمینان تفسیر تصویربرداری تروما را افزایش می‌دهند. مدل‌های یادگیری ماشین، شناسایی زودهنگام بیماری‌های روانپزشکی عصبی (neuropsychiatric) را امکان‌پذیر می‌سازند. سیستم‌های جراحی رباتیک، رویه‌های کم تهاجمی را تسهیل می‌کنند. آرایه‌های حسگر زیستی پوشیدنی (wearable biosensor arrays)، پایش مداوم فیزیولوژیکی را فراهم می‌کنند.	شبکه‌های عصبی کانولوشن، خونریزی‌های داخل جمجمه‌ای را با دقت بیشتر از ۹۰ درصد تشخیص می‌دهند. پردازش زبان طبیعی، عوامل خطر اختلال استرس پس از سانحه را از یادداشت‌های بالینی شناسایی می‌کند. جراحی رباتیک، خستگی جراح را تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهد. هوش مصنوعی، افت عملکرد فیزیولوژیکی را دو ساعت زودتر پیش‌بینی می‌کند.	سوگیری الگوریتمی در مدل‌های تشخیصی ملاحظات اخلاقی مربوط به جراحی خودکار حفظ حریم خصوصی داده‌ها با پایش مداوم نیاز به اعتبارسنجی در تنظیمات عملیاتی مختلف
بهبودهای عملیاتی	سیستم‌های تریاژ خودکار، اولویت‌بندی مجروحان را بهینه می‌کنند. پلتفرم‌های درخواست جابه‌جایی بیمار مبتنی بر هوش مصنوعی، مسیرهای تخلیه را ساده می‌کنند. ابزارهای پردازش زبان طبیعی، اطلاعات بالینی را از پرونده‌های الکترونیکی سلامت پراکنده ترکیب می‌کنند. سیستم‌های فرماندهی و کنترل مبتنی بر هوش مصنوعی، نظارت بر سلامت در زمان واقعی را تسهیل می‌کنند.	تریاژ هوش مصنوعی، میزان بقا را تا ۱۵ درصد در رویدادهای تلفات جمعی بهبود می‌بخشد. بهینه‌سازی درخواست جابه‌جایی بیمار مبتنی بر هوش مصنوعی، زمان تخلیه را تا ۲۵ درصد کاهش می‌دهد. خلاصه‌های پردازش زبان طبیعی، زمان مستندسازی بالینی را تا ۵۹ درصد کاهش می‌دهند. نظارت هوش مصنوعی، شیوع بیماری را ۷۲ ساعت زودتر از روش‌های سنتی تشخیص می‌دهد.	وابستگی به کیفیت و در دسترس بودن داده‌ها یکپارچه‌سازی با سیستم‌های موجود چالش‌های کار تعاملی تیمی انسان و ماشین نیاز به پروتکل‌های امنیتی قوی برای حفاظت از اطلاعات حساس
لجستیک و پشتیبانی	الگوریتم‌های نگهداری پیش‌بینی‌کننده، زمان خرابی تجهیزات را کاهش می‌دهند. سیستم‌های اطلاعات بیمارستانی مبتنی بر هوش مصنوعی، تخصیص منابع را بهینه می‌کنند.	نگهداری پیش‌بینی‌کننده، زمان خرابی تجهیزات را تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهد. هوش مصنوعی، زمان‌بندی جراحی را بهینه می‌کند و توان عملیاتی را تا ۲۰ درصد افزایش می‌دهد. مدیریت بهبود یافته موجودی، کمبود لوازم حیاتی را تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهد.	هزینه پیاده‌سازی و نگهداری نگرانی‌های امنیتی و حفظ حریم خصوصی داده‌ها یکپارچه‌سازی با سیستم‌های زنجیره تامین موجود نیاز به تخصص ویژه برای مدیریت سیستم‌های لجستیکی هوش مصنوعی
اخلاقی و امنیتی	استقرار سیستم‌های خودکار، سوالات مربوط به پاسخگویی را افزایش می‌دهد. سوگیری الگوریتمی، خطر ارائه نابرابر مراقبت را افزایش می‌دهد. چارچوب‌های امنیت سایبری قوی ضروری هستند.	توسعه فرآیندهای تصمیم‌گیری شفاف هوش مصنوعی اعتبارسنجی مداوم مدل‌های هوش مصنوعی با مجموعه‌های داده متنوع اجرای پروتکل‌های امنیت سایبری قوی برای حفاظت از داده‌های پزشکی حساس	اطمینان از نظارت انسانی در تصمیم‌گیری‌های حیاتی کاهش سوگیری الگوریتمی از طریق تنوع داده و معیارهای انصاف حفاظت از سیستم‌های هوش مصنوعی در برابر تهدیدهای سایبری خصمانه پایبندی به دستورالعمل‌های اخلاقی و چارچوب‌های قانونی

آسیب‌ها یا اختلالات روانی ارائه دهد (۳۲). برای مثال، استفاده از حسگرهای پوشیدنی و سامانه‌های پایش سلامت مبتنی بر هوش مصنوعی امکان رصد مداوم شاخص‌های حیاتی و شناسایی تغییرات غیرعادی را فراهم می‌سازد که این امر به مداخلات پیشگیرانه سریع‌تر و مؤثرتر منجر می‌شود (۳۳). همچنین، تحلیل داده‌های محیطی و عملیاتی توسط سامانه‌های هوشمند می‌تواند به شناسایی تهدیدات زیست‌محیطی و اتخاذ تدابیر حفاظتی مناسب کمک کند.

در زمینه بازتوانی، هوش مصنوعی با ارائه راهکارهای نوین در توانبخشی جسمی و روانی، نقش بسزایی در تسریع روند بهبود و بازگشت به خدمت نیروهای آسیب‌دیده ایفا می‌کند (۳۴). استفاده از ربات‌های توانبخشی، واقعیت مجازی و افزوده و سیستم‌های بازخورد هوشمند امکان طراحی برنامه‌های بازتوانی شخصی‌سازی شده و متناسب با نیازهای هر فرد را فراهم می‌آورد (۳۵). این فناوری‌ها با پایش مستمر پیشرفت بیماران و تنظیم پویا و هوشمندانه برنامه‌های درمانی، اثربخشی مداخلات بازتوانی را به طور چشمگیری افزایش می‌دهند (۳۶). افزون بر این، هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل داده‌های روان‌شناختی و رفتاری اختلالات سلامت روان مانند استرس پس از سانحه و افسردگی را در مراحل اولیه شناسایی و مداخلات حمایتی و درمانی مناسب را پیشنهاد کند.

در حوزه مدیریت تدارکات و منابع بازتوانی، الگوریتم‌های هوش مصنوعی با پیش‌بینی نیازها و بهینه‌سازی زنجیره تأمین تجهیزات و خدمات، دسترسی به منابع حیاتی را بهبود می‌بخشند و از بروز کمبودهای احتمالی در شرایط بحرانی جلوگیری می‌کنند. همچنین، این فناوری با تحلیل داده‌های جمعیتی و عملیاتی می‌تواند به مدیران سلامت نظامی در برنامه‌ریزی راهبردی و تخصیص بهینه منابع انسانی و تجهیزاتی یاری رساند (۳۷).

در مجموع، هوش مصنوعی با ایجاد تحول در رویکردهای پیشگیری و بازتوانی نه‌تنها کیفیت و اثربخشی مراقبت‌های پزشکی

جدول-۳. نتایج دسته‌بندی‌شده کاربردهای هوش مصنوعی در پیشگیری و بازتوانی

حوزه کاربرد	شرح کاربرد	نمونه فناوری‌ها و روش‌ها
پیشگیری از آسیب‌ها	استفاده از هوش مصنوعی برای پیش‌بینی و کاهش خطرات سلامتی در پرسنل نظامی از طریق پایش مداوم و تحلیل داده‌های بیومتریک و محیطی.	حسگرهای پوشیدنی، تحلیل پیش‌بینی‌کننده سلامت، یادگیری ماشین برای شناسایی ریسک‌ها
تشخیص زودهنگام	شناسایی سریع و دقیق شرایط پزشکی و روانی از جمله اختلال استرس پس از سانحه و آسیب‌های مغزی تروماتیک به منظور مداخله به موقع.	پردازش زبان طبیعی، شبکه‌های عصبی عمیق، مدل‌های یادگیری ماشین
بازتوانی جسمی	به‌کارگیری رباتیک، شبیه‌سازی‌های واقعیت مجازی و سیستم‌های هوشمند برای تسهیل توانبخشی حرکتی و بهبود عملکرد فیزیکی سربازان مجروح.	ربات‌های توانبخشی، واقعیت مجازی و افزوده، سیستم‌های بازخورد لمسی هوشمند
حمایت سلامت روان	ارائه پلتفرم‌های هوشمند برای تشخیص، پایش و مداخلات شخصی‌سازی‌شده در حوزه سلامت روان پرسنل نظامی.	برنامه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌های متنی و صوتی، واقعیت مجازی درمانی
مدیریت و بهینه‌سازی تدارکات بازتوانی	بهینه‌سازی زنجیره تأمین تجهیزات و خدمات بازتوانی با استفاده از الگوریتم‌های پیش‌بینی و مدیریت منابع.	الگوریتم‌های نگهداری پیش‌بینانه، سیستم‌های مدیریت موجودی هوشمند

را در محیط‌های نظامی ارتقاء می‌بخشد بلکه با افزایش تاب‌آوری، کاهش مدت زمان بازگشت به خدمت و بهبود سلامت جسمی و روانی نیروها نقش کلیدی در ارتقاء آمادگی عملیاتی و کارآمدی کل سیستم سلامت نظامی ایفا می‌کند. این تحولات مستلزم سرمایه‌گذاری مستمر در توسعه فناوری، آموزش پرسنل و تدوین چارچوب‌های اخلاقی و امنیتی مناسب است تا اطمینان حاصل شود که هوش مصنوعی به عنوان ابزاری مؤثر و قابل اعتماد در خدمت سلامت و رفاه نیروهای نظامی قرار می‌گیرد.

