

کاربرد هوش مصنوعی در تحلیل نشانگرهای زیستی بزاق برای تشخیص زودهنگام بیماری های دهان

معین حسینی

فارغ التحصیل دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی گرگان، گلستان، ایران

چکیده

تشخیص زودهنگام بیماری های دهان و دندان یکی از مهم ترین عوامل در پیشگیری از پیشرفت بیماری و افزایش موفقیت درمان است. روش های تشخیصی متداول در دندانپزشکی عمدتاً بر معاینه بالینی، روش های تصویربرداری، بررسی های آزمایشگاهی و در برخی موارد نمونه برداری و ارزیابی بافت شناسی متکی هستند. اگرچه این روش ها همچنان اساس تشخیص بیماری های دهان محسوب می شوند، اما در برخی شرایط ممکن است نتوانند تغییرات مولکولی و زیستی مرتبط با بیماری را در مراحل بسیار اولیه شناسایی کنند. در سال های اخیر، بزاق به عنوان یک منبع غیرتهاجمی و در دسترس برای شناسایی نشانگرهای زیستی مورد توجه قرار گرفته است. بزاق حاوی مجموعه متنوعی از پروتئین ها، اسیدهای نوکلئیک، متابولیت ها، آنزیم ها، مولکول های التهابی و وزیکول های خارج سلولی است که برخی از آنها می توانند منعکس کننده تغییرات مرتبط با بیماری های دهان باشند.

از سوی دیگر، پیشرفت های اخیر در حوزه هوش مصنوعی و به ویژه یادگیری ماشینی، امکان تحلیل حجم زیادی از داده های زیستی و شناسایی الگوهای پیچیده میان نشانگرهای مختلف را فراهم کرده است. ترکیب تحلیل نشانگرهای بزاقی با الگوریتم های هوش مصنوعی می تواند امکان شناسایی الگوهای مرتبط با بیماری را فراهم کرده و به عنوان ابزاری مکمل برای تشخیص زودهنگام بیماری هایی مانند پوسیدگی دندان، بیماری های پریدونتال و سرطان های دهان مورد استفاده قرار گیرد. هدف از این مقاله بررسی ظرفیت های موجود در استفاده همزمان از نشانگرهای زیستی بزاق و هوش مصنوعی برای تشخیص زودهنگام بیماری های دهان است. در این مقاله، مهم ترین گروه های نشانگرهای بزاقی، نقش روش های مبتنی بر یادگیری ماشینی، کاربردهای بالقوه در تشخیص بیماری های شایع دهان، مزایا و محدودیت های این روش و چشم انداز استفاده از آن در دندانپزشکی مورد بررسی قرار می گیرد. با وجود نتایج امیدبخش مطالعات اخیر، استفاده گسترده بالینی از این فناوری همچنان نیازمند مطالعات با حجم نمونه بالاتر، استانداردسازی روش جمع آوری و تحلیل بزاق و اعتبارسنجی مدل های هوش مصنوعی در جمعیت های مختلف است. با این حال، تلفیق نشانگرهای زیستی بزاقی با هوش مصنوعی می تواند در آینده به توسعه روش های تشخیصی سریع، غیرتهاجمی و شخصی سازی شده در حوزه دندانپزشکی کمک کند.

کلیدواژه ها: هوش مصنوعی، نشانگرهای زیستی بزاق، بیماری های دهان، یادگیری ماشینی، تشخیص زودهنگام

مقدمه

تشخیص زودهنگام بیماری های دهان و دندان یکی از ارکان اساسی در دندانپزشکی نوین به شمار می رود. بسیاری از بیماری های دهان از جمله پوسیدگی دندان، بیماری های پریدنتال و ضایعات بدخیم دهانی در مراحل اولیه با تغییرات مولکولی و زیستی همراه هستند که ممکن است پیش از بروز تظاهرات بالینی واضح ایجاد شوند. شناسایی این تغییرات در مراحل اولیه می تواند امکان مداخله درمانی سریع تر، کاهش عوارض و بهبود پیش آگهی بیماری را فراهم کند. در حال حاضر، تشخیص بیماری های دهان عمدتاً بر اساس معاینه بالینی، ارزیابی رادیوگرافیک، بررسی های آزمایشگاهی و در موارد خاص نمونه برداری و ارزیابی بافت شناسی انجام می شود. اگرچه این روش ها از جایگاه مهمی در تشخیص برخوردار هستند، اما توسعه روش های غیرتهاجمی و قابل تکرار برای شناسایی تغییرات اولیه بیماری همچنان مورد توجه پژوهشگران قرار دارد.

