

هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی در پزشکی بالینی

محمد علی نژاد^۱

علی نوروزی مبارکه^۲

چکیده

معرفی هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی در پزشکی به متخصصان سلامت کمک کرده است تا کیفیت مراقبتی را که می توانند ارائه دهند بهبود بخشند و این نوید را داده است که در آینده نزدیک و فراتر از آن، موجب بهبود هرچه بیشتر خدمات بهداشتی و درمانی شود. در این مقاله به برخی کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی در بالین پرداخته و چالش های آن را مطرح کرده ایم.

کلیدواژه‌ها: هوش مصنوعی، یادگیری ماشینی، پزشکی بالینی

مقدمه

توسعه فناوری های جدید مانند هوش مصنوعی (AI)^۳، یادگیری ماشینی (ML)^۴ و داده های بزرگ^۵ و کاربرد آن ها در پزشکی می تواند در تغییر آینده مراقبت های بهداشتی نقش داشته باشد. در طول دهه های گذشته، این فناوری ها در حوزه های تخصصی مراقبت های بهداشتی مختلف، از تشخیص بیماری و پیش بینی نتیجه گرفته تا بهبود درمان و سلامت عمومی، کمک به پزشکان برای ارائه مراقبت ایمن و مؤثر از بیمار، و ایفای نقش کلیدی در توسعه ابزار دقیق پزشکی، به کار گرفته شده اند (۱، ۲).

هوش مصنوعی به توانایی یک سیستم کامپیوتری برای انجام عملکردهایی شبیه به فرآیندهای فکری انسان اشاره دارد، در حالی که ML زیرشاخه ای از هوش مصنوعی است که در آن یک کامپیوتر به طور خودکار از داده ها می آموزد و با کسب تجربه بهبود می یابد بدون اینکه به طور واضح برنامه ریزی شود. یادگیری عمیق، در عوض، زیرمجموعه ای از ML است که عملکرد مغز انسان را با

^۱ کارشناس ارشد مدیریت فناوری اطلاعات (گرایش کسب و کار الکترونیک)، گروه مدیریت، دانشگاه پیام نور، واحد بین المللی، ایران
Alinejadm7977@gmail.com

Senior Expert in Information Technology Management (E-Business Orientation), Department of Management, Payam Noor University, International Branch, Iran

^۲ استادیار گروه مدیریت، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۳۶۹۷، تهران، ایران

noroozi@pun.ac.ir

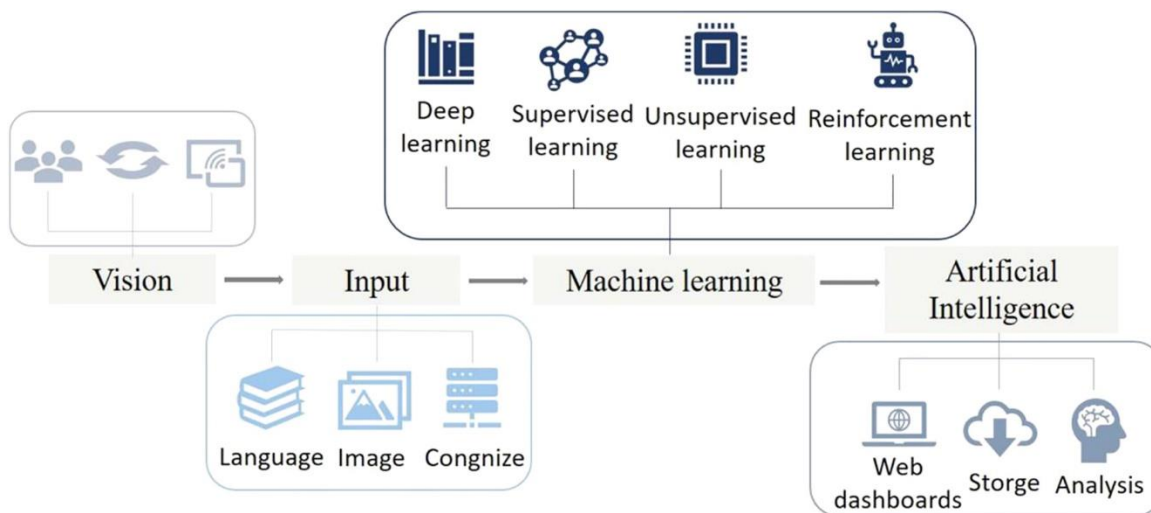
Ali Noroozi Mobarake, Asst Prof, Department of Management, Payame Noor University, Po, Box 19395-3697, Tehran, Iran

^۳ Artificial Intelligence

^۴ Machine Learning

^۵ Big Data

استفاده از چندین لایه از شبکه های عصبی مصنوعی برای تولید پیش بینی های خودکار از مجموعه داده های آموزشی تقلید می کند (۳) (شکل ۱).