نوآوری‌های بالینی: دگرگون‌سازی مراقبت از بیمار در میدان نبرد

در گستره اقدامات بالینی، هوش مصنوعی به عنوان نیرویی دگرگون‌ساز پدیدار شده است و به طور چشمگیری دقت و کارایی ارائه خدمات بهداشتی را در شرایط چالش‌برانگیز محیط‌های نظامی افزایش می‌دهد (۳۸-۴۰).

تشخیص‌های مبتنی بر هوش مصنوعی: در خط مقدم این پیشرفت‌ها الگوریتم‌های تشخیصی مبتنی بر هوش مصنوعی قرار دارند که در درجه اول از شبکه‌های عصبی کانولوشنی (convolutional neural networks) عمیق بهره می‌برند. این سیستم‌های پیچیده، دقت، سرعت و قابلیت اطمینان تفسیر تصویربرداری تروما را حتی در شرایط محدودیت منابع که اغلب در میدان نبرد با آن مواجه می‌شوند، به طور قابل توجهی افزایش داده‌اند (۴۱). برای مثال، مطالعات نشان داده‌اند که شبکه‌های عصبی کانولوشنی عمیق می‌توانند آسیب‌شناسی‌های بحرانی مانند خونریزی‌های داخل جمجمه‌ای، شکستگی‌های پیچیده و آسیب‌های بافت نرم را با دقت بیش از ۹۰ درصد تشخیص دهند و از این طریق تریاژ و مداخله سریع را حتی در محیط‌های دشوار تسهیل کنند (۴۲). علاوه‌بر این، ادغام مدل‌های قطعه‌بندی و طبقه‌بندی تصویر مبتنی بر هوش مصنوعی نشان داده است که زمان نهفتگی تشخیص را تا ۶۰ درصد کاهش می‌دهد و به امدادگران این امکان را می‌دهد تا مراقبت را به طور مؤثرتری در سناریوهای تلفات دسته‌جمعی اولویت‌بندی کنند (۴۳).

شناسایی زودهنگام شرایط روانپزشکی عصبی: مدل‌های یادگیری ماشین که بر اساس مجموعه داده‌های گسترده و متنوع سلامت نظامی آموزش داده شده‌اند، قابلیت‌های قوی در شناسایی زودهنگام شرایط روانپزشکی عصبی شایع در میان رزمندگان نشان داده‌اند. این شرایط از جمله اختلال استرس پس از سانحه و آسیب مغزی تروماتیک اغلب به دلیل نشانه‌شناسی پیچیده و همپوشانی با سایر شرایط پزشکی چالش‌های تشخیصی را به همراه دارند (۴۴). پلتفرم‌های تجزیه‌وتحلیل پیش‌بینی‌کننده با بهره‌گیری از ورودی‌های داده چندوجهی از یادداشت‌های بالینی و پرسشنامه‌های خود گزارش‌شده تا داده‌های حسگر بیومتریک و نتایج تصویربرداری عصبی نشان داده‌اند که به طور موثری خطر را طبقه‌بندی می‌کنند و مداخلات به‌موقع و شخصی‌سازی‌شده را هدایت می‌کنند. این رویکرد نه تنها دقت تشخیصی را بهبود می‌بخشد بلکه با امکان دسترسی زودهنگام به خدمات درمانی و حمایتی مناسب نتایج عملکردی بلندمدت را نیز افزایش می‌دهد (۴۵).

جراحی رباتیک پیشرفته با هوش مصنوعی: سیستم‌های جراحی رباتیک مجهز به بازخورد لمسی پیشرفته با هوش مصنوعی و هدایت تصویربرداری چندوجهی در زمان واقعی با موفقیت در پایگاه‌های عملیاتی پیشرو به کارگیری شده‌اند تا نیازهای جراحی فوری سربازان مجروح را برطرف کنند (۴۶). این پلتفرم‌ها، روش‌های کم‌تهاجمی مانند کنترل خونریزی، استخراج جسم خارجی و ترمیم عروق را تسهیل می‌کنند و از این طریق خستگی جراح و خطاهای رویه‌ای را در محیط‌های پرتنش و کم‌منابع کاهش می‌دهند. ادغام الگوریتم‌های کنترل حرکت خودکار و ماژول‌های یادگیری تطبیقی، دقت و ایمنی این سیستم‌ها را با فعال کردن آن‌ها برای تنظیم پویا متغیرهای حین عمل بیشتر می‌کند (۴۷).

برای مثال، ربات‌های هدایت‌شده با هوش مصنوعی می‌توانند مانورهای جراحی پیچیده را با دقت و ثبات بیشتری نسبت به جراحان انسانی انجام دهند و خطر عوارض را کاهش دهند و نتایج بیمار را بهبود بخشند (۴۸).

آرایه‌های حسگر زیستی پوشیدنی: ادغام آرایه‌های حسگر زیستی پوشیدنی با تجزیه‌وتحلیل پیچیده هوش مصنوعی، پایش مداوم پارامترهای فیزیولوژیکی حیاتی را فراهم می‌کند و واکنش‌های پزشکی فعالانه را امکان‌پذیر می‌سازد و تثبیت مصدوم را در موقعیت‌های مراقبت طولانی‌مدت در میدان افزایش می‌دهد (۴۹). این حسگرهای زیستی که به طور مداوم پارامترهایی مانند تغییرپذیری ضربان قلب، میزان اشباع اکسیژن، دمای مرکزی و فعالیت الکترودرمال را نظارت می‌کنند، حجم وسیعی از داده‌ها را تولید می‌کنند که می‌توانند در زمان واقعی با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی‌کننده پیشرفته تجزیه‌وتحلیل شوند. این مدل‌ها می‌توانند کاهش جبرانی فیزیولوژیکی را تا چند ساعت قبل پیش‌بینی کنند و به پرسنل پزشکی اجازه دهند تا به طور پیشگیرانه مداخله کنند و از رویدادهای بالقوه تهدیدکننده زندگی جلوگیری کنند (۵۰). علاوه‌بر این، این سیستم‌ها از قابلیت‌های پایش از راه دور پشتیبانی می‌کنند و مراکز فرماندهی پزشکی را قادر می‌سازند تا آگاهی از وضعیت سلامتی نیروها را در سراسر مناطق عملیاتی پراکنده حفظ کنند (۵۱).

بهبودهای عملیاتی: بهینه‌سازی کارایی و تخصیص منابع

هوش مصنوعی نه تنها مراقبت بالینی را دگرگون می‌کند بلکه جنبه‌های عملیاتی طب نظامی را نیز متحول می‌کند. کارایی، تخصیص منابع و تصمیم‌گیری را در میدان نبرد بهینه می‌کند (۵۲).

سیستم‌های تریاژ خودکار: در حوادث تلفات دسته‌جمعی، سیستم‌های تریاژ خودکار با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی، مجروحان را به صورت پویا بر اساس ترکیب امتیاز شدت جراحت، در دسترس بودن منابع و زمان‌بندی تخلیه اولویت‌بندی می‌کنند (۵۳). این ابزارهای پشتیبانی از تصمیم مبتنی بر هوش مصنوعی، با فعال کردن تخصیص سریع و مبتنی بر داده‌ی منابع پزشکی محدود، نتایج بقا را بهینه می‌کنند و اطمینان می‌دهند که مجروح‌ترین بیماران مراقبت به‌موقع و مناسب را دریافت می‌کنند (۵۴). این سیستم‌ها به طور مداوم از داده‌های میدان نبرد در حال تکامل یاد می‌گیرند و پروتکل‌های اولویت‌بندی را برای انطباق با زمینه‌های عملیاتی در حال تغییر و بهینه‌سازی استفاده از منابع پالایش می‌کنند (۵۵).

پلتفرم‌های درخواست جابه‌جایی بیمار مبتنی بر هوش مصنوعی: پلتفرم‌های درخواست جابه‌جایی بیمار مبتنی بر هوش مصنوعی با ادغام داده‌های اطلاعات مکانی، وضعیت دارایی‌های حمل‌ونقل و اطلاعات مربوط به وضعیت مجروحان، مسیرهای تخلیه را ساده‌سازی می‌کنند و هماهنگی تخلیه پزشکی را بهینه می‌کنند. این پلتفرم‌ها با فعال کردن تخلیه کارآمدتر و به‌موقع پرسنل مجروح، زمان‌های تأخیر را کاهش می‌دهند و توان عملیاتی را افزایش می‌دهند و مستقیماً بر میزان بقا تأثیر می‌گذارند. گنجاندن تجزیه‌وتحلیل ترافیک در زمان واقعی و محیط تهدید، انتخاب مسیر را بیشتر اصلاح می‌کند و ایمنی مجروح را در حین انتقال تضمین می‌کند و خطر قرار گرفتن در معرض نیروهای متخاصم را به حداقل می‌رساند (۵۶).

پردازش زبان طبیعی برای ترکیب اطلاعات بالینی: ابزارهای پردازش زبان طبیعی برای استخراج و ترکیب اطلاعات بالینی حیاتی از سوابق الکترونیکی سلامت پراکنده و گزارش‌های میدانی بدون ساختار در محیط‌های دشوار استفاده می‌کنند. این سیستم‌های هوش مصنوعی با ارائه خلاصه‌های مختصر و عملی به امدادگران و پزشکان از تصمیم‌گیری بالینی سریع و تداوم مراقبت با وجود محدودیت‌های پهنای باند و ناهمگونی داده‌ها پشتیبانی می‌کنند (۵۷). مستندسازی بالینی مبتنی بر پردازش زبان طبیعی بررسی‌های پس از عمل و ابتکارات بهبود کیفیت را تسهیل می‌کند و یادگیری مداوم و اصلاح شیوه‌های پزشکی را امکان‌پذیر می‌کند (۵۸).

