

بررسی کاربرد هوش مصنوعی در تشخیص زودهنگام سرطان با تصاویر پزشکی

مقدمه

تشخیص زودهنگام سرطان یکی از مؤثرترین عوامل در افزایش احتمال درمان موفق، کاهش هزینه‌های مراقبت سلامت و بهبود کیفیت زندگی بیماران است. در بسیاری از انواع سرطان، از جمله سرطان پستان، ریه، پوست، پروستات و روده بزرگ، مرحله‌ای که بیماری در آن شناسایی می‌شود ارتباط مستقیم با گزینه‌های درمانی و پیش‌آگهی بیمار دارد. با این حال، تفسیر تصاویر پزشکی—از جمله ماموگرافی، توموگرافی رایانه‌ای (CT)، تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI)، سونوگرافی، تصاویر درموسکوپی و اسلایدهای دیجیتال پاتولوژی—فرایندی پیچیده، زمان‌بر و وابسته به تخصص انسانی است.

هوش مصنوعی، به‌ویژه یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، در سال‌های اخیر به ابزاری مهم برای تحلیل تصاویر پزشکی تبدیل شده است. این فناوری می‌تواند الگوهای ظریف، ضایعات کوچک و روابط پیچیده میان ویژگی‌های تصویری را شناسایی کند؛ مواردی که ممکن است در حجم بالای کار روزانه یا در مراحل ابتدایی بیماری، از دید انسان پنهان بمانند. با وجود این ظرفیت، هوش مصنوعی جایگزین پزشک نیست؛ بلکه باید به‌عنوان یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری بالینی، در کنار رادیولوژیست، پاتولوژیست و تیم درمان به کار گرفته شود.

تز اصلی این مقاله آن است که هوش مصنوعی می‌تواند دقت و سرعت تشخیص زودهنگام سرطان را به‌طور معناداری ارتقا دهد، اما تحقق منافع آن منوط به اعتبارسنجی بالینی، کنترل سوگیری داده‌ها، نظارت انسانی، حفاظت از داده‌های بیمار و استقرار در چارچوب‌های روشن تنظیم‌گری است.

۱. مفاهیم پایه: هوش مصنوعی در تصویربرداری پزشکی چگونه عمل می‌کند؟

هوش مصنوعی در تصویربرداری پزشکی به مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها اشاره دارد که از داده‌های تصویری برای انجام وظایفی مانند تشخیص، طبقه‌بندی، قطعه‌بندی و پیش‌بینی استفاده می‌کنند. مهم‌ترین رویکرد در این حوزه، **یادگیری عمیق** است؛ روشی که با استفاده از شبکه‌های عصبی چندلایه، ویژگی‌های مرتبط را مستقیماً از حجم زیادی از تصاویر آموزش می‌بیند.

کاربردهای اصلی این فناوری در تشخیص سرطان عبارت‌اند از:

- **آشکارسازی ضایعه:** شناسایی ناحیه‌ای مشکوک، مانند توده پستان، ندول ریوی یا خال پوستی غیرطبیعی.
 - **قطعه‌بندی (Segmentation):** تعیین دقیق مرز تومور یا ضایعه برای اندازه‌گیری، پیگیری و برنامه‌ریزی درمان.
 - **طبقه‌بندی:** برآورد احتمال بدخیم یا خوش‌خیم بودن ضایعه.
 - **اولویت‌بندی پرونده‌ها:** ارجاع سریع‌تر تصاویر با احتمال بالای یافته غیرطبیعی به متخصص.
 - **رادیومیکس و پیش‌بینی:** استخراج ویژگی‌های کمی از تصویر برای پیش‌بینی خطر، تهاجمی بودن تومور یا پاسخ به درمان.
- برای مثال، یک مدل هوش مصنوعی می‌تواند با مشاهده هزاران ماموگرافی برچسب‌خورده، الگوهای مرتبط با سرطان پستان را بیاموزد و سپس در ماموگرافی جدید، نواحی نیازمند بررسی دقیق‌تر را به رادیولوژیست نشان دهد. در چنین سناریویی، خروجی سامانه باید یک «احتمال» یا «هشدار» تلقی شود، نه تشخیص قطعی.

۲. مهم‌ترین حوزه‌های کاربرد در تشخیص زودهنگام سرطان

۲-۱. سرطان پستان و ماموگرافی

ماموگرافی یکی از شناخته‌شده‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در غربالگری سرطان است. چالش اصلی در این حوزه، تشخیص توده‌ها، عدم تقارن‌ها و به‌ویژه **کلسیفیکاسیون‌های بسیار ریز** است که می‌توانند نشانه‌ای از سرطان در مراحل ابتدایی باشند.