شکل ۱- طبقه بندی هوش مصنوعی (۴)

از آنجایی که استفاده گسترده از هوش مصنوعی در مراقبت های بهداشتی نسبتاً جدید است، تحقیقات در مورد کاربرد آن در زمینه های مختلف پزشکی و صنعت ادامه دارد. در این مقاله ضمن پرداختن به کاربردهای مختلف هوش مصنوعی در پزشکی که شامل پزشکی از راه دور، روانپزشکی، دندانپزشکی، سرطان و استفاده از هوش مصنوعی در تحقیقات بالینی می شود، به نگرانی های اخلاقی بی سابقه مربوط به عملکرد هوش مصنوعی مانند حریم خصوصی داده ها، اتوماسیون مشاغل، و سوگیری داده ها نیز خواهیم پرداخت.

کاربردهای هوش مصنوعی در پزشکی

۱- هوش مصنوعی و پزشکی از راه دور^۶

اخیراً، شیوع بیماری همه گیر کروناویروس (COVID-19) به پذیرش پزشکی از راه دور در سراسر جهان کمک کرده است (۵). هوش مصنوعی می تواند با نظارت بر اطلاعات بیماران از طریق حسگرها به مراقبت از راه دور از آنها کمک کند. به عنوان مثال با اتصال یک دستگاه حسگر به بیمار ممکن است امکان نظارت مداوم بر بیمار و توانایی مشاهده تغییراتی فراهم شود که توسط انسان کمتر قابل تشخیص است. هوش مصنوعی می تواند این اطلاعات را با سایر داده هایی که قبلاً با استفاده از الگوریتم های هوش مصنوعی جمع آوری شده است مقایسه کرده و در صورت وجود هرگونه مشکلی، به پزشکان هشدار دهد (۶).

⁶ Telemedicine

ارزیابی قبل از عمل شاید بخشی از مراقبت‌های حین عمل باشد که می‌تواند بیشتر تحت تأثیر استفاده از "پزشکی از راه دور" قرار گیرد. در واقع، ارزیابی پیش از جراحی پزشکی از راه دور می‌تواند مراقبت مؤثر از بیمار، صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ها را که معمولاً با ارزیابی حضوری مرتبط است، فراهم کند. در ابتدا نگرانی آشکاری در مورد اثربخشی این معاینه در مقایسه با ارزیابی حضوری وجود داشت، اما همراه با توسعه فناوری‌ها از آن پیشی گرفت (۷).

یکی دیگر از کاربردهای هوش مصنوعی درمان با ربات چت^۷ است. چت بات یک برنامه کامپیوتری است که از هوش مصنوعی و پردازش زبان طبیعی برای درک سؤالات و پاسخگویی خودکار به آنها استفاده می‌کند و مکالمه انسانی را شبیه‌سازی می‌کند. یک چت بات پزشکی بسیار اولیه، ELIZA، بین سال‌های ۱۹۶۴ و ۱۹۶۶ توسط جوزف وایزنام در آزمایشگاه هوش مصنوعی موسسه فناوری ماساچوست توسعه یافت. همچنین به عنوان نمونه‌ی اخیر ربات چت‌های پزشکی می‌توان از GPT-4 نام برد (۸).

۲- هوش مصنوعی برای مراقبت از سلامت روان

هوش مصنوعی پتانسیل زیادی برای تعریف مجدد تشخیص و درک ما از بیماری‌های روانی دارد (۹). ما درک نسبتاً محدودی از تعاملات بین سیستم‌های بیولوژیکی، روان‌شناختی و اجتماعی داریم. ناهمگونی قابل توجهی در پاتوفیزیولوژی بیماری‌های روانی وجود دارد و شناسایی نشانگرهای زیستی ممکن است امکان تعاریف عینی‌تر و بهبود یافته از این بیماری‌ها را فراهم کند. استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی توانایی توسعه ابزارهای غربالگری پیش‌تشخیص بهتر و تدوین مدل‌های خطر برای تعیین استعداد یا خطر ابتلا به بیماری روانی را ارائه می‌دهد (۱۰).