سیستم‌های فرماندهی و کنترل فعال‌شده با هوش مصنوعی: سیستم‌های فرماندهی و کنترل فعال‌شده با هوش مصنوعی نظارت بر سلامت در میدان نبرد را در زمان واقعی با جمع‌آوری جریان‌های داده چند منبعی از جمله خروجی‌های حسگر زیستی، حسگرهای محیطی و گزارش‌های اپیدمیولوژیک تسهیل می‌کنند (۵۹، ۶۰). الگوریتم‌های مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده شیوع بیماری‌های نوظهور و خوشه‌های الگوی آسیب را شناسایی می‌کنند و راهبردهای پیشگیرانه فعال و پیش‌بینی منابع را امکان‌پذیر می‌کنند. این سیستم‌ها با ارائه اطلاعات بهداشتی عملیاتی به فرماندهان که در چارچوب‌های آگاهی از موقعیت گسترده‌تر ادغام شده‌اند، آمادگی عملیاتی را افزایش می‌دهند (۶۱).

سیستم‌های لجستیکی و پشتیبانی: ارتقاء دسترسی به منابع و افزایش کارایی

هوش مصنوعی نقش حیاتی در بهینه‌سازی سیستم‌های لجستیکی و پشتیبانی ایفا می‌کند به گونه‌ای که دسترسی به منابع حیاتی را تضمین کرده و کارایی کلی عملیات طب نظامی را ارتقاء می‌بخشد.

الگوریتم‌های نگهداری پیش‌بینانه: الگوریتم‌های نگهداری پیش‌بینانه در تجهیزات پزشکی و زنجیره‌های تأمین به کار گرفته می‌شوند تا زمان‌های توقف عملیاتی کاهش یافته و دسترسی به منابع حیاتی در طول عملیات رزمی تضمین شود (۲۹). مدل‌های یادگیری ماشین با تحلیل داده‌های حسگرهای دستگاه‌های پزشکی، خرابی‌های احتمالی قطعات را پیش‌بینی می‌کنند که این امر امکان تعمیرات پیشگیرانه را فراهم ساخته و از اختلالات تجهیزات حیاتی

مأموریت جلوگیری می‌کند (۳۰).

سیستم‌های اطلاعات بیمارستانی تقویت‌شده با هوش مصنوعی: سیستم‌های اطلاعات بیمارستانی مجهز به هوش مصنوعی، برنامه‌ریزی جراحی، مدیریت موجودی و تخصیص نیروی انسانی در مراکز درمانی نظامی را بهینه می‌کنند. این سیستم‌ها با بهره‌گیری از پیش‌بینی تقاضا و تحلیل بهره‌وری منابع، ظرفیت خدمات‌دهی را افزایش می‌دهند، زمان انتظار بیماران را کاهش داده و کارایی کلی تأسیسات را بهبود می‌بخشند (۴۳). همچنین، ادغام این سیستم‌ها با پلتفرم‌های مدیریت زنجیره تأمین، تأمین به موقع داروها، فرآورده‌های خونی و مواد مصرفی را تضمین می‌کند و ریسک کمبود موجودی در عملیات با سرعت بالا را کاهش می‌دهد (۳۱).

ملاحظات اخلاقی و امنیتی: پیمایش پیچیدگی‌های هوش مصنوعی در طب نظامی

ادغام هوش مصنوعی در طب نظامی مجموعه‌ای از ملاحظات پیچیده اخلاقی و امنیتی را به همراه دارد که نیازمند مدیریت پیشگیرانه و جامع است (۶۲). زمینه عملیاتی منحصر به فرد مراقبت‌های بهداشتی نظامی که اغلب با تصمیمات حساس، محدودیت منابع و محیط‌های پرچالش همراه است، اهمیت پرداختن به این چالش‌ها را برای تضمین استفاده مسئولانه و عادلانه از هوش مصنوعی دوچندان می‌کند. این ملاحظات صرفاً نظری نیستند؛ بلکه تأثیرات مستقیم بر نتایج بیماران، اعتماد به سیستم پزشکی و یکپارچگی کلی عملیات نظامی دارند (۳۳).

مسئولیت‌پذیری و نظارت انسانی: به‌کارگیری سیستم‌های پزشکی خودکار به‌ویژه آن‌هایی که در تصمیمات حیاتی جان انسان دخیل هستند، پرسش‌های عمیق اخلاقی درباره مسئولیت‌پذیری ایجاد می‌کند. هنگامی که سیستم‌های هوش مصنوعی بدون نظارت مستقیم انسان تصمیم‌گیری می‌کنند، ضروری است خطوط مسئولیت واضح و مکانیزم‌های جبران خسارت در موارد بروز رویدادهای نامطلوب یا پیامدهای ناخواسته تعیین شود (۳۴). یکی از رویکردها، پیاده‌سازی سیستم سلسله مراتبی از خودمختاری است که در آن سیستم‌های هوش مصنوعی بسته به پیچیدگی و ریسک وظیفه، تحت سطوح مختلفی از نظارت انسانی فعالیت می‌کنند. برای مثال، ابزار تشخیصی مبتنی بر هوش مصنوعی ممکن است در شناسایی شکستگی‌ها به رادیولوژیست کمک کند اما تفسیر نهایی و تصمیم‌گیری درمانی بر عهده پزشک انسان باقی می‌ماند. همچنین، توسعه فرآیندهای تصمیم‌گیری شفاف و قابل توضیح هوش مصنوعی که به کارکنان پزشکی و ساختارهای فرماندهی امکان درک دلایل پشت توصیه‌های هوش مصنوعی را می‌دهد بسیار حیاتی است (۳۵). این شفافیت برای حفظ اعتماد و اطمینان از استفاده از سیستم‌های هوش مصنوعی در چارچوب اصول اخلاقی و دکترین‌های نظامی اهمیت بالایی دارد. ادغام مستندات اهداف مراقبت در الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌تواند با در نظر گرفتن ارزش‌ها و ترجیحات بیمار در فرآیند تصمیم‌گیری، مسئولیت‌پذیری را افزایش دهد.

سوگیری الگوریتمی و نابرابری: سوگیری الگوریتمی که اغلب ناشی از داده‌های آموزشی غیرنماینده است، خطرات قابل توجهی برای ارائه مراقبت نابرابر در میان جمعیت‌های متنوع نظامی ایجاد می‌کند. اگر مدل‌های هوش مصنوعی عمدتاً بر داده‌های گروه‌های جمعیتی یا محیط‌های عملیاتی خاص آموزش داده شوند، ممکن است عملکرد ضعیف یا حتی نتایج تبعیض‌آمیز برای افراد از گروه‌های کمتر نماینده ارائه دهند. برای کاهش این خطرات لازم است مدل‌های هوش مصنوعی به طور مستمر با داده‌های نماینده از نظر جمعیتی و عملیاتی اعتبارسنجی و بازآموزی شوند. این شامل تضمین پوشش کامل طیف پرسنل نظامی با جنسیت‌ها، نژادها، قومیت‌ها و درجات مختلف به همراه محیط‌های عملیاتی متنوع مانند مناطق جنگی، مأموریت‌های حفظ صلح و عملیات بشر دوستانه است. همچنین، توسعه و به‌کارگیری معیارهای عدالت برای ارزیابی و کاهش سوگیری در الگوریتم‌های هوش مصنوعی ضروری است تا اطمینان حاصل شود که توصیه‌های عادلانه و بدون تبعیض برای همه افراد بدون توجه به پیشینه یا شرایطشان ارائه می‌شود (۶۳). همان‌طور که در متن اشاره شده است، مدل‌های یادگیری فدرال که بر داده‌های جمعیتی متنوع آموزش دیده‌اند، می‌توانند به تضمین توصیه‌های عادلانه در میان همه جمعیت‌ها کمک کنند.

حفظ حریم خصوصی داده‌ها، امنیت و امنیت سایبری: چارچوب‌های قوی امنیت سایبری برای حفاظت از داده‌های حساس پزشکی و سیستم‌های هوش مصنوعی در برابر تهدیدات سایبری خصمانه ضروری است. وابستگی فزاینده به سیستم‌های دیجیتال متصل در طب نظامی، آسیب‌پذیری‌های جدیدی ایجاد کرده که ممکن است توسط بازیگران مخرب برای نقض حریم خصوصی بیماران، اختلال در عملیات پزشکی یا حتی دستکاری الگوریتم‌های هوش مصنوعی به منظور ایجاد آسیب سوءاستفاده شود. تضمین یکپارچگی داده‌ها، محرمانگی و در دسترس بودن سیستم‌ها برای حفظ تداوم عملیاتی و حفاظت از حریم خصوصی بیماران در محیط‌های پرچالش حیاتی است. این امر مستلزم پیاده‌سازی پروتکل‌های امنیت سایبری مستحکم از جمله رمزنگاری، کنترل دسترسی، سیستم‌های تشخیص نفوذ و بازرسی‌های منظم امنیتی است. علاوه بر این، توسعه و اجرای برنامه‌های پاسخ به حادثه برای مقابله با حملات سایبری و نفوذهای داده‌ای ضروری است تا اطمینان حاصل شود عملیات پزشکی بدون وقفه ادامه یابد و داده‌های بیماران امن باقی بمانند (۶۴). با افزایش وابستگی به هوش مصنوعی، نیاز به اقدامات پیشگیرانه امنیت سایبری برای مقابله با تهدیدات در حال تحول و حفظ اعتماد به سیستم طب نظامی بیش از پیش اهمیت می‌یابد.

چالش‌ها: غلبه بر موانع به‌کارگیری مؤثر و اخلاقی هوش مصنوعی در طب نظامی

با وجود پتانسیل تحول‌آفرین هوش مصنوعی در طب نظامی، بهره‌برداری کامل از مزایای آن مستلزم پرداختن پیشگیرانه به مجموعه‌ای چندوجهی از چالش‌ها در زمینه‌های یکپارچه‌سازی فنی، عوامل انسانی، محدودیت‌های عملیاتی و ملاحظات اخلاقی است (۶۵). این چالش‌ها غیرقابل عبور نیستند اما نیازمند تلاش هماهنگ پژوهشگران، سیاست‌گذاران، پزشکان و فرماندهان نظامی برای تضمین به کارگیری مسئولانه و مؤثر هوش مصنوعی است.