مطالعات بزرگ غربالگری نشان داده‌اند که استفاده از هوش مصنوعی به‌عنوان ابزار کمکی یا خواننده دوم می‌تواند نرخ کشف سرطان را افزایش و حجم کار متخصصان را کاهش دهد. برای نمونه، نتایج مطالعه MASAI در سوئد گزارش کرد که غربالگری با پشتیبانی هوش مصنوعی، نسبت به روش استاندارد خوانش مضاعف، افزایش قابل توجهی در تشخیص سرطان داشته است؛ بدون آنکه نرخ فراخوانی کاذب به‌طور معناداری افزایش یابد (Lång et al., ۲۰۲۳).

با این حال، تراکم بالای بافت پستان، کیفیت دستگاه تصویربرداری و تفاوت‌های جمعیتی از عواملی هستند که ممکن است عملکرد مدل را تغییر دهند. بنابراین، هر الگوریتم باید پیش از استفاده عملی، روی داده‌های جمعیت هدف اعتبارسنجی شود.

۲-۲. سرطان ریه و CT با دوز پایین

سرطان ریه در مراحل ابتدایی غالباً بدون علامت است و در بسیاری از بیماران دیر تشخیص داده می‌شود. CT با دوز پایین ابزار مهمی برای غربالگری افراد پرخطر محسوب می‌شود، اما بررسی حجم بسیار زیادی از تصاویر و ندول‌های کوچک ریوی، فشار کاری چشمگیری بر رادیولوژیست‌ها وارد می‌کند.

سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند ندول‌ها را شناسایی، اندازه‌گیری و در تصاویر پیگیری مقایسه کنند. همچنین، با تحلیل ویژگی‌هایی مانند اندازه، شکل، حاشیه و سرعت رشد ندول، احتمال بدخیمی را برآورد می‌کنند. ارزش اصلی این فناوری در کاهش احتمال نادیده‌گرفتن ضایعات کوچک و استانداردسازی پیگیری‌های بعدی است.

البته وجود ندول در ریه لزوماً به معنای سرطان نیست. عفونت‌ها، اسکارهای بافتی و تغییرات التهابی نیز می‌توانند یافته‌های مشابه ایجاد کنند. در نتیجه، خروجی هوش مصنوعی باید با سابقه بالینی، عوامل خطر بیمار و ارزیابی پزشک تلفیق شود.

۲-۳. سرطان پوست و تصاویر درموسکوپي

درموسکوپي امکان مشاهده ساختارهای ریز ضایعات پوستی را فراهم می‌کند. الگوریتم‌های یادگیری عمیق در طبقه‌بندی تصاویر ضایعات رنگدانه‌ای، از جمله ملانوما، نتایج امیدوارکننده‌ای نشان داده‌اند. برخی پژوهش‌ها عملکرد بالای این مدل‌ها را در مجموعه داده‌های کنترل‌شده گزارش کرده‌اند (Esteva et al., 2017).

با این حال، فاصله میان عملکرد در محیط پژوهشی و محیط واقعی درمانی می‌تواند قابل توجه باشد. کیفیت متفاوت تصاویر تلفن همراه، تنوع رنگ پوست، نور محیط، وجود مو یا آثار جراحی پیشین، و تفاوت در شیوع بیماری‌ها، همگی بر دقت سامانه اثر می‌گذارند. بنابراین، کاربرد عملی این ابزارها باید به غربالگری یا کمک به تصمیم‌گیری محدود شود و تشخیص نهایی بر عهده پزشک باقی بماند.

۲-۴. سرطان پروستات و MRI

MRI چندپارامتری پروستات در شناسایی ضایعات مشکوک به سرطان اهمیت زیادی دارد. هوش مصنوعی می‌تواند در قطعه‌بندی غده پروستات، تشخیص نواحی مشکوک و کمک به امتیازدهی استاندارد تصاویر نقش

داشته باشد. این قابلیت به‌ویژه در کاهش تفاوت میان تفسیر متخصصان مختلف و تسهیل برنامه‌ریزی بیوپسی هدفمند اهمیت دارد.

در عین حال، مدل‌های هوش مصنوعی در این حوزه باید با تفاوت پروتکل‌های تصویربرداری، انواع دستگاه MRI و تنوع کیفیت تصاویر سازگار شوند. اعتبارسنجی چندمرکزی و ارزیابی در شرایط واقعی، پیش‌نیاز استفاده مسئولانه از این ابزارهاست.