سیستم‌های هوش مصنوعی امروزی می‌توانند به چندین روش کلیدی به چالش‌های تشخیص افتراقی کمک کنند. اولاً، رویکردهای هوش مصنوعی می‌توانند توانایی تمایز بین تشخیص‌ها با تظاهرات بالینی اولیه مشابه اما رویکردهای درمانی متفاوت را تقویت کنند. به عنوان مثال، می‌توان به شناسایی افسردگی دوقطبی در مقابل تک قطبی بر اساس ویژگی‌های تصویربرداری مغز، یا تمایز بین انواع زوال عقل با استفاده از اسکن MRI اشاره کرد. ثانیاً، روش‌های هوش مصنوعی مبتنی بر داده‌ها می‌توانند به شناسایی زیرگروه‌های بیماری جدید بر اساس ناهمگونی ارائه‌ها، ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و عوامل محیطی کمک کنند. نمونه‌ها شامل پروفایل‌های عصبی شناختی در اختلال دوقطبی، پروفایل‌های ژنتیکی در اسکیزوفرنی، پروفایل‌های نشانگر زیستی در روان‌پریشی‌ها، و زیرگروه‌های تصویربرداری عصبی در افسردگی است. ثالثاً، رویکردهای هوش مصنوعی می‌توانند مدل‌هایی را از منابع داده‌های غیرمعمول/ جدید بسازند و داده‌ها را از چندین جریان داده ناهمگن، به عنوان مثال، پرونده الکترونیک سلامت^۸ (HER)، داده‌های رفتاری از فنوتیپ دیجیتال و حسگرهای پوشیدنی، گفتار برای پیش‌بینی شروع روان‌پریشی در جوانان پرخطر و شناسایی افراد مبتلا به PTSD^۹، محتوای رسانه‌های اجتماعی مثل عکس‌های اینستاگرام برای پیش‌بینی خطر ابتلا به افسردگی، فیزیولوژی عصبی، تصویربرداری، و ژنتیک با هم تطبیق دهند. روش هوش مصنوعی همچنین می‌تواند خطرات ژنتیکی و محیطی را نیز در بر بگیرد، که به تعاملات پیچیده محیطی-ژنی و عوامل روانی-زیستی-اجتماعی، به ویژه در PTSD مرتبط است. علاوه بر این، روش‌های هوش مصنوعی برای رمزگشایی الگوها از داده‌های طولی مناسب هستند، که برای افزایش دقت تشخیص‌ها بر اساس علائم روان‌پزشکی در حال تکامل حیاتی است. در نهایت، روش‌های هوش مصنوعی ممکن است نقش فزاینده‌ای در جمع‌آوری داده‌های حساس و دقیق از بیماران

⁷ Chatbot

⁸ Electronic Health Record

⁹ Posttraumatic Stress Disorder

داشته باشند. یک مطالعه نشان داد که افراد، اطلاعات حساس را در مواجهه با یک سیستم کامپیوتری بیشتر از یک شخص افشا میکنند(۱۱).

۳- هوش مصنوعی در دندانپزشکی

هوش مصنوعی در دندانپزشکی نیز به دلیل پیشرفت های تکنولوژیکی و دیجیتالی شدن دندانپزشکی در حال گسترش است. از شبکه های عصبی در دندانپزشکی می توان برای انجام فرآیند تشخیص دقیق تر، سریع تر و کارآمدتر استفاده کرد. پوسیدگی دندان شایع ترین بیماری دندانی است و به همین دلیل است که افشای آن در مراحل اولیه بسیار مهم است. برای غربالگری و تشخیص پوسیدگی دندان، دندانپزشکان بیشتر از پروب های دندانی استفاده می کنند و با مشاهده بافت و تغییر رنگ می توانند تشخیص دهند که دندان سالم است یا خیر. این روش بسیار ذهنی است و بر اساس تجربه دندانپزشک است(۱۲). آزمایشات اضافی مانند رادیوگرافی در دندانپزشکی مدرن ضروری است و می تواند تشخیص پوسیدگی را افزایش دهد(۱۳).

تشخیص پوسیدگی دندان در تصاویر رادیولوژیک توسط شبکه های عصبی ممکن است و معاینات دندانپزشکی را سریعتر و دقیق تر می کند. استفاده از شبکه عصبی در دندانپزشکی به سرعت در حال توسعه است(۱۴). از الگوریتم ها می توان برای مکان یابی مرز پوسیدگی استفاده کرد که ممکن است به دلیل نویز تصویر و کنتراست قابل تشخیص نباشد(۱۵).