یکپارچه‌سازی با سیستم‌های قدیمی و جزیره‌های داده: ادغام سیستم‌های هوش مصنوعی با زیرساخت‌های طب نظامی موجود که اغلب شامل فناوری‌های قدیمی، نرم‌افزارهای اختصاصی و داده‌های پراکنده است، چالشی فنی و پایدار به شمار می‌رود. استانداردهای داده ناهمگون، کیفیت نامتوازن داده‌ها و محدودیت اتصال در محیط‌های عملیاتی، پذیرش و ادغام روان الگوریتم‌های هوش مصنوعی را پیچیده می‌سازد (۶۶). غلبه بر این موانع نیازمند رویکردی استراتژیک و هماهنگ است که توسعه استانداردهای داده متن‌باز، پروتکل‌های تعامل‌پذیری و راهکارهای میان افزاری را در اولویت قرار دهد. این راهکارها باید بتوانند شکاف میان سیستم‌های قدیمی و پلتفرم‌های مدرن هوش مصنوعی را پر کنند و تبادل امن و کارآمد داده‌ها را ممکن سازند. همچنین سرمایه‌گذاری قابل توجهی برای به‌روزرسانی زیرساخت‌ها، ارتقای اتصال در محیط‌های عملیاتی و استانداردسازی و اعتبارسنجی داده‌ها جهت پشتیبانی از تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی لازم است. به‌علاوه، تکنیک‌های یادگیری فدرال می‌توانند امکان آموزش مدل‌های هوش مصنوعی روی داده‌های متنوع بدون به خطر انداختن حریم خصوصی یا امنیت داده‌ها را فراهم کنند اما این روش‌ها باید با دقت اجرا شوند تا سوگیری‌های احتمالی کاهش یافته و نتایج عادلانه تضمین شود (۶۷).

رفع مقاومت پزشکان و تقویت اعتماد: مقاومت در برابر پذیرش هوش مصنوعی در میان کادر پزشکی که اغلب ناشی از کمبود اعتماد، دانش ناکافی در زمینه هوش مصنوعی و نگرانی از جایگزینی شغل است، نیازمند برنامه‌های آموزشی جامع و بهینه‌سازی رابط‌های انسان– ماشین است (۶۸). بسیاری از متخصصان طب نظامی ممکن است نسبت به سیستم‌های هوش مصنوعی بدبین باشند و نگران باشند که این فناوری‌ها جایگزین قضاوت انسانی شوند، ریسک‌های جدیدی به فرایندهای بالینی وارد کنند یا استقلال آنان را تضعیف نمایند. برای غلبه بر این مقاومت و ایجاد اعتماد، ارائه برنامه‌های آموزشی کامل که توانمندی‌ها، محدودیت‌ها و ملاحظات اخلاقی هوش مصنوعی را به پزشکان آموزش دهد ضروری است. این آموزش‌ها باید نقش هوش مصنوعی را به عنوان ابزاری برای پشتیبانی تصمیم‌گیری که تخصص انسانی را تقویت می‌کند، نه جایگزین آن، برجسته سازند (۶۹). همچنین مشارکت پزشکان در طراحی و توسعه سیستم‌های هوش مصنوعی برای اطمینان از طراحی رابط‌های کاربری شهودی، کاربرپسند و هماهنگ با جریان‌های کاری بالینی حیاتی است. به علاوه، اجرای وقفه‌های بازبینی هوش مصنوعی که پزشکان را ملزم می‌کند پیش از نهایی کردن برنامه‌های درمانی، پیشنهادات الگوریتمی را با اهداف مراقبتی ثبت شده و ارزش‌های بیمار تطبیق دهند، می‌تواند اعتماد را افزایش داده و استفاده از هوش مصنوعی را به گونه‌ای تضمین کند که از قضاوت بالینی انسانی حمایت کند (۷۰).

عملکرد در محیط‌های محدود از نظر منابع: عملیات طب نظامی اغلب در محیط‌هایی با محدودیت‌های زیست‌محیطی مانند پهنای باند محدود، تأمین برق ناپایدار و شرایط سخت میدان نبرد انجام می‌شود. این محدودیت‌ها می‌توانند دامنه به‌کارگیری پلتفرم‌های پیچیده هوش مصنوعی که به منابع محاسباتی بالا، اتصال قابل اعتماد و محیط‌های پایدار نیاز دارند را به شدت محدود کنند (۷۱). توسعه راهکارهای هوش مصنوعی مقاوم و کم‌مصرف که متناسب با این محدودیت‌ها باشد، برای قابلیت عملیاتی حیاتی است. این امر مستلزم تمرکز بر الگوریتم‌های سبک‌وزن، راهکارهای محاسبات لبه‌ای و سخت‌افزارهای کم‌مصرف انرژی است که بتوانند در محیط‌های سخت به طور مؤثر عمل کنند (۷۲). همچنین طراحی سیستم‌هایی که در برابر فساد داده، قطعی شبکه و سایر چالش‌های محیطی مقاوم باشند، ضروری است.

تضمین به‌کارگیری اخلاقی و عادلانه هوش مصنوعی: عملیات طب نظامی معمولاً در زمینه‌های اخلاقی حساس انجام می‌شود که تصمیمات تخصیص منابع می‌تواند پیامدهای حیاتی داشته باشد (۲۲). بنابراین، طراحی و به‌کارگیری سیستم‌های هوش مصنوعی باید منعکس‌کننده ارزش‌های اخلاقی بنیادین و ترویج عدالت و برابری برای تمام پرسنل نظامی باشد (۷۳).

هوش مصنوعی شفاف و قابل تبیین: الگوریتم‌های هوش مصنوعی به ویژه آن‌هایی که در تصمیم‌گیری‌های حساس کاربرد دارند، باید شفاف و قابل تبیین باشند (۷۴). به این معنا که پزشکان و فرماندهان باید بتوانند فرآیند رسیدن هوش مصنوعی به توصیه‌هایش را درک و داده‌ها و منطق پشت آن را بررسی کنند. الگوریتم‌های جعبه سیاه که بینش کمی درباره فرایند تصمیم‌گیری ارائه می‌دهند، برای طب نظامی مناسب نیستند زیرا اعتماد را تضعیف کرده و شناسایی و اصلاح خطاها یا سوگیری‌ها را دشوار می‌سازند (۷۵).

طراحی انسان‌محور: سیستم‌های هوش مصنوعی باید با رویکردی انسان‌محور طراحی شوند که نیازها و ارزش‌های پرسنل نظامی را در اولویت قرار دهد. این بدان معناست که ابزارهای هوش مصنوعی باید آسان برای استفاده، شهودی و هماهنگ با جریان‌های کاری بالینی موجود باشند (۷۶). همچنین باید به گونه‌ای طراحی شوند که تخصص انسانی را تقویت کرده و جایگزین آن نشوند به طوری که پزشکان بتوانند تصمیمات آگاهانه‌تری اتخاذ کرده و

کنترل نهایی را حفظ کنند. اجرای وقفه‌های بازبینی هوش مصنوعی که پزشکان را ملزم می‌کند پیشنهادات الگوریتمی را با اهداف مراقبتی و ارزش‌های بیمار تطبیق دهند، به ایجاد اعتماد و حمایت از قضاوت بالینی انسانی کمک می‌کند (۷۷).

نظارت و ارزیابی مستمر: عملکرد سیستم‌های هوش مصنوعی باید به طور مستمر پایش و ارزیابی شود تا اطمینان حاصل شود که آن‌ها به درستی عمل می‌کنند و عواقب ناخواسته ایجاد نمی‌کنند (۷۸). این شامل رصد شاخص‌های کلیدی مانند دقت تشخیص، اثربخشی درمان و رضایت بیماران و همچنین بررسی سوگیری‌ها یا نابرابری‌های احتمالی در توصیه‌های هوش مصنوعی است. انجام ممیزی‌های منظم برای ارزیابی تطابق اخلاقی و قانونی سیستم‌ها و ایجاد سازوکارهایی برای رفع مشکلات شناسایی شده ضروری است (۷۹).

فناوری‌های هوش مصنوعی در حال ایجاد تحولی بنیادین در طب نظامی هستند و پتانسیل افزایش دقت تشخیص، کارایی عملیاتی و تاب‌آوری لجستیکی را دارند. با این حال، تحقق این پتانسیل نیازمند رویکردی پیشگیرانه و جامع برای پرداختن به چالش‌های اخلاقی، فنی و انسانی است. با اولویت دادن به شفافیت، قابلیت تبیین، عدالت، امنیت و طراحی انسان‌محور، جامعه طب نظامی می‌تواند از قدرت هوش مصنوعی برای بهبود سلامت و رفاه پرسنل نظامی بهره‌مند شود و در عین حال بالاترین استانداردهای اخلاقی را حفظ کند.

بحث

ادغام هوش مصنوعی در طب نظامی، تحولی بنیادین را رقم زده است که قابلیت‌های تحول‌آفرینی را معرفی می‌کند و مراقبت از مجروحان جنگی، کارایی عملیاتی و برنامه‌ریزی راهبردی پزشکی را بهبود می‌بخشد. بحث حاضر با تلفیق یافته‌های منابع مختلف، به‌طور انتقادی به بررسی پیامدها، چالش‌ها و مسیرهای آینده هوش مصنوعی در حوزه بهداشت و درمان نظامی می‌پردازد (شکل ۱).