۵-۲. پاتولوژی دیجیتال

اگرچه اسلایدهای پاتولوژی از نظر فنی «تصویر پزشکی» محسوب می‌شوند، ماهیت آن‌ها با تصاویر رادیولوژی متفاوت است. اسکن دیجیتال اسلایدهای بافتی با وضوح بسیار بالا، امکان تحلیل میلیون‌ها سلول را فراهم می‌کند. هوش مصنوعی می‌تواند نواحی مشکوک را برجسته کند، درجه‌بندی تومور را پشتیبانی کند و حتی برخی نشانگرهای مولکولی را به‌صورت پیش‌بینی‌گر از روی الگوهای بافتی برآورد نماید.

کاربرد اصلی در اینجا، افزایش سرعت مرور اسلایدها و کاهش احتمال غفلت از کانون‌های کوچک توموری است. با این حال، کیفیت رنگ‌آمیزی، تفاوت اسکنرها و تنوع روش‌های آزمایشگاهی می‌تواند باعث افت عملکرد مدل شوند.

۳. منافع بالینی و عملیاتی هوش مصنوعی

استفاده صحیح از هوش مصنوعی در تشخیص زودهنگام سرطان می‌تواند مزایای متعددی ایجاد کند:

۱. **افزایش حساسیت تشخیص:** الگوریتم می‌تواند یافته‌های ظریف یا غیرمعمول را به متخصص یادآوری کند.

۲. **کاهش زمان تفسیر:** در مراکز پرتردد، اولویت‌بندی هوشمند تصاویر می‌تواند زمان پاسخ‌گویی را کاهش دهد.

۳. **استانداردسازی ارزیابی:** مدل‌ها می‌توانند اندازه‌گیری ضایعه و مقایسه با تصویر قبلی را با ثبات بیشتری انجام دهند.

۴. **پشتیبانی از مناطق کم‌برخوردار:** در مناطقی با کمبود متخصص، ابزارهای کمکی ممکن است دسترسی به غربالگری اولیه را بهبود بخشند.

۵. مدیریت بهتر ریسک: ترکیب داده تصویری با سن، سابقه خانوادگی، نتایج آزمایشگاهی و عوامل خطر می‌تواند مدل‌های پیش‌بینی شخصی‌سازی‌شده‌تری ایجاد کند.

با وجود این، «دقت بالا» به‌تنهایی معیار کافی برای سودمندی بالینی نیست. باید بررسی شود که آیا استفاده از سامانه واقعاً به کاهش مرگ‌ومیر، تشخیص در مراحل پایین‌تر، کاهش تأخیر درمان یا بهبود بهره‌وری منجر می‌شود یا خیر.

۴. محدودیت‌ها، ریسک‌ها و ملاحظات اخلاقی

سوگیری داده و عدالت در سلامت

اگر داده آموزشی مدل عمدتاً از یک جمعیت، یک مرکز درمانی یا یک نوع دستگاه تصویربرداری گردآوری شده باشد، ممکن است عملکرد آن در گروه‌های دیگر ضعیف‌تر شود. این مسئله می‌تواند نابرابری در دسترسی یا کیفیت تشخیص را تشدید کند. بنابراین، داده‌های آموزشی باید تا حد امکان متنوع و نماینده جمعیت واقعی باشند.

خطای مثبت و منفی کاذب

خطای مثبت کاذب ممکن است باعث اضطراب بیمار، تصویربرداری تکمیلی یا بیوپسی غیرضروری شود. در مقابل، خطای منفی کاذب می‌تواند تشخیص و درمان را به تأخیر اندازد. آستانه تصمیم‌گیری مدل باید با هدف بالینی، میزان شیوع بیماری و پیامدهای خطا تنظیم شود.

شفافیت و قابلیت توضیح

بسیاری از مدل‌های عمیق مانند «جعبه سیاه» عمل می‌کنند؛ یعنی می‌توانند خروجی دقیقی تولید کنند، اما منطق آن‌ها برای کاربر کاملاً شفاف نیست. روش‌های هوش مصنوعی توضیح‌پذیر، مانند نقشه‌های حرارتی، می‌توانند ناحیه مؤثر در تصمیم مدل را نمایش دهند؛ اما این ابزارها نیز جایگزین اعتبارسنجی علمی نیستند.