در سال های اخیر، بزاق به عنوان یکی از منابع بالقوه برای تشخیص و پایش بیماری های دهان مورد توجه گسترده قرار گرفته است. جمع آوری بزاق برخلاف نمونه گیری خون روشی ساده، غیرتهاجمی، کم هزینه و قابل تکرار است و به تجهیزات پیچیده ای نیاز ندارد. علاوه بر این، بزاق حاوی مجموعه متنوعی از مولکول های زیستی از جمله پروتئین ها، پپتیدها، آنزیم ها، اسیدهای نوکلئیک، متابولیت ها، سایتوکین ها، اجزای میکروبی و وزیکول های خارج سلولی است. تغییرات در میزان یا الگوی این مولکول ها می تواند با فرآیندهای پاتولوژیک موجود در حفره دهان ارتباط داشته باشد و از این رو، برخی از آنها به عنوان نشانگرهای زیستی بالقوه برای شناسایی بیماری های دهان مورد بررسی قرار گرفته اند.

یکی از مهم ترین زمینه های تحقیقاتی در این حوزه، استفاده از نشانگرهای زیستی بزاقی برای شناسایی بیماری هایی مانند پوسیدگی دندان و بیماری های پریدنتال است. در این بیماری ها، واکنش های التهابی، تغییرات میکروبی و آسیب بافتی می توانند موجب تغییر در ترکیب مولکولی بزاق شوند. همچنین در سرطان های دهان، به ویژه سرطان سلول سنگفرشی دهان، مطالعات متعددی به بررسی پروتئین ها، microRNA ها، DNA و سایر مولکول های موجود در بزاق پرداخته اند. با وجود نتایج امیدبخش، استفاده از یک نشانگر منفرد معمولاً نمی تواند تمام پیچیدگی های فرآیند بیماری را نشان دهد و به همین دلیل، بررسی همزمان مجموعه ای از نشانگرها اهمیت بیشتری پیدا کرده است.

از طرف دیگر، افزایش حجم داده های حاصل از مطالعات مولکولی و زیستی، نیاز به روش های تحلیلی پیشرفته تر را افزایش داده است. هوش مصنوعی و به ویژه روش های یادگیری ماشینی می توانند با تحلیل همزمان تعداد زیادی از متغیرها، الگوها و ارتباطاتی را شناسایی کنند که ممکن است با روش های آماری سنتی به سادگی قابل تشخیص نباشند. الگوریتم های یادگیری ماشینی قادر هستند بر اساس داده های حاصل از نمونه های بیماران، الگوهای مرتبط با وجود یا عدم وجود یک بیماری را شناسایی کرده و سپس از این الگوها برای طبقه بندی نمونه های جدید استفاده کنند.

ترکیب هوش مصنوعی با تشخیص مبتنی بر بزاق، یک حوزه نسبتاً جدید در دندانپزشکی محسوب می شود. در این رویکرد، به جای تمرکز صرف بر یک مولکول خاص، مجموعه ای از نشانگرهای زیستی می توانند به صورت همزمان مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. چنین رویکردی می تواند به شناسایی الگوهای پیچیده مرتبط با بیماری کمک کند و در آینده برای غربالگری افراد در معرض خطر، تشخیص زودهنگام، پیش بینی روند بیماری و حتی پایش پاسخ به درمان مورد استفاده قرار گیرد.

با وجود ظرفیت قابل توجه این فناوری، انتقال نتایج حاصل از مطالعات آزمایشگاهی به کاربرد بالینی با چالش های متعددی همراه است. تفاوت در روش جمع آوری و نگهداری نمونه های بزاق، شرایط فردی بیماران، رژیم غذایی، سن، مصرف دارو، سیگار، میزان

جریان بزاق و تفاوت در روش های آزمایشگاهی می تواند بر نتایج تاثیر بگذارد. از طرف دیگر، مدل های هوش مصنوعی ممکن است در صورت استفاده از نمونه های کوچک یا داده های غیرمتنوع، دچار بیش برآزش شوند و در جمعیت های جدید عملکرد ضعیف تری داشته باشند. بنابراین، اعتبارسنجی خارجی و انجام مطالعات با حجم نمونه مناسب از الزامات مهم برای استفاده بالینی از این روش ها محسوب می شود.

با توجه به رشد سریع مطالعات مربوط به نشانگرهای زیستی بزاق و پیشرفت همزمان فناوری های هوش مصنوعی، بررسی ارتباط میان این دو حوزه می تواند تصویری روشن تر از ظرفیت های آینده تشخیص در دندانپزشکی ارائه دهد. بر همین اساس، هدف مقاله حاضر بررسی کاربرد هوش مصنوعی در تحلیل نشانگرهای زیستی بزاق برای تشخیص زودهنگام بیماری های دهان، با تمرکز بر پوسیدگی دندان، بیماری های پریودنتال و سرطان های دهان، و همچنین بررسی مزایا، محدودیت ها و چشم انداز استفاده بالینی از این فناوری است.