شکل-۱. کاربردهای هوش مصنوعی در طب نظامی

تأثیر بالینی

سیستم‌های تشخیصی مبتنی بر هوش مصنوعی، پزشکی میدان نبرد را متحول کرده‌اند و امکان ارزیابی‌های سریع و دقیق را در محیط‌های با منابع محدود و محیط‌های پر استرس فراهم ساخته‌اند (۸۰). مدل‌های یادگیری عمیق که با پلتفرم‌های جراحی رباتیک یکپارچه شده‌اند، مداخلات دقیق و پیشرفته‌ای را ممکن می‌سازند که پیش‌تر در شرایط به‌کارگیری در خطوط مقدم قابل دستیابی نبود. به عنوان مثال، شبکه‌های عصبی کانولوشنی برای تفسیر تصاویر تروما به کار می‌روند و خونریزی‌های داخل جمجمه‌ای و شکستگی‌های پیچیده را با دقت بی‌سابقه‌ای شناسایی می‌کنند.

این سیستم‌ها زمان تشخیص را کاهش داده و به نیروهای پزشکی امکان می‌دهند در حوادث با تعداد بالای مجروح، آسیب‌های حیاتی را در اولویت قرار دهند.

حسگرهای زیستی پوشیدنی که با تحلیل‌های هوش مصنوعی تقویت شده‌اند، به‌طور مستمر پارامترهای فیزیولوژیکی مانند تغییرات ضربان قلب، اشباع اکسیژن و دمای مرکزی بدن را پایش می‌کنند. الگوریتم‌های پیش‌بینی این جریان‌های داده را به صورت لحظه‌ای تحلیل کرده و قادر به پیش‌بینی افت عملکرد فیزیولوژیکی هستند که این امر امکان مداخلات پیشگیرانه را فراهم می‌سازد؛ موضوعی حیاتی در سناریوهای مراقبت طولانی‌مدت میدانی که تأخیر در تخلیه اجتناب‌ناپذیر است. این فناوری‌ها همچنین قابلیت‌های نظارت از راه دور را پشتیبانی می‌کنند تا مراکز فرماندهی متمرکز بتوانند آگاهی موقعیتی از وضعیت سلامت نیروها در مناطق عملیاتی پراکنده را حفظ کنند.

هوش مصنوعی همچنین پیشرفت‌های قابل توجهی در درمان اختلالات روانپزشکی عصبی شایع در میان رزمندگان داشته است. مدل‌های یادگیری ماشین که بر اساس داده‌های گسترده نظامی آموزش دیده‌اند، امکان شناسایی زودهنگام اختلال استرس پس از سانحه و آسیب‌های مغزی تروماتیک را فراهم می‌کنند. با بهره‌گیری از داده‌های چندوجهی– از یادداشت‌های بالینی گرفته تا داده‌های حسگرهای بیومتریک– این سیستم‌ها راهبردهای درمانی شخصی‌سازی شده‌ای ارائه می‌دهند که به بهبود نتایج بلندمدت کمک می‌کند.

هم‌افزایی‌های عملیاتی و لجستیکی

نقش هوش مصنوعی فراتر از کاربردهای بالینی رفته و در حوزه لجستیک عملیاتی نیز به افزایش چابکی و پاسخگویی کمک می‌کند. سیستم‌های خودکار تریاژ که از یادگیری تقویتی بهره می‌برند، به‌صورت پویا مجروحان را بر اساس شدت آسیب، میزان منابع موجود و زمان‌بندی تخلیه اولویت‌بندی می‌کنند. این سیستم‌ها با تسهیل فرآیند تصمیم‌گیری در شرایط نامطمئن، نتایج بقای مجروحان را در حوادث با تعداد زیاد بهینه می‌سازند. پلتفرم‌های درخواست جابجایی بیماران که به هوش مصنوعی مجهز شده‌اند، اطلاعات جغرافیایی فضایی را با وضعیت دارایی‌های حمل‌ونقل ترکیب کرده و مسیرهای تخلیه را بهینه می‌کنند. تحلیل‌های لحظه‌ای ترافیک و شرایط تهدید، انتخاب مسیر را بهبود می‌بخشد و ایمنی مجروحان در حین انتقال را تضمین کرده و تأخیرها را به حداقل می‌رساند. این سیستم‌ها هماهنگی عملیات تخلیه پزشکی هوایی بین واحدهای میدانی و مراکز درمانی را به طور قابل توجهی ارتقاء می‌دهند. ابزارهای پردازش زبان طبیعی از سوابق الکترونیکی سلامت پراکنده و گزارش‌های میدانی ساختارنیافته در محیط‌های سخت، اطلاعات قابل استفاده استخراج می‌کنند. این ابزارها با خلاصه‌سازی اطلاعات حیاتی، تصمیم‌گیری بالینی سریع را حتی در شرایط محدودیت پهنای باند تسهیل می‌کنند. مستندسازی مبتنی بر ابزارهای پردازش زبان طبیعی همچنین از بررسی‌های پس از عملیات و ابتکارات بهبود کیفیت پشتیبانی می‌کند. پلتفرم‌های فرماندهی و کنترل مجهز به هوش مصنوعی، جریان‌های داده چندمنبعی از جمله خروجی حسگرهای زیستی، حسگرهای محیطی و گزارش‌های اپیدمیولوژیک را تجمیع کرده و نظارت سلامت میدان نبرد را در زمان واقعی ممکن می‌سازند. الگوریتم‌های مدل‌سازی پیش‌بینی، شیوع بیماری‌های نوظهور یا الگوهای آسیب را شناسایی می‌کنند و به فرماندهان امکان می‌دهند اقدامات پیشگیرانه را به‌موقع اجرا کرده و تخصیص منابع را بهینه نمایند.

ملاحظات اخلاقی و عوامل انسانی

با وجود پتانسیل تحول‌آفرین، به‌کارگیری هوش مصنوعی در طب نظامی پرسش‌های پیچیده اخلاقی را مطرح می‌کند که نیازمند بررسی دقیق است. سیستم‌های خودکار باید در چارچوب‌های قانونی و اخلاقی مشخص عمل کنند تا از آسیب‌های ناخواسته جلوگیری شود. نظارت انسانی برای تفسیر توصیه‌های هوش مصنوعی در سناریوهای حساس اخلاقی مانند اولویت‌بندی تریاژ یا تصمیمات پایان زندگی همچنان ضروری است. سوگیری الگوریتمی ناشی از داده‌های آموزشی غیرنماینده، خطر ارائه مراقبت نابرابر در میان جمعیت‌های متنوع نظامی را به همراه دارد. اعتبارسنجی مستمر مدل‌های هوش مصنوعی با استفاده از داده‌های نماینده جمعیتی برای کاهش این ریسک‌ها حیاتی است. علاوه بر این تدابیر قوی امنیت سایبری باید از داده‌های حساس پزشکی در برابر دستکاری‌های خصمانه که می‌تواند یکپارچگی عملیاتی یا محرمانگی بیماران را به خطر اندازد، محافظت کند. مقاومت در برابر پذیرش هوش مصنوعی در میان کادر پزشکی به دلیل کمبود اعتماد، نیازمند برنامه‌های آموزشی جامع با تمرکز بر دینامیک همکاری انسان–ماشین است. ایجاد اعتماد از طریق الگوریتم‌های شفاف و ویژگی‌های هوش مصنوعی قابل توضیح، برای ادغام موفق این فناوری در جریان‌های کاری بهداشت و درمان نظامی حیاتی است.

جهت‌گیری‌های آینده

مسیر پیشروی هوش مصنوعی در طب نظامی به سمت سیستم‌های فزاینده خودکار است که قادر خواهند بود جریان‌های داده ناهمگن– از داده‌های ژنومی تا حسگرهای محیطی– را یکپارچه کرده و مراقبت‌های دقیق و جامع ارائه دهند (۸۱). چند حوزه کلیدی برای بررسی و توسعه وجود دارد که به آن‌ها اشاره می شود:

پیشرفت در هوش مصنوعی قابل تبیین: فناوری‌های هوش مصنوعی قابل تبیین نقش محوری در ایجاد اعتماد میان کادر پزشکی ایفا خواهند کرد زیرا بینش‌های شفاف و قابل فهمی از فرایندهای تصمیم‌گیری الگوریتمی ارائه می‌دهند. افزایش قابلیت تبیین، شک و تردید نسبت به سیستم‌های خودکار را کاهش داده و در سناریوهای حیاتی، پاسخگویی را تضمین می‌کند (۸۲).

ادغام چندوجهی: سیستم‌های آینده هوش مصنوعی داده‌های متنوعی از منابع مختلف– از جمله حسگرهای زیستی پوشیدنی، روش‌های تصویربرداری، توالی‌یابی ژنوم و پایش محیطی– را

ترکیب خواهند کرد تا پروفایل‌های سلامت جامع و شخصی‌سازی شده‌ای ایجاد کنند که راهنمای استراتژی‌های درمانی فردی باشد (۸۳). این رویکرد چندوجهی امکان تطبیق پویا با شرایط متغیر میدان نبرد را فراهم می‌آورد.

چارچوب‌های همکاری: همکاری میان مؤسسات بهداشت نظامی و سازمان‌های تحقیقاتی غیرنظامی نوآوری را تسریع کرده و ملاحظات اخلاقی را به‌طور جامع‌تر پوشش خواهد داد (۸۴). تبادل تخصص‌ها توسعه پروتکل‌های استاندارد برای به‌کارگیری هوش مصنوعی در زمینه‌های عملیاتی متنوع را تسهیل می‌کند.

تیم‌سازی انسان- ماشین: سرمایه‌گذاری در برنامه‌های آموزشی متمرکز بر پویایی تیمی انسان و ماشین برای غلبه بر موانع فرهنگی پذیرش ضروری است. این برنامه‌ها باید بر جریان‌های کاری مشترک تأکید کنند که در آن قضاوت انسانی مکمل هوش ماشینی بوده و جایگزین آن نمی‌شود (۸۵).