در درمان ریشه، شبکه های عصبی می توانند در تشخیص ضایعات پری آپیکال^{۱۰} و شکستگی های ریشه، ارزیابی آناتومی سیستم کانال ریشه، پیش بینی زنده بودن سلول های بنیادی پالپ دندان، و پیش بینی موفقیت روش های درمان مفید باشند. در ارتودنسی، آنها می توانند تشخیص و برنامه ریزی درمان، علامت گذاری نقاط سفالومتریکی^{۱۱}، آنالیزهای آناتومیک، ارزیابی رشد و تکامل و ارزیابی نتایج درمان را تسهیل کنند. در جراحی دندان، شبکه های عصبی ممکن است در برنامه ریزی جراحی ارتوگناتیک^{۱۲}، پیش بینی عوارض پس از کشیدن استخوان، تشخیص ضایعات استخوانی و تمایز و برنامه ریزی درمان ایمپلنتولوژیک^{۱۳} مفید باشند(۱۶).

۴- هوش مصنوعی و کاربردهای بالینی آن در سرطان: تشخیص، درمان و پیش آگهی

بیوپسی پاتولوژیک در حال حاضر استاندارد طلایی برای تشخیص سرطان است. با این حال، به دلیل زیرشاخه های متعدد سرطان، قضاوت دقیق نوع پاتولوژیک توسط انسان مشکل است(۱۷). تجزیه و تحلیل هوش مصنوعی ساختارهای غیر طبیعی در بافت ها یا سلول ها به طور قابل توجهی نرخ منفی کاذب را کاهش می دهد، که می تواند برای تشخیص زودهنگام مناسب تر باشد و دقت طبقه بندی نوع دقیق سرطان را بهبود بخشد. به طور خاص، یادگیری عمیق می تواند برای ایجاد یک مدل رنگ آمیزی هماتوکسیلین-اوزین^{۱۴} (HE) برای تقسیم بندی و طبقه بندی کاربوتیپ های سلولی و ساختار بافت، به منظور تجسم ریزمحیط تومور^{۱۵} (TME) استفاده شود(۱۸). بر اساس ویژگی های TME، می توان یک مدل پیش بینی پیش آگهی برای سرطان ایجاد کرد(۱۹).

مطالعات نشان می دهد که نقش هوش مصنوعی در تجزیه و تحلیل تصویربرداری سرطان نیز می تواند دقت غربالگری سرطان را بهبود بخشد، زمان تجزیه و تحلیل را کوتاه کند و کارایی پزشکان را بهبود بخشد(۲۰). فناوری تشخیص هوش مصنوعی می تواند