روش تحقیق

این مقاله به صورت یک مطالعه مروری روایی انجام شد. به منظور شناسایی مطالعات مرتبط با کاربرد هوش مصنوعی در تحلیل نشانگرهای زیستی بزاق برای تشخیص بیماری های دهان، جستجوی منابع علمی در پایگاه های اطلاعاتی PubMed، Scopus، Web of Science و Google Scholar انجام گرفت. جستجو با استفاده از ترکیب کلمات کلیدی مرتبط با موضوع مقاله شامل Oral Cancer، Periodontal Disease، Dental Caries، Diseases، Artificial Intelligence، Machine Learning، Deep Learning، Salivary Biomarkers، Saliva، Oral انجام شد.

در انتخاب منابع، مقالات منتشر شده در سال های اخیر در اولویت قرار گرفتند تا تحولات جدید حوزه هوش مصنوعی و تشخیص مولکولی بیماری های دهان مورد توجه قرار گیرد. همچنین در صورت ضرورت برای توضیح مفاهیم پایه یا مطالعات شاخص، از برخی منابع قدیمی تر و معتبر نیز استفاده شد.

مطالعاتی که به بررسی نشانگرهای زیستی موجود در بزاق، روش های تحلیل داده های بزاقی با استفاده از هوش مصنوعی یا یادگیری ماشینی و کاربرد این روش ها در تشخیص بیماری های دهان پرداخته بودند، در مطالعه مورد توجه قرار گرفتند. مطالعاتی که ارتباط مشخصی با موضوع مقاله نداشتند یا فاقد اطلاعات کافی درباره نشانگرهای زیستی، روش های هوش مصنوعی و کاربرد تشخیصی آنها بودند، از بررسی نهایی کنار گذاشته شدند.

پس از مطالعه عنوان و چکیده منابع شناسایی شده، مقالات مرتبط برای بررسی دقیق تر انتخاب شدند. اطلاعات مربوط به نوع نشانگر زیستی، نوع بیماری، روش تشخیص، الگوریتم مورد استفاده و مهم ترین یافته های گزارش شده استخراج و به صورت توصیفی مورد مقایسه قرار گرفتند. با توجه به ماهیت روایی مقاله، تجزیه و تحلیل آماری یا متاآنالیز انجام نشد و نتایج مطالعات به صورت توصیفی و تحلیلی ارائه شدند.

نشانگرهای زیستی بزاق و نقش آنها در تشخیص بیماری های دهان یافته ها

بزاق به عنوان یکی از مایعات زیستی مهم بدن، در سال های اخیر توجه قابل توجهی را در حوزه تشخیص بیماری های دهان به خود جلب کرده است. تماس مستقیم بزاق با بافت های دهان باعث می شود که تغییرات ایجاد شده در محیط دهان، التهاب، فعالیت

میکروبی و آسیب های بافتی بتوانند در ترکیب مولکولی آن منعکس شوند. به همین دلیل، بررسی بزاق می تواند اطلاعاتی درباره وضعیت سلامت حفره دهان در اختیار پژوهشگران و متخصصان قرار دهد.

بزاق حاوی مجموعه گسترده ای از مولکول های زیستی شامل پروتئین ها، پپتیدها، آنزیم ها، اسیدهای نوکلئیک، متابولیت ها، سایتوکین ها، آنتی بادی ها و ویکول های خارج سلولی است. تغییرات کمی و کیفی در این اجزا می تواند با بیماری های مختلف دهان ارتباط داشته باشد. برای مثال، فرآیندهای التهابی ناشی از بیماری های پرودنتال می توانند موجب تغییر در سطح برخی پروتئین ها و میانجی های التهابی شوند. همچنین تغییرات مرتبط با میکروبیوم دهان و متابولیسم میکروبی می توانند در پروفایل مولکولی بزاق منعکس شوند.

یکی از مهم ترین مزایای بزاق در مقایسه با برخی نمونه های زیستی دیگر، سهولت و غیرتهاجمی بودن نمونه گیری است. جمع آوری بزاق معمولا بدون درد انجام می شود و می توان آن را در فواصل زمانی مختلف تکرار کرد. این ویژگی می تواند استفاده از بزاق را در مطالعات غربالگری و همچنین پایش بیماران در طول زمان تسهیل کند. با این حال، ترکیب بزاق تحت تاثیر عوامل متعددی مانند سن، رژیم غذایی، مصرف دارو، استعمال دخانیات، میزان آب بدن، زمان نمونه گیری و سرعت ترشح بزاق قرار می گیرد و این موضوع می تواند بر نتایج آزمایش تاثیر بگذارد.