فناوری‌های نوظهور: فناوری‌های نوظهوری مانند پروتکل‌های بیواستازی و جراحی از راه دور نویدبخش افزایش ساعت طلایی در مراقبت از مجروحان جنگی هستند (۸۶). تکنیک‌های بیواستازی با هدف تثبیت موقت مجروحان تا زمان ارائه مراقبت قطعی طراحی شده‌اند در حالی که جراحی از راه دور امکان انجام مداخلات حیاتی توسط متخصصان از طریق پلتفرم‌های رباتیک مستقر در میدان نبرد را فراهم می‌کند.

زیست‌شناسی مصنوعی: زیست‌شناسی مصنوعی از طریق نوآوری‌هایی مانند محصولات خونی مصنوعی یا داروهای زیستی تولید شده با فناوری‌های ساخت افزودنی پتانسیل تحول‌آفرینی در طب نظامی دارد (۸۷). این پیشرفت‌ها می‌توانند زنجیره تأمین را با تولید به‌موقع منابع پزشکی حیاتی در عملیات‌های رزمی متحول کنند (۸۸).

تحلیل‌های پیش‌بینی: تحلیل‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی برنامه‌ریزی لجستیکی را با پیش‌بینی نوسانات تقاضا برای تجهیزات پزشکی یا به‌کارگیری پرسنل بر اساس داده‌های تاریخی و شرایط میدان نبرد بهبود می‌بخشند (۸۹). این قابلیت‌ها تخصیص منابع را بهینه کرده و از اتلاف یا کمبود در عملیات‌های پرشتاب جلوگیری می‌کنند.

محدودیت‌ها

در حالی که روش‌شناسی و اجرای این مطالعه تجزیه و تحلیل جامعی را ارائه می دهد، باید به محدودیت‌های خاصی اذعان کرد که عبارت بودند از: اتکا به مقالات منتشر شده انگلیسی و فارسی زبان ممکن است مطالعات مرتبط منتشر شده به زبان‌های دیگر را حذف کرده باشد؛ بینش‌های عملیاتی از برنامه‌های نظامی طبقه‌بندی‌شده ممکن است به دلیل دسترسی محدود و ماهیت حساس این اطلاعات به طور کامل ارائه نشده باشند؛ تکامل سریع فناوری‌های هوش مصنوعی نیازمند به‌روزرسانی‌های دوره‌ای است تا اطمینان حاصل شود که یافته‌ها جاری و مرتبط هستند؛ و به عنوان یک مرور روایی، ترکیب شواهد ذاتاً ذهنی است و علی‌رغم تلاش‌ها برای به حداقل رساندن این امر از طریق یک روش‌شناسی نظام‌مند و شفاف، ممکن است در معرض سوگیری تفسیر قرار گیرد. با وجود این محدودیت‌ها، این مطالعه مبنای محکمی را برای درک پتانسیل تحول‌آفرین هوش مصنوعی در طب نظامی فراهم می‌کند و بینش‌های ارزشمندی را برای محققان، سیاست‌گذاران و پزشکانی ارائه می‌دهد که به دنبال استفاده از هوش مصنوعی برای بهبود مراقبت‌های بهداشتی نظامی هستند.

نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی به طور بنیادین در حال تحول طب نظامی است و با افزایش دقت تشخیص، بهبود جریان‌های کاری عملیاتی و امکان‌پذیر ساختن مداخلات درمانی نوآورانه در محیط‌های سخت و پرخطر رزمی نقش محوری ایفا می‌کند. این فناوری ظرفیت نظام سلامت نظامی را برای ارائه مراقبت‌های به‌موقع، دقیق و مؤثر در شرایط بحرانی به طور چشمگیری ارتقا می‌دهد و چشم‌انداز آینده مدیریت مجروحان جنگی را دگرگون می‌سازد. در سطح بالینی، هوش مصنوعی سرعت و دقت تشخیص آسیب‌های حیاتی را افزایش داده و با ادغام در پلتفرم‌های جراحی رباتیک، مراقبت‌های پیشرفته و کم‌تهاجمی را در خطوط مقدم ممکن ساخته است. از منظر عملیاتی و لجستیکی، سیستم‌های تریاژ خودکار، بهینه‌سازی مسیرهای تخلیه و تحلیل‌های پیش‌بینی، کارایی و پاسخگویی را در میدان نبرد بهبود می‌بخشند. علاوه بر این، هوش مصنوعی در حوزه پیشگیری و بازتوانی نیز نقش مهم و رو به گسترشی دارد. با

نکات بالینی کاربردی برای جوامع نظامی

- هوش مصنوعی در طب نظامی نقشی حیاتی و تحول‌آفرین ایفا می‌کند که مستقیماً بر بهبود عملکرد نیروهای نظامی تأثیرگذار است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که هوش مصنوعی با تسریع تشخیص آسیب‌ها و بیماری‌ها، تسهیل تریاژ خودکار و پشتیبانی از تصمیم‌گیری بالینی، کیفیت مراقبت‌های پزشکی در میدان نبرد را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد. فناوری‌های هوشمند در پیشگیری از آسیب‌ها و اختلالات روانی، حفظ سلامت و تاب‌آوری پرسنل نظامی نقش مؤثری دارند. در حوزه بازتوانی استفاده از ربات‌های توانبخشی و شبیه‌سازی‌های واقعیت مجازی، روند بازگشت سریع‌تر نیروهای آسیب‌دیده به خدمت را تسهیل می‌کند. علاوه بر این، الگوریتم‌های هوش مصنوعی با بهینه‌سازی زنجیره تأمین تجهیزات پزشکی، دسترسی به منابع حیاتی را در شرایط بحرانی تضمین می‌کنند. این کاربردها، ضمن تمرکز بر تخصص طب نظامی، ظرفیت عملیاتی و آمادگی رزمی نیروهای نظامی را به طور قابل توجهی ارتقاء می‌بخشند.

تحلیل داده‌های بیومتریک، سوابق پزشکی و اطلاعات محیطی، هوش مصنوعی می‌تواند الگوهای خطر را شناسایی کرده و هشدارهای زودهنگام درباره بروز بیماری‌ها، آسیب‌ها یا اختلالات روانی ارائه دهد. همچنین، فناوری‌های نوین مانند ربات‌های توانبخشی، واقعیت مجازی و افزوده و سیستم‌های بازخورد هوشمند امکان طراحی برنامه‌های بازتوانی شخصی‌سازی‌شده و مؤثر را فراهم می‌آورند که روند بهبود و بازگشت به خدمت نیروهای آسیب‌دیده را تسریع می‌کند. در حوزه مدیریت تدارکات و منابع بازتوانی نیز الگوریتم‌های هوش مصنوعی با پیش‌بینی نیازها و بهینه‌سازی زنجیره تأمین، دسترسی به منابع حیاتی را تضمین کرده و از بروز کمبودها در شرایط بحرانی جلوگیری می‌کنند. با این حال چالش‌های اخلاقی، امنیت سایبری و موانع فنی همچنان نیازمند توجه جدی هستند. آینده هوش مصنوعی در طب نظامی به سمت سیستم‌های خودکار، چندوجهی و قابل تبیین پیش می‌رود که با همکاری میان‌بخشی و آموزش تیم‌های انسان– ماشین، نویدبخش تحولی پایدار و اخلاقی در مراقبت‌های نظامی است. این مسیر مستلزم سرمایه‌گذاری مداوم در توسعه فناوری، تدوین چارچوب‌های اخلاقی و امنیتی و ارتقاء مهارت‌های نیروی انسانی است تا هوش مصنوعی بتواند به عنوان ابزاری قدرتمند و مسئولانه در خدمت سلامت و آمادگی نیروهای نظامی باقی بماند.

تشکر و قدردانی: با تشکر از همکاری و مشاوره‌های واحد توسعه تحقیقات بالینی بیمارستان بقیه‌الله (عج).

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Anagnostou E, Michas A, Giannou C. Practicing military medicine in truly austere environments: what to expect, how to prepare, when to improvise. Military Medicine. 2020;185(5-6):e656-61. doi:10.1093/milmed/usz467
2. Akbariqomi M, Elmi T, Chamanara M, Heidari R. An overview of stem cells applications in Military Medicine. Journal of Military Medicine. 2022;24(6):1358-71. doi:10.30491/JMM.24.6.1358
3. Kabashkin I, Misnevs B, Zervina O. Artificial intelligence in aviation: New professionals for new technologies. Applied Sciences. 2023;13(21):11660. doi:10.3390/app132111660
4. Alruwaili A, Khorram-Manesh A, Ratnayake A, Robinson Y, Goniewicz K. Supporting the frontlines: A scoping review addressing the health challenges of military personnel and veterans. Healthcare. 2023;11(21):2870. doi:10.3390/healthcare11212870
5. Khorram-Manesh A, Goniewicz K, Burkle FM, Robinson Y. Review of military casualties in modern conflicts—the re-emergence of casualties from armored warfare. Military Medicine. 2022;187(3-4):e313-21. doi:10.1093/milmed/usab108
6. Junaid SB, Imam AA, Balogun AO, De Silva LC, Surakat YA, Kumar G, et al. Recent advancements in emerging technologies for healthcare management systems: a survey. Healthcare. 2022;10(10):1940. doi:10.3390/healthcare10101940
7. Aldoseri A, Al-Khalifa KN, Hamouda AM. Methodological approach to assessing the current state of organizations for AI-Based digital transformation. Applied System Innovation. 2024;7(1):14. doi:10.3390/asi7010014
8. Williamson SM, Prybutok V. Balancing privacy and progress: a review of privacy challenges, systemic oversight, and patient perceptions in AI-driven healthcare. Applied Sciences. 2024;14(2):675. doi:10.3390/app14020675
9. Viderman D, Ayazbay A, Kalzhan B, Bayakhmetova S, Tungushpayev M, Abdildin Y. Artificial Intelligence in the Management of Patients with Respiratory Failure Requiring Mechanical Ventilation: A Scoping Review. Journal of Clinical Medicine. 2024;13(24):7535. doi:10.3390/jcm13247535
10. Misseri G, Piattoli M, Cuttone G, Gregoretti C, Bignami EG. Artificial Intelligence for Mechanical Ventilation: A Transformative Shift in Critical Care. Therapeutic Advances in Pulmonary and Critical Care Medicine. 2024;19:29768675241298918. doi:10.1177/29768675241298918
11. Tedla A, Asnakew S, Legas G, Munie BM, Tareke M, Beka M. Post-traumatic stress disorder among military personnel admitted at the Northwest Command Level Three Military Hospital, Bahir Dar, Ethiopia, 2022: an institution-based cross-sectional study. Frontiers in Psychiatry. 2024;15:1410630. doi:10.3389/fpsyt.2024.1410630
12. Cruz-Gonzalez P, He AW, Lam EP, Ng IM, Li MW, Hou R, et al. Artificial intelligence in mental health care: a systematic review of diagnosis, monitoring, and intervention applications. Psychological Medicine. 2025;55:e18. doi:10.1017/S0033291724003295
13. Haque MR, Rubya S. An overview of chatbot-based mobile mental health apps: insights from app description and user reviews. JMIR mHealth and uHealth. 2023;11(1):e44838. doi:10.2196/44838
14. Elhaddad M, Hamam S. AI-driven clinical decision support systems: an ongoing pursuit of potential. Cureus. 2024;16(4):57728. doi:10.7759/cureus.57728
15. Peek N, Capurro D, Rozova V, van der Veer SN. Bridging the Gap: Challenges and Strategies for the Implementation of Artificial Intelligence-based Clinical Decision Support Systems in Clinical Practice. Yearbook of Medical Informatics. 2024;33(01):103-14. doi:10.1055/s-0044-1800729
16. Da'Costa A, Teke J, Origbo JE, Osonuga A, Egbon E, Olawade DB. Ai-driven triage in emergency departments: A review of benefits, challenges, and future directions. International