¹⁰ Periapical

¹¹ Cephalometric

¹² Orthognathic

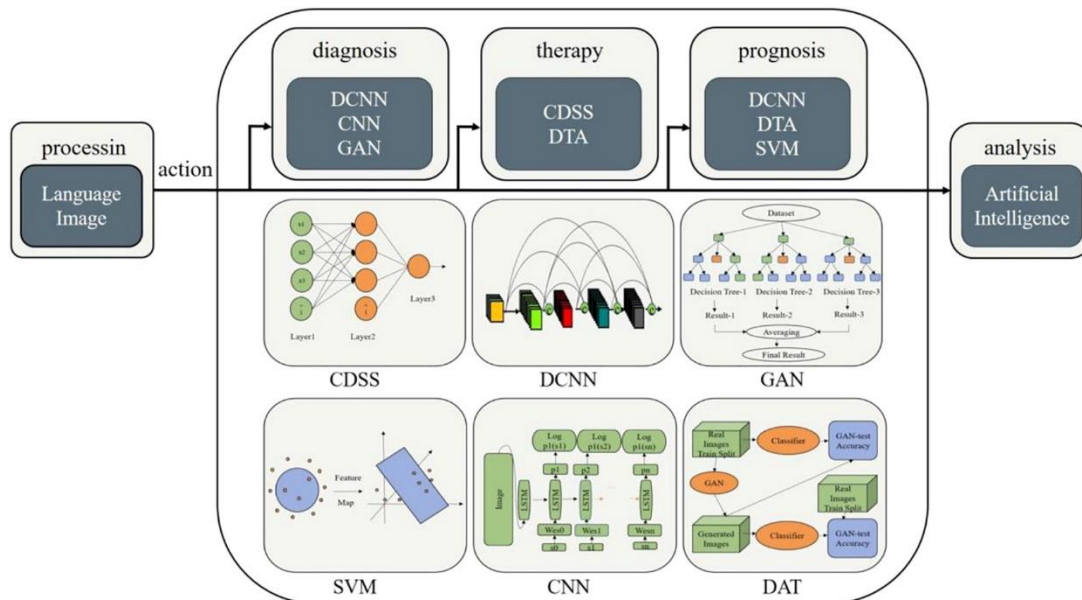
¹³ Implantological

¹⁴ Hematoxylin-eosin staining

¹⁵ Tumor microenvironment

تجزیه و تحلیل خوشه ای چند پارامتری را انجام دهد و تصویر را ساده کند، بنابراین به پزشکان کمک می کند سرطان را در مراحل اولیه غربال کنند(۲۱). در سال های اخیر گزارش شده است که سیستم هوش مصنوعی می تواند ندول های بدخیم ریوی را بر اساس تصاویر سی تی اسکن قفسه سینه تشخیص دهد. این مدل با فناوری یادگیری عمیق طراحی شده است. همچنین هوش مصنوعی برای تجزیه و تحلیل فیلم سی تی به کار می رود تا به پزشکان در بهبود دقت غربالگری سرطان کمک کند(۲۲). مزیت استفاده از هوش مصنوعی در تصویربرداری سرطان، تنها محدود به تشخیص تومور نیست، بلکه می تواند در تشخیص مرحله بندی سرطان^{۱۶} نیز مفید واقع شود(۲۳). همچنین با استفاده مدل یادگیری عمیق می توان از اسکن های سریالی در زمان های متفاوت، برای پیش بینی قابل توجه پیامدهای خاص سرطان (پیشرفت^{۱۷}، متاستاز^{۱۸} و عود^{۱۹}) استفاده کرد(۲۴).

در حال حاضر، درمان سرطان عمدتاً شامل جراحی، رادیوتراپی و درمان دارویی است، اما انتخاب بهترین درمان برای بهبود میزان بقا همچنان مهم ترین چالش است (۲۵). با توجه به مرحله بندی، محل تومور، تغییرات بافت شناسی و ژنتیکی، استراتژی های درمانی مختلفی وجود دارد و می توان بهترین درمان را انتخاب کرد. با این حال، حجم کار تجزیه و تحلیل داده ها قابل توجه است و با دقت پایین همراه است(۲۶). هوش مصنوعی می تواند پردازش هوشمند را از طریق سیستم های کامپیوتری مدل سازی کند و پزشکان می توانند به سرعت اطلاعات مهم را در سوابق پزشکی بیماران شناسایی کنند، شواهد مربوطه را ارائه دهند و گزینه های درمانی را بهینه کنند(۲۷). به عنوان مثال، "واتسون برای سرطان شناسی"^{۲۰} (WFO)، یک سیستم محاسباتی شناختی است، که از تجزیه و تحلیل داده های هوش مصنوعی و قابلیت های تبدیل تصویر برای کمک به پزشکان جهت شناسایی سریع اطلاعات کلیدی در سوابق پزشکی بیماران، نمایش شواهد مرتبط و کشف گزینه های درمانی استفاده می کند، و جالب آن که، تصمیم درمانی WFO بسیار با تصمیم کمیته انکولوژی (تیم چند رشته ای، MDT) سازگار است(۲۸)(شکل ۲).



- ¹⁶ Cancer Staging
- ¹⁷ Progression
- ¹⁸ Metastasis
- ¹⁹ Recurrence
- ²⁰ Watson for Oncology

شکل ۲- نمودار عملکرد هوش مصنوعی در تشخیص، درمان و پیش آگهی سرطان (۴)

۵- کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی در انجام تحقیقات بالینی

هوش مصنوعی و یادگیری ماشین پتانسیل بهبود و احتمالاً ساده سازی و سرعت بخشیدن به آزمایشات بالینی را از طریق انتخاب کارآمد تر ورودی های یک مطالعه و نیز تجزیه و تحلیل جامع تر داده ها دارند. علاوه بر این، امکان ایجاد گروه های کنترل مصنوعی را فراهم می کنند. همچنین ممکن است از هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی برای پیش بینی و درک بهتر رویدادهای نامطلوب احتمالی و زیرجمعیت های بیمار استفاده شود. به نظر می رسد ممکن است هوش مصنوعی بتواند «بیماران مصنوعی» را به منظور شبیه سازی نتایج تشخیصی یا درمانی ایجاد کند (۲۹، ۳۰).