در مطالعات جدید، به جای تمرکز بر یک نشانگر منفرد، توجه بیشتری به پنل های چندنشانگری معطوف شده است. دلیل این مسئله آن است که بیماری های دهان معمولا حاصل یک فرآیند پیچیده هستند و یک مولکول منفرد نمی تواند تمام ابعاد بیماری را نشان دهد. بررسی همزمان چندین نشانگر می تواند تصویر کامل تری از تغییرات زیستی مرتبط با بیماری ارائه دهد. این موضوع اهمیت استفاده از روش های محاسباتی پیشرفته مانند هوش مصنوعی را بیشتر می کند

کاربرد هوش مصنوعی در تشخیص پوسیدگی دندان

پوسیدگی دندان یکی از شایع ترین بیماری های حفره دهان است و تشخیص آن در مراحل اولیه می تواند نقش مهمی در جلوگیری از پیشرفت ضایعه و کاهش نیاز به درمان های تهاجمی داشته باشد. در مراحل ابتدایی، فرآیند دمینرالیزاسیون ممکن است بدون ایجاد علائم واضح اتفاق بیفتد و به همین دلیل شناسایی تغییرات زیستی مرتبط با شروع بیماری از اهمیت بالایی برخوردار است.

بزاق می تواند اطلاعاتی درباره تعامل میان بافت دندان، میکروارگانیسم های دهان و عوامل محیطی ارائه کند. تغییرات در برخی پروتئین ها، آنزیم ها، متابولیت ها و همچنین الگوهای میکروبی بزاق در ارتباط با پوسیدگی دندان مورد مطالعه قرار گرفته اند. این تغییرات ممکن است نشان دهنده افزایش فعالیت میکروبی، تغییر شرایط محیط دهان و افزایش خطر ایجاد یا پیشرفت پوسیدگی باشند.

هوش مصنوعی می تواند امکان تحلیل همزمان مجموعه ای از این اطلاعات را فراهم کند. در یک مدل مبتنی بر یادگیری ماشینی، به جای آنکه تنها یک نشانگر مورد توجه قرار گیرد، چندین متغیر می توانند به طور همزمان وارد مدل شوند. الگوریتم سپس تلاش می کند الگویی را شناسایی کند که بین نمونه های افراد سالم و افراد دارای پوسیدگی تفاوت ایجاد می کند.

چنین رویکردی در صورت اثبات دقت و قابلیت اطمینان می تواند در آینده برای شناسایی افراد دارای خطر بالاتر پوسیدگی مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال، فردی که هنوز ضایعه واضح بالینی ندارد اما الگوی مولکولی بزاق او با خطر بالاتر پوسیدگی مطابقت دارد، ممکن است نیازمند مراقبت پیشگیرانه دقیق تر، اصلاح رژیم غذایی و کنترل بیشتر عوامل خطر باشد.

با وجود این، استفاده از تحلیل بزاقی مبتنی بر هوش مصنوعی برای تشخیص پوسیدگی هنوز در مرحله توسعه قرار دارد. تفاوت های فردی در ترکیب بزاق، تفاوت در روش های نمونه گیری و آماده سازی نمونه و همچنین محدود بودن برخی مطالعات از نظر تعداد نمونه، از جمله عواملی هستند که می توانند بر عملکرد مدل های هوش مصنوعی تاثیر بگذارند.

کاربرد هوش مصنوعی در بیماری های پریدونتال

بیماری های پریدونتال با مجموعه ای از تغییرات التهابی و میکروبی در بافت های اطراف دندان همراه هستند. التهاب مزمن و فعال شدن پاسخ ایمنی می توانند موجب آزاد شدن انواع مختلفی از پروتئین ها، آنزیم ها و میانجی های التهابی شوند که برخی از آنها ممکن است در بزاق قابل شناسایی باشند.

سایتوکین های التهابی، آنزیم های مرتبط با تخریب بافت، پروتئین های مرتبط با پاسخ ایمنی و برخی نشانگرهای میکروبی از جمله مواردی هستند که در مطالعات مربوط به تشخیص بیماری های پریدونتال مورد بررسی قرار گرفته اند. تغییرات این نشانگرها می توانند اطلاعاتی درباره وجود یا شدت التهاب پریدونتال ارائه کنند.

استفاده از هوش مصنوعی در این حوزه می تواند امکان ارزیابی همزمان تعداد زیادی از این نشانگرها را فراهم کند. برای مثال، الگوریتم های یادگیری ماشینی می توانند داده های مربوط به چندین نشانگر التهابی را همراه با اطلاعات بالینی بیمار تحلیل کرده و الگوی را شناسایی کنند که با بیماری پریدونتال ارتباط دارد.