Journal of Medical Informatics. 2025:105838. doi:10.1016/j.ijmedinf.2025.105838
17. Jude T. AI, Bioterrorism, and National Security: A Framework for Risk Assessments. 2025.
18. Areo G. The Role of AI in Biosecurity: Balancing Innovation and Risk Mitigation. 2025.
19. Vaidya R, Bobdey S. Medical ethics during armed conflicts: dilemmas of a physician soldier. Medical Journal Armed Forces India. 2021; 77(4):377-81. doi:10.1016/j.mjafi.2021.08.013
20. González-Arencibia M, Ordoñez-Erazo H, González-Sanabria JS. Explainable Artificial Intelligence as an Ethical Principle. Ingeniería. 2024;29(2).
21. Papagiannidis E, Mikalef P, Conboy K. Responsible artificial intelligence governance: A review and research framework. The Journal of Strategic Information Systems. 2025;34(2):101885. doi:10.1016/j.jsis.2024.101885
22. Elgin CY, Elgin C. Ethical implications of AI-driven clinical decision support systems on healthcare resource allocation: a qualitative study of healthcare professionals' perspectives. BMC Medical Ethics. 2024;25(1):148. doi:10.1186/s12910-024-01151-8
23. Soori M, Arezoo B, Dastres R. Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review. Cognitive Robotics. 2023;3:54-70. doi:10.1016/j.cogr.2023.04.001
24. Tulli SK. Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review. International Journal of Acta Informatica. 2024;3(1):35-58.
25. Bienefeld N, Keller E, Grote G. AI Interventions to Alleviate Healthcare Shortages and Enhance Work Conditions in Critical Care: Qualitative Analysis. Journal of Medical Internet Research. 2025;27:e50852. doi:10.2196/50852
26. Meyer N, Ullrich L, Goldsmith Z. Applications of Artificial Intelligence in Military Medicine. Artificial Intelligence in Medicine and Surgery: An Exploration of Current Trends, Potential Opportunities, and Evolving Threats-Volume 2. 2024:119.
27. Peacock JG, Cole R, Duncan J, Jensen B, Snively B, Samuel A. Transforming Military Healthcare Education and Training: AI Integration for Future Readiness. Military Medicine. 2025:usaf169. doi:10.1093/milmed/usaf169
28. Spirnak JR, Antani S. The need for artificial intelligence curriculum in military medical education. Military Medicine. 2024;189(5-6):954-8. doi:10.1093/milmed/usad412
29. Riggenbach ZW, Van Eaton J, Kelly AA, Kim HE, Bingham JR. AI on the Front Lines: A Primer for the Military Health Professional. Military Medicine. 2025:usaf165. doi:10.1093/milmed/usaf165
30. Krishnan G, Singh S, Pathania M, Gosavi S, Abhishek S, Parchani A, et al. Artificial intelligence in clinical medicine: catalyzing a sustainable global healthcare paradigm. Frontiers in Artificial Intelligence. 2023;6:1227091. doi:10.3389/frai.2023.1227091
31. Alum EU, Ugwu OP. Artificial intelligence in personalized medicine: transforming diagnosis and treatment. Discover Applied Sciences. 2025;7(3): 193. doi:10.1007/s42452-025-06625-x
32. Hilty D, Peled A, Luxton DD. Predictive Modeling, Artificial Intelligence, and Machine Learning in Psychiatric Assessment and Treatment. Tasman's Psychiatry. Cham: Springer International Publishing; 2020. p. 1-22. doi:10.1007/978-3-030-42825-9_152-1
33. Sabry F, Eltaras T, Labda W, Alzoubi K, Malluhi Q. Machine learning for healthcare wearable devices: the big picture. Journal of Healthcare Engineering. 2022;2022(1):4653923. doi:10.1155/2022/4653923
34. Rasa AR. Artificial intelligence and its revolutionary role in physical and mental rehabilitation: a review of recent advancements. BioMed Research International. 2024;2024(1): 9554590. doi:10.1155/bmri/9554590
35. Kanade A, Sharma M, Manivannan M. Virtual Reality, Robotics, and Artificial Intelligence: Technological Interventions in Stroke Rehabilitation. The Internet of Medical Things (IoMT) and Telemedicine Frameworks and Applications. IGI Global; 2023. pp. 105-23. doi:10.4018/978-1-6684-3533-5.ch005
36. Sumner J, Lim HW, Chong LS, Bundele A, Mukhopadhyay A, Kayambu G. Artificial intelligence in physical rehabilitation: A systematic review. Artificial Intelligence in Medicine. 2023; 146:102693. doi:10.1016/j.artmed.2023.102693
37. Chen W, Men Y, Fuster N, Osorio C, Juan AA. Artificial intelligence in logistics optimization with sustainable criteria: A review. Sustainability. 2024;16(21):9145. doi:10.3390/su16219145
38. Morone G, De Angelis L, Cinnera AM, Carbonetti R, Bisirri A, Ciancarelli I, et al. Artificial intelligence in clinical medicine: a state-of-the-art overview of systematic reviews with methodological recommendations for improved reporting. Frontiers in Digital Health. 2025;7:1550731. doi:10.3389/fdgth.2025.1550731
39. Alon I, Haidar H, Haidar A, Guimón J. The future of artificial intelligence: Insights from recent Delphi studies. Futures. 2025;165:103514. doi:10.1016/j.futures.2024.103514
40. Ali O, Abdelbaki W, Shrestha A, Elbasi E, Alryalat MA, Dwivedi YK. A systematic literature review of artificial intelligence in the healthcare sector: Benefits, challenges, methodologies, and functionalities. Journal of Innovation & Knowledge. 2023;8(1):100333. doi:10.1016/j.jik.2023.100333
41. Shahin M, Chen FF, Hosseinzadeh A, Maghanaki M. Deploying deep convolutional neural network to the battle against cancer: Towards flexible healthcare systems. Informatics in Medicine Unlocked. 2024;47:101494. doi:10.1016/j.imu.2024.101494
42. Agrawal D, Poonamallee L, Joshi S, Bahel V. Automated intracranial hemorrhage detection in traumatic brain injury using 3D CNN. Journal of