مسئولیت‌پذیری و نظارت انسانی

طبق اصول سازمان جهانی بهداشت، استفاده از هوش مصنوعی در سلامت باید با حفظ اختیار تصمیم‌گیری انسان، ایمنی، شفافیت، پاسخ‌گویی و عدالت همراه باشد (WHO, ۲۰۲۱). در عمل، لازم است مسئولیت تصمیم بالینی، فرایند ثبت خطا، پایش عملکرد پس از استقرار و سازوکار رسیدگی به اعتراض یا خطا، به‌صورت روشن تعریف شود.

حریم خصوصی و امنیت داده

تصاویر پزشکی حاوی داده‌های حساس هستند. هرگونه توسعه یا استقرار سامانه هوش مصنوعی باید شامل ناشناس‌سازی داده‌ها، کنترل دسترسی، ثبت رویدادها، امنیت سایبری و رعایت الزامات محرمانگی اطلاعات بیمار باشد.

۵. الزامات استقرار موفق در نظام سلامت

برای تبدیل یک الگوریتم موفق پژوهشی به ابزار قابل اتکای بالینی، اقدامات زیر ضروری است:

- اعتبارسنجی خارجی و چندمرکزی پیش از بهره‌برداری؛
- مقایسه عملکرد مدل با استاندارد مراقبت و عملکرد متخصصان؛
- تعریف شاخص‌های کلیدی مانند حساسیت، ویژگی، ارزش اخباری مثبت و منفی، نرخ فراخوانی و زمان گزارش‌دهی؛
- آموزش کاربران درباره قابلیت‌ها و محدودیت‌های سامانه؛
- پایش مستمر عملکرد مدل برای شناسایی افت دقت ناشی از تغییر داده‌ها یا تجهیزات؛
- یکپارچه‌سازی با سامانه‌های اطلاعات بیمارستانی و آرشیو تصاویر، بدون ایجاد اختلال در گردش کار؛
- ارزیابی اقتصادی برای سنجش هزینه پیاپی‌سازی در برابر منافع بالینی و عملیاتی.

چارچوب‌هایی مانند **CLAIM ۲۰۲۴** نیز بر گزارش شفاف داده‌ها، روش آموزش، اعتبارسنجی، تحلیل سوگیری و قابلیت بازتولید مطالعات هوش مصنوعی در تصویربرداری پزشکی تأکید دارند (Mongan et al., ۲۰۲۴).

نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی ظرفیت بالایی برای ارتقای تشخیص زودهنگام سرطان از طریق تحلیل ماموگرافی، CT، MRI، تصاویر پوستی و پاتولوژی دیجیتال دارد. این فناوری می‌تواند به شناسایی ضایعات ظریف، کاهش حجم کار متخصصان، اولویت‌بندی موارد پرخطر و استانداردسازی تحلیل تصاویر کمک کند. شواهد موجود،

به‌ویژه در غربالگری سرطان پستان و ارزیابی ندول‌های ریوی، نشان می‌دهد که استفاده هدفمند از هوش مصنوعی می‌تواند ارزش بالینی قابل توجهی داشته باشد.

با این حال، ارزش واقعی هوش مصنوعی نه در جایگزینی پزشک، بلکه در تقویت قضاوت بالینی اوست. اعتبارسنجی در جمعیت واقعی، نظارت انسانی، کنترل سوگیری، حفاظت از حریم خصوصی، شفافیت عملکرد و پایش مستمر، شروط لازم برای بهره‌برداری ایمن و عادلانه از این فناوری هستند. در نهایت، موفقیت هوش مصنوعی در تشخیص سرطان باید با پیامدهای واقعی برای بیمار—و نه صرفاً با شاخص‌های فنی مدل—سنجیده شود.

منابع

- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., et al. (۲۰۱۷). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(۷۶۳۹), ۱۱۵–۱۱۸.
- Lång, K., Dustler, M., Dahlblom, V., et al. (۲۰۲۳). Artificial intelligence-supported screen reading versus standard double reading in the Mammography Screening with Artificial Intelligence trial (MASAI): A clinical safety analysis. *The Lancet Oncology*, 24(۸), ۹۳۶–۹۴۴.
- Mongan, J., Moy, L., Kahn, C. E., Jr., et al. (۲۰۲۴). Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging (CLAIM): ۲۰۲۴ update. *Radiology: Artificial Intelligence*.
- World Health Organization. (۲۰۲۱). *Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance*. Geneva: WHO.
- World Health Organization. (۲۰۲۴). *Ethics and governance of artificial intelligence for health: Guidance on large multi-modal models*. Geneva: WHO.