این روش در صورت توسعه و اعتبارسنجی می تواند به عنوان یک ابزار مکمل در کنار معاینه بالینی مورد استفاده قرار گیرد. در شرایط فعلی، تشخیص و تعیین شدت بیماری پریدونتال بر اساس مجموعه ای از شاخص های بالینی از جمله خونریزی هنگام پروب، عمق پاکت پریدونتال، از دست رفتن اتصال و شواهد رادیوگرافیک انجام می شود. تحلیل بزاق می تواند در آینده اطلاعات مولکولی اضافی در اختیار دندانپزشک قرار دهد.

یکی دیگر از کاربردهای احتمالی این فناوری، پایش بیماران پس از درمان است. اگر الگوریتم های هوش مصنوعی بتوانند تغییرات الگوهای مولکولی بزاق را در طول زمان شناسایی کنند، امکان استفاده از این روش برای ارزیابی پاسخ به درمان و شناسایی احتمال تداوم یا عود التهاب وجود خواهد داشت.

کاربرد هوش مصنوعی در تشخیص سرطان های دهان

سرطان های دهان، به ویژه سرطان سلول سنگفرشی دهان، از مهم ترین بیماری هایی هستند که تشخیص زودهنگام آنها می تواند تاثیر قابل توجهی بر روند درمان و پیش آگهی بیمار داشته باشد. اگرچه معاینه بالینی و نمونه برداری بافت همچنان اساس تشخیص قطعی محسوب می شوند، توسعه روش های غیرتهاجمی برای شناسایی افراد مشکوک یا در معرض خطر از اهداف مهم پژوهش های جدید است.

بزاقت به دلیل وجود مولکول های مختلف مرتبط با فرآیندهای سلولی و التهابی، در این زمینه مورد توجه قرار گرفته است. پروتئین ها، DNA، RNA، microRNA ها و متابولیت های موجود در بزاق می توانند تحت تاثیر تغییرات مرتبط با بدخیمی قرار گیرند. برخی مطالعات نشان داده اند که پروفایل برخی از این مولکول ها در افراد مبتلا به سرطان دهان می تواند با افراد سالم تفاوت داشته باشد.

مشکل اصلی آن است که الگوهای مرتبط با سرطان معمولاً پیچیده هستند و ممکن است یک نشانگر منفرد توانایی کافی برای تشخیص بیماری نداشته باشد. هوش مصنوعی می تواند در این مرحله نقش مهمی ایفا کند، زیرا امکان تحلیل همزمان چندین نشانگر و شناسایی الگوی کلی مرتبط با بیماری را فراهم می کند.

یک مدل یادگیری ماشینی می تواند با استفاده از نمونه های شناخته شده، ارتباط میان مجموعه ای از نشانگرهای بزاقی و وضعیت بیمار را یاد بگیرد. پس از آموزش و اعتبارسنجی، چنین مدلی می تواند برای ارزیابی نمونه های جدید مورد استفاده قرار گیرد و احتمال وجود بیماری را تخمین بزند.

با این حال، استفاده از هوش مصنوعی در این حوزه به معنای جایگزینی نمونه برداری و تشخیص پاتولوژیک نیست. در شرایط فعلی، کاربرد منطقی تر این فناوری می تواند در حوزه غربالگری و شناسایی افراد پرخطر باشد. در صورت مشاهده الگوی مشکوک در نمونه بزاق، فرد می تواند برای معاینه تخصصی تر و در صورت نیاز نمونه برداری ارجاع شود.

مزایای استفاده از هوش مصنوعی در تحلیل نشانگرهای بزاقی

ترکیب هوش مصنوعی و تحلیل نشانگرهای زیستی بزاق دارای مزایای متعددی است. نخستین مزیت، ماهیت غیرتهاجمی نمونه گیری بزاق است. این ویژگی امکان انجام نمونه گیری های مکرر را فراهم می کند و می تواند برای برنامه های غربالگری و پایش طولانی مدت بیماران مفید باشد.

مزیت دیگر، توانایی هوش مصنوعی در تحلیل همزمان داده های متعدد است. در روش های سنتی ممکن است هر نشانگر به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گیرد، در حالی که الگوریتم های یادگیری ماشینی می توانند ارتباط میان چندین متغیر را به طور همزمان بررسی کنند.

همچنین می توان داده های مولکولی بزاق را در کنار اطلاعات بالینی و فردی بیمار قرار داد. ترکیب این داده ها می تواند در آینده امکان ایجاد مدل های شخصی سازی شده برای ارزیابی خطر بیماری را فراهم کند. چنین رویکردی با مفهوم دندانپزشکی شخصی سازی شده هماهنگ است و می تواند به انتخاب اقدامات پیشگیرانه متناسب با شرایط هر فرد کمک کند.