Neurosciences in Rural Practice. 2023;14(4):615-21. doi:10.25259/JNRP_172_2023
43. Maleki Varnosfaderani S, Forouzanfar M. The role of AI in hospitals and clinics: transforming healthcare in the 21st century. Bioengineering. 2024;11(4):337. doi:10.3390/bioengineering11040337
44. Zhang J, Richardson JD, Dunkley BT. Classifying post-traumatic stress disorder using the magnetoencephalographic connectome and machine learning. Scientific Reports. 2020;10(1):5937. doi:10.1038/s41598-020-62713-5
45. Schultebraucks K, Qian M, Abu-Amara D, Dean K, Laska E, Siegel C, et al. Pre-deployment risk factors for PTSD in active-duty personnel deployed to Afghanistan: a machine-learning approach for analyzing multivariate predictors. Molecular Psychiatry. 2021;26(9):5011-22. doi:10.1038/s41380-020-0789-2
46. Picozzi P, Nocco U, Labate C, Gambini I, Puleo G, Silvi F, et al. Advances in Robotic Surgery: A Review of New Surgical Platforms. Electronics. 2024;13(23):4675. doi:10.3390/electronics13234675
47. Iftikhar M, Saqib M, Zareen M, Mumtaz H. Artificial intelligence: revolutionizing robotic surgery. Annals of Medicine and Surgery. 2024;86(9):5401-9. doi:10.1097/MS9.0000000000002426
48. Knudsen JE, Ghaffar U, Ma R, Hung AJ. Clinical applications of artificial intelligence in robotic surgery. Journal of Robotic Surgery. 2024;18(1):102. doi:10.1007/s11701-024-01867-0
49. Yammouri G, Ait Lahcen A. AI-reinforced wearable sensors and intelligent point-of-care tests. Journal of Personalized Medicine. 2024;14(11):1088. doi:10.3390/jpm14111088
50. Linh VT, Han S, Koh E, Kim S, Jung HS, Koo J. Advances in wearable electronics for monitoring human organs: Bridging external and internal health assessments. Biomaterials. 2025;314:122865. doi:10.1016/j.biomaterials.2024.122865
51. Vo DK, Trinh KT. Advances in Wearable Biosensors for Healthcare: Current Trends, Applications, and Future Perspectives. Biosensors. 2024;14(11):560. doi:10.3390/bios14110560
52. Bhuyan SS, Sateesh V, Mukul N, Galvankar A, Mahmood A, Nauman M, et al. Generative Artificial Intelligence Use in Healthcare: Opportunities for Clinical Excellence and Administrative Efficiency. Journal of Medical Systems. 2025;49(1):10. doi:10.1007/s10916-024-02136-1
53. Bazyar J, Farrokhi M, Salari A, Safarpour H, Khankeh HR. Accuracy of triage systems in disasters and mass casualty incidents; a systematic review. Archives of Academic Emergency Medicine. 2022;10(1):e32. doi:10.22037/aaem.v10i1.1526
54. Pundkar A, Gadkari C, Patel A, Kumar A. Transforming emergency medicine with artificial intelligence: From triage to clinical decision support. Multidisciplinary Reviews. 2025;8(10):2025285-.
55. Ye J, Woods D, Jordan N, Starren J. The role of artificial intelligence for the application of integrating electronic health records and patient-generated data in clinical decision support. AMIA Summits on Translational Science Proceedings. 2024;2024:459-67.
56. Nahata H, Dhaka J, Soni S, GN V, editors. Optimising Ambulance Placement and Routing Using ML-driven predictive Analytics for Enhanced Emergency Response. 2024 International Conference on Emerging Research in Computational Science (ICERCS); 2024: IEEE. doi:10.1109/ICERCS63125.2024.10894880
57. Wieland-Jorna Y, van Kooten D, Verheij RA, de Man Y, Francke AL, Oosterveld-Vlug MG. Natural language processing systems for extracting information from electronic health records about activities of daily living. A systematic review. JAMIA Open. 2024;7(2):ooae044. doi:10.1093/jamiaopen/ooae044
58. Rojas-Carabali W, Agrawal R, Gutierrez-Sinisterra L, Baxter SL, Cifuentes-González C, Wei YC, et al. Natural Language Processing in Medicine and Ophthalmology: A Review for the 21st-century clinician. Asia-Pacific Journal of Ophthalmology. 2024;13(4):100084. doi:10.1016/j.apjo.2024.100084
59. Schubert J, Brynielsson J, Nilsson M, Svenmarck P, editors. Artificial intelligence for decision support in command and control systems. 23rd International Command and Control Research & Technology Symposium “Multi-Domain C; 2018.
60. Goumas G, Vlachothanasi EN, Fradelos EC, Mouliou DS. Biosensors, Artificial Intelligence Biosensors, False Results and Novel Future Perspectives. Diagnostics. 2025;15(8):1037. doi:10.3390/diagnostics15081037
61. Ankolekar A, Eppings L, Bottari F, Pinho IF, Howard K, Baker R, et al. Using artificial intelligence and predictive modelling to enable learning healthcare systems (LHS) for pandemic preparedness. Computational and Structural Biotechnology Journal. 2024;24:412-9. doi:10.1016/j.csbj.2024.05.014
62. Cheong BC. Transparency and accountability in AI systems: safeguarding wellbeing in the age of algorithmic decision-making. Frontiers in Human Dynamics. 2024;6:1421273. doi:10.3389/fhumd.2024.1421273
63. Celi LA, Cellini J, Charpignon ML, Dee EC, Dernoncourt F, Eber R, et al. Sources of bias in artificial intelligence that perpetuate healthcare disparities—A global review. PLOS Digital Health. 2022;1(3):e0000022. doi:10.1371/journal.pdig.0000022
64. Yaseen A. AI-driven threat detection and response: A paradigm shift in cybersecurity. International Journal of Information and Cybersecurity. 2023;7(12):25-43.
65. Bekbolatova M, Mayer J, Ong CW, Toma M. Transformative potential of AI in healthcare: definitions, applications, and navigating the ethical landscape and public perspectives. Healthcare. 2024;12(2):125. doi:10.3390/healthcare12020125
66. Saberi MA, Mcheick H, Adda M. From Data

Silos to Health Records Without Borders: A Systematic Survey on Patient-Centered Data Interoperability. Information (2078-2489). 2025; 16(2):106. doi:10.3390/info16020106
67. de Hond AA, Leeuwenberg AM, Hooft L, Kant IM, Nijman SW, van Os HJ, et al. Guidelines and quality criteria for artificial intelligence-based prediction models in healthcare: a scoping review. NPJ Digital Medicine. 2022;5(1):2. doi:10.1038/s41746-021-00549-7
68. Afroogh S, Akbari A, Malone E, Kargar M, Alambeigi H. Trust in AI: progress, challenges, and future directions. Humanities and Social Sciences Communications. 2024;11(1):1568. doi:0.1057/s41599-024-04044-8
69. Irgang L, Sestino A, Barth H, Holmén M. Healthcare workers' adoption of and satisfaction with artificial intelligence: The counterintuitive role of paradoxical tensions and paradoxical mindset. Technological Forecasting and Social Change. 2025;212:123967. doi:10.1016/j.techfore.2024.123967
70. Tucci V, Saary J, Doyle TE. Factors influencing trust in medical artificial intelligence for healthcare professionals: a narrative review. Journal of Medical Artificial Intelligence. 2022;5. doi:10.21037/jmai-21-25
71. Kufakunesu R, Myburgh H, De Freitas A. The internet of battle things: a survey on communication challenges and recent solutions. Discover Internet of Things. 2025;5(1):3. doi:10.1007/s43926-025-00093-w
72. Ficili I, Giacobbe M, Tricomi G, Puliafito A. From sensors to data intelligence: Leveraging IoT, cloud, and edge computing with AI. Sensors. 2025;25(6):1763. doi:10.3390/s25061763
73. Palmer A, Schwan D. More process, less principles: The ethics of deploying AI and robotics in medicine. Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics. 2024;33(1):121-34. doi:10.1017/S0963180123000087
74. Abgrall G, Holder AL, Chelly Dagdia Z, Zeitouni K, Monnet X. Should AI models be explainable to clinicians?. Critical Care. 2024;28(1):301. doi:10.1186/s13054-024-05005-y
75. Bouderhem R. A comprehensive framework for transparent and explainable AI sensors in healthcare. Engineering Proceedings. 2024;82(1):49. doi:10.3390/ecsa-11-20524
76. Jiang T, Sun Z, Fu S, Lv Y. Human-AI interaction research agenda: A user-centered perspective. Data and Information Management. 2024;8(4):100078. doi:10.1016/j.dim.2024.100078
77. Ozmen Garibay O, Winslow B, Andolina S, Antona M, Bodenschatz A, Coursaris C, et al. Six human-centered artificial intelligence grand challenges. International Journal of Human–Computer Interaction. 2023;39(3):391-437. doi:10.1080/10447318.2022.2153320
78. Yampolskiy RV. On monitorability of AI. AI and Ethics. 2024;5:689-707. doi:10.1007/s43681-024-00420-x
79. Hanna M, Pantanowitz L, Jackson B, Palmer O, Visweswaran S, Pantanowitz J, et al. Ethical and Bias considerations in artificial intelligence (AI)/machine learning. Modern Pathology. 2025; 38(3):100686. doi:10.1016/j.modpat.2024.100686
80. Alowais SA, Alghamdi SS, Alsuhebany N, Alqahtani T, Alshaya AI, Almohareb SN, et al. Revolutionizing healthcare: the role of artificial intelligence in clinical practice. BMC Medical Education. 2023;23(1):689. doi:10.1186/s12909-023-04698-z
81. Rashid AB, Kausik AK, Al Hassan Sunny A, Bappy MH. Artificial intelligence in the military: An overview of the capabilities, applications, and challenges. International Journal of Intelligent Systems. 2023;2023(1):8676366. doi:10.1155/2023/8676366
82. Adeniran AA, Onebunne AP, William P. Explainable AI (XAI) in healthcare: Enhancing trust and transparency in critical decision-making. World Journal of Advanced Research and Reviews. 2024;23:2647-58. doi:10.30574/wjarr.2024.23.3.2936
83. Vargas-Santiago M, León-Velasco DA, Maldonado-Sifuentes CE, Chanona-Hernandez L. A State-of-the-Art Review of Artificial Intelligence (AI) Applications in Healthcare: Advances in Diabetes, Cancer, Epidemiology, and Mortality Prediction. Computers. 2025;14(4):143. doi:10.3390/computers14040143
84. Marklund LA, Graham AM, Morton PG, Hurst CG, Motola I, Robinson DW, et al. Collaboration between civilian and military healthcare professionals: a better way for planning, preparing, and responding to all hazard domestic events. Prehospital and Disaster Medicine. 2010;25(5):399-412. doi:10.1017/S1049023X00008451
85. Herrmann C, Huang L. Human-Machine Teaming in AI Driven Supply Chains. Unpublished thesis/capstone, MIT, available at https://ctl. mit. edu/pub/thesis/human-machine-teaming-ai-drivensupply-chains (accessed 26th January, 2021). 2020.
86. Shackelford SA, Del Junco DJ, Mazuchowski EL, Kotwal RS, Remley MA, Keenan S, et al. The golden hour of casualty care: rapid handoff to surgical team is associated with improved survival in war-injured US service members. Annals of Surgery. 2024;279(1):1-10. doi:10.1097/SLA.0000000000005787
87. Nordraak AO, Horn U. Synthetic biology and biotechnology for military medicine and chemical and biological defence–current state and future perspectives. 2024.
88. Ou Y, Guo S. Safety risks and ethical governance of biomedical applications of synthetic biology. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2023;11:1292029. doi:10.3389/fbioe.2023.1292029
89. Aljohani A. Predictive analytics and machine learning for real-time supply chain risk mitigation and agility. Sustainability. 2023;15(20):15088. doi:10.3390/su152015088