دغدغه های اخلاقی هوش مصنوعی

۱- جمع آوری داده ها و به خطر انداختن حریم خصوصی بیماران

برای آموزش موثر یادگیری ماشین و استفاده از هوش مصنوعی در مراقبت های بهداشتی، باید مقادیر زیادی داده جمع آوری شود. با این حال، به دست آوردن این داده ها در بیشتر موارد به قیمت به چالش کشیدن اصل حفظ حریم خصوصی بیمار تمام می شود و در سطح عمومی به خوبی مورد استقبال قرار نمی گیرد. به عنوان مثال، یک نظرسنجی انجام شده در بریتانیا تخمین زده است که ۶۳٪ از جمعیت از به اشتراک گذاری داده های شخصی خود به منظور بهبود فناوری هوش مصنوعی ناراحت هستند (۳۱).

۲- اتوماسیون مشاغل و تعدیل نیروی انسانی

انتظار می رود پزشکانی که از هوش مصنوعی در مراقبت های بهداشتی بهره می برند، نسبت به پزشکان و مؤسسات پزشکی که این کار را نمی کنند، مراقبت های بهداشتی با کیفیت تری ارائه دهند (۳۲). هوش مصنوعی در نهایت به پیشرفت اهداف اجتماعی کمک می کند که شامل ارتباطات بهتر و بهبود کیفیت مراقبت های بهداشتی است (۳۳). اما این نگرانی وجود دارد که استفاده از هوش مصنوعی در آینده منجر به حذف مشاغل در حوزه مراقبت های بهداشتی شود. بر اساس یک مطالعه در سال ۲۰۱۹، هوش مصنوعی می تواند تا ۳۵ درصد از مشاغل را در بریتانیا طی ۱۰ تا ۲۰ سال آینده جایگزین کند. به خصوص مشاغلی که با اطلاعات دیجیتال، رادیولوژی و آسیب شناسی سروکار دارند بیش از سایر مشاغل مستعد حذف در نتیجه اتوماسیون هستند (۳۴).

۳- سوگیری^{۲۱} داده ها

²¹ Bias

از آنجایی که هوش مصنوعی تنها بر اساس داده‌هایی که به عنوان ورودی دریافت می‌کند تصمیم می‌گیرد، مهم است که این داده‌ها اطلاعات جمعیتی دقیق بیمار را نشان دهند. در یک محیط بیمارستانی، بیماران از نحوه ایجاد یا کالیبره شدن الگوریتم‌های پیش‌بینی، آگاهی کامل ندارند. بنابراین، این مؤسسات پزشکی می‌توانند به‌طور ناعادلانه الگوریتم‌های خود را برای تبعیض علیه اقلیت‌ها و اولویت‌بندی سود به جای ارائه مراقبت بهینه کدگذاری کنند. همچنین ممکن است سوگیری ناخواسته‌ای در این الگوریتم‌ها وجود داشته باشد که می‌تواند نابرابری‌های اجتماعی در زمینه مراقبت‌های بهداشتی را تشدید کند (۳۵).

علاوه بر سوگیری‌هایی که ممکن است از انتخاب نمونه ناشی شود، سیستم‌های بالینی متفاوتی که برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده می‌شوند نیز ممکن است بر عملکرد هوش مصنوعی تأثیر بگذارند. به عنوان مثال، سیستم‌های رادیوگرافی و نتایج آنها بسته به ارائه دهنده متفاوت است. علاوه بر این، شیوه‌های کاری پزشک، مانند تعیین موقعیت بیمار برای رادیوگرافی، نیز می‌تواند تا حد زیادی بر داده‌ها تأثیر بگذارد و مقایسه را دشوار کند. با این حال، این سوگیری‌ها می‌توانند از طریق اجرای دقیق و مجموعه‌ای روشن‌تر از داده‌ها حذف شوند (۳۶).

جمع بندی

با پیشرفت و به کارگیری فناوری‌های کلیدی مانند شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های یادگیری عمیق، پتانسیل کاربرد هوش مصنوعی در صنعت پزشکی و بهداشت به طور مداوم کشف شده است. هوش مصنوعی نقش حیاتی در تشخیص و نظارت بر بیماری، ارزیابی اثربخشی، پیش‌بینی بقا، آزمایش‌های دارویی و مدیریت سلامت دارد. این تکنولوژی بدون شک بار پزشکان را کاهش می‌دهد، تشخیص اشتباه ناشی از خستگی را کاهش می‌دهد و ممکن است مدل پزشکی فعلی را تغییر دهد. تعداد فزاینده‌ای از مدل‌های هوش مصنوعی برای نظارت بر داده‌های مختلف، از جمله داده‌های پرونده الکترونیکی سلامت، روش‌های تصویربرداری، هیستوپاتولوژی و بیومارکرهای مولکولی، برای بهبود دقت پیش‌بینی خطر بیماری، تشخیص و پیش‌بینی پاسخ درمانی استفاده می‌شوند. با این حال، هوش مصنوعی هنوز در مراحل اولیه است و محدودیت‌هایی دارد و علیرغم دستاورد‌های اولیه، تحقیقات آینده هنوز برای استانداردسازی داده‌های هوش مصنوعی و بهبود تعمیم‌پذیری و تفسیرپذیری نتایج مورد نیاز است.