محدودیت ها و چالش های موجود

با وجود ظرفیت بالای این فناوری، استفاده بالینی از هوش مصنوعی برای تحلیل نشانگرهای بزاقی همچنان با محدودیت های قابل توجهی مواجه است. یکی از مهم ترین چالش ها، تفاوت در روش جمع آوری و نگهداری نمونه های بزاق است. شرایط نمونه گیری می تواند بر غلظت و پایداری برخی نشانگرها تاثیر بگذارد و در نتیجه مقایسه نتایج مطالعات مختلف را دشوار کند.

عوامل فردی مانند سن، رژیم غذایی، مصرف دارو، استعمال دخانیات، میزان آب بدن، بهداشت دهان و میزان ترشح بزاق نیز می توانند بر پروفایل بزاق تاثیر بگذارند. بنابراین، مدل های هوش مصنوعی باید با داده هایی آموزش ببینند که تنوع واقعی جمعیت را به اندازه کافی نشان دهند.

حجم نمونه نیز اهمیت زیادی دارد. آموزش یک مدل پیچیده بر اساس تعداد محدودی از بیماران ممکن است باعث ایجاد بیش برآزش شود. در چنین شرایطی مدل ممکن است در داده های مورد استفاده برای آموزش عملکرد مناسبی داشته باشد اما در بیماران جدید دقت کافی نداشته باشد. به همین دلیل، استفاده از مجموعه داده های بزرگ، مطالعات چندمرکزی و اعتبارسنجی خارجی ضروری است.

از سوی دیگر، برخی الگوریتم های پیشرفته هوش مصنوعی به عنوان مدل های نسبتاً غیرشفاف شناخته می شوند و ممکن است مشخص نباشد که مدل بر اساس چه عواملی به یک نتیجه خاص رسیده است. در حوزه پزشکی، قابلیت تفسیر نتایج اهمیت زیادی دارد و توسعه مدل های قابل تفسیر می تواند اعتماد متخصصان به این فناوری را افزایش دهد.

چشم انداز آینده

آینده تشخیص بیماری های دهان با استفاده از بزاق و هوش مصنوعی می تواند به سمت سامانه های چندنشانگری و چندمنظوره حرکت کند. در این سامانه ها، اطلاعات مربوط به پروتئین ها، اسیدهای نوکلئیک، متابولیت ها و میکروبیوم می توانند به صورت همزمان مورد تحلیل قرار گیرند.

یکی دیگر از مسیرهای احتمالی، ترکیب اطلاعات بزاق با سایر داده های تشخیصی مانند تصاویر داخل دهان، رادیوگرافی و اطلاعات پرونده بیمار است. چنین رویکردی می تواند امکان ایجاد مدل های تشخیصی جامع تر را فراهم کند و هوش مصنوعی را از یک ابزار صرفاً آزمایشگاهی به یک ابزار کمک تشخیصی در محیط بالینی نزدیک تر کند.

همچنین توسعه ابزارهای قابل حمل برای جمع آوری و تحلیل بزاق می تواند استفاده از این فناوری را در مطب های دندانپزشکی تسهیل کند. در صورت کاهش هزینه و افزایش سرعت آزمایش ها، امکان استفاده از تحلیل بزاق در برنامه های غربالگری و مراقبت های پیشگیرانه نیز بیشتر خواهد شد.

با این حال، پیش از ورود گسترده این فناوری به دندانپزشکی روزمره، انجام مطالعات بالینی بزرگ، استانداردسازی روش های نمونه گیری و آزمایش، اعتبارسنجی مدل ها در جمعیت های مختلف و بررسی مقرون به صرفه بودن آنها ضروری است.

یافته ها

بررسی منابع موجود نشان داد که بزاق به عنوان یک منبع غیرتهاجمی و در دسترس، ظرفیت قابل توجهی برای شناسایی تغییرات زیستی مرتبط با بیماری های دهان دارد. مطالعات مورد بررسی نشان می دهند که بزاق حاوی گروه های متنوعی از نشانگرهای زیستی شامل پروتئین ها، پپتیدها، آنزیم ها، اسیدهای نوکلئیک، متابولیت ها، سایتوکین ها و مولکول های مرتبط با میکروبیوم دهان است. تغییر در سطح یا الگوی این مولکول ها در شرایط بیماری می تواند اطلاعاتی درباره وضعیت بافت های دهان و شدت فرآیندهای التهابی یا تخریبی فراهم کند.

در مجموع، شواهد موجود نشان می دهد که استفاده از مجموعه ای از نشانگرهای زیستی نسبت به بررسی یک نشانگر منفرد، ظرفیت بیشتری برای تشخیص بیماری دارد. این موضوع به ویژه در بیماری هایی مانند بیماری های پریدونتال و سرطان دهان اهمیت دارد، زیرا فرآیند ایجاد و پیشرفت این بیماری ها تحت تاثیر عوامل متعدد سلولی، التهابی و میکروبی قرار دارد. بنابراین، الگوی همزمان چندین نشانگر می تواند اطلاعات کامل تری نسبت به یک متغیر منفرد ارائه دهد.

در ارتباط با پوسیدگی دندان، مطالعات نشان داده اند که برخی تغییرات در پروفایل پروتئینی، متابولیتی و میکروبی بزاق می تواند با وجود یا خطر بالاتر پوسیدگی ارتباط داشته باشد. اگرچه این تغییرات به تنهایی برای تشخیص قطعی کافی نیستند، ترکیب چندین متغیر می تواند امکان شناسایی الگوهای مرتبط با پوسیدگی را افزایش دهد. بر این اساس، استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشینی می تواند در شناسایی افراد دارای خطر بالاتر پوسیدگی و کمک به برنامه ریزی اقدامات پیشگیرانه مورد توجه قرار گیرد.

در مطالعات مربوط به بیماری های پریدونتال نیز تغییرات در نشانگرهای التهابی، آنزیم های مرتبط با تخریب بافت و عوامل میکروبی موجود در بزاق مورد توجه قرار گرفته است. یافته های موجود نشان می دهند که ترکیب این اطلاعات می تواند برای افتراق افراد سالم از افراد مبتلا به التهاب و بیماری پریدونتال مفید باشد. استفاده از هوش مصنوعی می تواند با تحلیل همزمان این متغیرها، الگوهای پیچیده مرتبط با بیماری را شناسایی کند. این ظرفیت همچنین می تواند در آینده برای ارزیابی خطر پیشرفت بیماری و پایش تغییرات بیمار پس از درمان مورد استفاده قرار گیرد.

یکی از مهم ترین حوزه های مورد توجه، کاربرد نشانگرهای بزاقی در شناسایی سرطان های دهان است. مطالعات مختلف به بررسی پروتئین ها، DNA، RNA، microRNA ها و متابولیت های بزاقی در افراد مبتلا به سرطان دهان پرداخته اند. در مجموع، نتایج نشان می دهد که برخی از این مولکول ها می توانند بین افراد مبتلا و افراد سالم تفاوت داشته باشند. با این حال، تفاوت در جمعیت های مورد مطالعه و روش های آزمایش باعث شده است که هنوز یک پنل استاندارد و مورد توافق برای تشخیص سرطان دهان بر اساس بزاق ایجاد نشود.

بررسی مطالعات مرتبط با هوش مصنوعی نشان داد که الگوریتم های یادگیری ماشینی می توانند برای تحلیل مجموعه های بزرگ و چندبعدی داده های بزاقی مورد استفاده قرار گیرند. مزیت اصلی این الگوریتم ها آن است که به جای تمرکز بر یک نشانگر، امکان ارزیابی همزمان تعداد زیادی از متغیرها را فراهم می کنند. این مسئله به ویژه در شرایطی اهمیت دارد که ارتباط میان نشانگرهای مختلف و بیماری خطی و ساده نباشد.

یافته های موجود همچنین نشان می دهد که عملکرد مدل های هوش مصنوعی تا حد زیادی به کیفیت داده های مورد استفاده برای آموزش وابسته است. مدل هایی که با مجموعه داده های کوچک یا جمعیت های محدود آموزش داده شده اند ممکن است در همان جمعیت عملکرد مناسبی داشته باشند، اما قابلیت تعمیم آنها به بیماران جدید مشخص نباشد. به همین دلیل، اعتبارسنجی خارجی و استفاده از داده های مربوط به جمعیت های مختلف از مهم ترین الزامات توسعه مدل های قابل استفاده در بالین محسوب می شود.

از نظر بالینی، مهم ترین ظرفیت شناسایی شده برای این فناوری، استفاده از آن به عنوان ابزار مکمل در کنار روش های استاندارد تشخیصی است. تحلیل هوشمند بزاق در صورت اثبات دقت کافی می تواند در غربالگری افراد پرخطر، شناسایی زودهنگام تغییرات مشکوک و پایش روند بیماری مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، شواهد فعلی هنوز از جایگزینی معاینه بالینی، تصویربرداری یا نمونه برداری با روش های مبتنی بر هوش مصنوعی حمایت نمی کند.

در مجموع، یافته های مطالعات مورد بررسی نشان می دهد که ترکیب نشانگرهای زیستی بزاقی با هوش مصنوعی دارای ظرفیت قابل توجهی برای توسعه روش های تشخیصی غیرتهاجمی در دندانپزشکی است. با این وجود، ناهمگونی روش های نمونه گیری، تفاوت در روش های آزمایش، عوامل فردی موثر بر ترکیب بزاق و محدودیت حجم نمونه در برخی مطالعات، همچنان از مهم ترین موانع برای ورود گسترده این فناوری به کاربرد بالینی محسوب می شوند.