Abstract

The introduction of artificial intelligence and machine learning in medicine has helped healthcare professionals improve the quality of care they can provide and promises to improve it even more in the near future and beyond. In this article, we have discussed some applications of artificial intelligence and machine learning in the field of medicine and presented its challenges.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, clinical medicine

References

-
- 1 -Connor CW. Artificial Intelligence and Machine Learning in Anesthesiology. *Anesthesiology* 2019;131:1346–59.
 - 2 - Hashimoto DA, Witkowski E, Gao L, Meireles O, Rosman G. Artificial Intelligence in Anesthesiology: Current Techniques, Clinical Applications, and Limitations. *Anesthesiology* 2020;132:379–94.
 - 3 - Valentina BELLINI, Marina VALENTE, Antonio V. GADDI, Paolo PELOSI, Elena BIGNAMI . “ Artificial intelligence and telemedicine in anesthesia: potential and problems”. *Minerva Anestesiologica* 2022 September;88(9):729-34.
 - 4 - Qin Pei , Yanan Luo , Yiyu Chen , Jingyuan Li , Dan Xie and Ting Ye." Artificial intelligence in clinical applications for lung cancer: diagnosis, treatment and prognosis." *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)*.
 - 5 - Wosik J, Fudim M, Cameron B, Gellad ZF, Cho A, Phinney D, et al. Telehealth transformation: COVID-19 and the rise of virtual care. *J Am Med Inform Assoc* 2020;27:957–62.
 - 6 -Pivovarov R, Elhadad N (September 2015). "Automated methods for the summarization of electronic health records". *Journal of the American Medical Informatics Association*. 22 (5): 938–947.
 - 7 - Ray JM, Ratwani RM, Sinsky CA, Frankel RM, Friedberg MW, Powsner SM, et al. Six habits of highly successful health information technology: powerful strategies for design and implementation. *J Am Med Inform Assoc* 2019;26:1109–14.
 - 8 -Charlotte J. Haug , Jeffrey M. Drazen" Artificial Intelligence and Machine Learning in Clinical Medicine, 2023". *N Engl J Med* 2023; 388:1201-1208.
 - 9 - Bzdok D, Meyer-Lindenberg A. Machine Learning for Precision Psychiatry: Opportunities and Challenges. *Biol Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging*. 2018;3(3):223–30.
 - 10 - Shatte ABR, Hutchinson DM, Teague SJ. Machine learning in mental health: A scoping review of methods and applications. *Psychol Med*. 2019;1–23.
 - 11 - Ellen E. Lee, John Torous, Munmun De Choudhury, Colin A. Depp,Sarah A. Graham, Ho-Cheol Kim, Martin P. Paulus, John H. Krystal,Dilip V. Jeste. "Artificial Intelligence for Mental Healthcare: Clinical Applications, Barriers, Facilitators, and Artificial Wisdom".*Biol Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging*. 2021 Sep; 6(9): 856–864.
 - 12 - Olsen G.F., Brilliant S.S., Primeaux D., Najarian K. An image processing enabled dental caries detection system; Proceedings of the 2009 ICME International Conference on Complex Medical Engineering; Tempe, AZ, USA. 9–11 April 2009; pp. 1–8.
 - 13 - Abogazalah N., Ando M. Alternative methods to visual and radiographic examinations for approximal caries detection. *J. Oral Sci*. 2017;59:315–322.
 - 14 - Suwadee K., Sanpjet S., Supatyra P., Sujin B., Danaipong C. An artificial neural network for detection of simulated dental caries. *Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg*. 2006;1:91–96.
 - 15 - Gravel P., Beaudoin G., de Guise J. A Method for Modeling Noise in Medical Images. *IEEE Trans. Med. Imaging*. 2004;23:1221–1232.
 - 16 - Agata Ossowska, Aida Kusiak, Dariusz Świątlik". Artificial Intelligence in Dentistry—Narrative Review." *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Mar; 19(6): 3449.

-
- 17 - Krarup, MMK, Krokos, G, Subesinghe, M, Nair, A, Fischer, BM. Artificial intelligence for the characterization of pulmonary nodules, lung tumors and mediastinal nodes on PET/CT. *Semin Nucl Med* 2021;51:143–56.
- 18 - Wang, S, Rong, R, Yang, DM, Fujimoto, J, Yan, S, Cai, L, et al.. Computational staining of pathology images to study the tumor microenvironment in lung cancer. *Cancer Res* 2020;80:2056–66.
- 19 - Wang, S, Wang, T, Yang, L, Yang, DM, Fujimoto, J, Yi, F, et al.. ConvPath: a software tool for lung adenocarcinoma digital pathological image analysis aided by a convolutional neural network. *EbioMedicine*. 2019;50:103–10.
- 20 - Kandathil, A, Kay, FU, Butt, YM, Wachsmann, JW, Subramaniam, RM. Role of FDG PET/CT in the eighth edition of TNM staging of non-small cell lung cancer. *Radiographics* 2018;38:2134–49.
- 21 - Zhao, W, Yang, J, Sun, Y, Li, C, Wu, W, Jin, L, et al.. 3D deep learning from CT scans predicts tumor invasiveness of subcentimeter pulmonary adenocarcinomas. *Cancer Res* 2018;78:6881–9.
- 22 - Ardila, D, Kiraly, AP, Bharadwaj, S, Choi, B, Reicher, JJ, Peng, L, et al.. End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography. *Nat Med* 2019;25:954–61.
- 23 - Kachouie, NN, Shutaywi, M, Christiani, DC. Discriminant analysis of lung cancer using nonlinear clustering of copy numbers. *Cancer Invest* 2020;38:102–12.
- 24 - Xu, Y, Hosny, A, Zeleznik, R, Parmar, C, Coroller, T, Franco, I, et al.. Deep learning predicts lung cancer treatment response from serial medical imaging. *Clin Cancer Res* 2019;25:3266–75.
- 25 - Siegel, RL, Miller, KD, Jemal, A. Cancer statistics, 2020. *CA Cancer J Clin* 2020;70:7–30.
- 26 - Kalet, IJ, Paluszynski, W. Knowledge-based computer systems for radiotherapy planning. *Am J Clin Oncol* 1990;13:344–51.
- 27 - Adamson, AS, Welch, HG. Machine learning and the cancer-diagnosis problem - no gold standard. *N Engl J Med* 2019;381:2285–7.
- 28 - Somashekhar, SP, Sepúlveda, MJ, Puglielli, S, Norden, AD, Shortliffe, EH, Rohit Kumar, C, et al.. Watson for oncology and breast cancer treatment recommendations: agreement with an expert multidisciplinary tumor board. *Ann Oncol* 2018;29:418–23.
- 29 - Cruz Rivera S, Liu X, Chan A-W, Denniston AK, Calvert MJ; SPIRIT-AI and CONSORT-AI Working Group. Guidelines for clinical trial protocols for interventions involving artificial intelligence: the SPIRIT-AI extension. *Lancet Digit Health* 2020;2(10):e549-e560.
- 30 - Liu X, Cruz Rivera S, Moher D, Calvert MJ, Denniston AK; SPIRIT-AI and CONSORT-AI Working Group. Reporting guidelines for clinical trial reports for interventions involving artificial intelligence: the CONSORT-AI extension. *Nat Med* 2020;26:1364-74.
- 31 - Lacassie E, Marquet P, Martin-Dupont S, Gaulier JM, Lachâtre G (September 2000). "A non-fatal case of intoxication with foxglove, documented by means of liquid chromatography-electrospray-mass spectrometry". *Journal of Forensic Sciences*. 45 (5): 1154–1158.
- 32 - U.S News Staff (2018-09-20). "Artificial Intelligence Continues to Change Health Care". *US News*.
- 33 - "AI for Health Care Artificial Intelligence for Health Care". *GrayRipples.com | AI | iOS | Android | PowerApps*. 2020-03-04. Retrieved 2020-11-04.

34 - Davenport T, Kalakota R (June 2019). "The potential for artificial intelligence in healthcare". *Future Healthcare Journal*. 6 (2): 94–98.

35 - Baric-Parker J, Anderson EE (November 2020). "Patient Data-Sharing for AI: Ethical Challenges, Catholic Solutions". *The Linacre Quarterly*. 87 (4): 471–481.

36 - Pumplun L, Fecho M, Wahl N, Peters F, Buxmann P (October 2021). "Adoption of Machine Learning Systems for Medical Diagnostics in Clinics: Qualitative Interview Study". *Journal of Medical Internet Research*. 23 (10): e29301.