بحث و نتیجه گیری

بررسی مطالعات موجود نشان می دهد که بزاق به عنوان یک منبع غیرتهاجمی، در دسترس و حاوی مجموعه متنوعی از مولکول های زیستی، ظرفیت قابل توجهی برای شناسایی تغییرات مرتبط با بیماری های دهان دارد. پروتئین ها، اسیدهای نوکلئیک، متابولیت ها، آنزیم ها، عوامل التهابی و نشانگرهای مرتبط با میکروبیوم از مهم ترین اجزای مورد توجه در مطالعات اخیر هستند. از سوی دیگر، استفاده از هوش مصنوعی و به ویژه الگوریتم های یادگیری ماشینی می تواند امکان تحلیل همزمان تعداد زیادی از نشانگرهای بزاقی و شناسایی الگوهایی را فراهم کند که با روش های سنتی ممکن است به سادگی قابل تشخیص نباشند. این ظرفیت در تشخیص زودهنگام یا ارزیابی خطر پوسیدگی دندان، بیماری های پرپودنتال و سرطان های دهان از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

با وجود نتایج امیدبخش، شواهد موجود هنوز برای استفاده از این روش به عنوان جایگزین روش های استاندارد تشخیصی کافی نیست. تفاوت در شیوه جمع آوری و نگهداری نمونه های بزاق، تنوع جمعیت های مورد مطالعه، تفاوت در روش های آزمایش و محدود بودن برخی مجموعه داده ها می تواند بر عملکرد مدل های هوش مصنوعی تاثیر بگذارد. بنابراین، انجام مطالعات با حجم نمونه بالاتر، استانداردسازی روش های آزمایش و اعتبارسنجی مدل ها در جمعیت های مختلف برای اثبات کاربرد بالینی این فناوری ضروری است.

در نهایت، تلفیق تحلیل نشانگرهای زیستی بزاق با هوش مصنوعی می تواند مسیر جدیدی برای توسعه روش های تشخیصی سریع، غیرتهاجمی و شخصی سازی شده در دندانپزشکی ایجاد کند. در صورت تایید دقت و قابلیت اعتماد این مدل ها در مطالعات آینده، این فناوری می تواند در کنار معاینه بالینی و سایر روش های تشخیصی، نقش موثری در شناسایی زودهنگام بیماری های دهان و بهبود تصمیم گیری درمانی داشته باشد.

- منابع انتهای مقاله:

- ۱- رستمی، ب.، میرزایی دیزگاه، م. ح.، و میرزایی دیزگاه، ا. (۱۳۹۹). ارزیابی سطح کمپلمان های C^3 و C^4 در بزاق غیرتحریک شده بیماران مبتلا به لیکن پلان دهانی. مجله دانشگاه علوم پزشکی قم، ۱۴(۳)، ۱۹-۲۵.
- ۲- خسروی سامانی، م.، پورستار بجه میر، ا.، جعفری، س.، کشیری، م.، و قوجق، د. (۱۳۹۷). پایش موفقیت جرم گیری و تسطیح ریشه در بیماران مبتلا به پرپودنتیت مزمن با نیتریک اکسید بزاقی. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مرتبط با دندانپزشکی.
- ۳- فدراسیون جهانی دندانپزشکی. (۱۴۰۱). چشم انداز ۲۰۳۰: خدمات بهینه سلامت دهان برای همه FDI World Dental Federation.

- ۴- Adeoye, J., & Su, Y.-X. (۲۰۲۴). Artificial intelligence in salivary biomarker discovery and validation for oral diseases. *Oral Diseases*, ۳۰(۱), ۲۳-۳۷. <https://doi.org/10.1111/odi.14641>
- ۵- Constantin, V., Luchian, I., Goriuc, A., Budala, D. G., Bida, F. C., Cojocaru, C., Butnaru, O.-M., & Virvescu, D. I. (۲۰۲۵). Salivary biomarkers identification: Advances in standard and emerging technologies. *Oral*, ۵(۲), ۲۶. <https://doi.org/10.3390/oral5020026>
- ۶- Radu, C.-M., Radu, C. C., & Zaha, D. C. (۲۰۲۵). Salivary and microbiome biomarkers in periodontitis: Advances in diagnosis and therapy - A narrative review. *Medicina*, ۶۱(۱۰), ۱۸۱۸. <https://doi.org/10.3390/medicina61101818>
- ۷- Sun, J., Jia, Y., Wang, X., Cao, Z., & Zhu, G. (۲۰۲۶). Revolutionizing salivary biomarkers through machine learning and artificial intelligence. *Clinica Chimica Acta*, ۵۸۲, ۱۲۰۸۰۹. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2025.120809>