

ارزیابی آپنه خواب شفاف، قابل تفسیر و تعاملی مبتنی بر هوش مصنوعی در سناریوهای نظارتی انعطاف پذیر

شوای کونگاهو^۱، چین لیو^۲، یانان وانگ^۳
یانگ^۴

دریافت شده: ۱۱ نوامبر ۲۰۲۴
پذیرفته شده: ۳۰ زوئیه ۲۰۲۵

Published online: 14 August 2025

بررسی به روزسانی ها

تشخیص زودهنگام آپنه خواب تشخیص داده نشده گسترده برای جلوگیری از عوارض شدید آن برای سلامتی بسیار مهم است. با این حال، تشخیص در مقیاس بزرگ با نظارت غیرقابل دسترس و موانع اعتماد در تجزیه و تحلیل خودکار، به ویژه به دلیل عدم وجود چارچوب های هوش مصنوعی شفاف که قادر به نظارت بر سازگاری هستند، مواجه است. در اینجا، ما Apnea Interact Xplainer را توسعه می‌دهیم، یک سیستم شفاف که تشخیص آپنه خواب را از طریق تجزیه و تحلیل کanal انعطاف پذیر در محیط های بالینی و خانگی امکان پذیر می‌کند. با تجزیه و تحلیل ۱۵۸.۷ ضبط پلی سومونوگرافی از هفت گروه مستقل چند قومی، سیستم ما به دقت ۷۳.۸٪-۸۱.۰٪ برای طبقه بندی شدت چهار سطحی، با دقت ۹۹.۸٪ در یک درجه شدت و R-squared ۰.۹۲-۰.۹۶ دست می‌یابد. این سیستم تجسم چند سطحی قابل تفسیر با منطق تخصصی از الگوهای تنفس را فراهم می‌کند که تصمیم گیری مشارکتی شفاف را امکان پذیر می‌سازد. نکته قابل توجه این است که این روش برای تشخیص زودهنگام آپنه خواب تنها با استفاده از سیگانال های اکسی متربه حساسیت ۹۷.۰٪ دست می‌یابد، در حالی که ارزیابی ریسک شبانه و گزارش های نظارتی هوشمند را ارائه می‌دهد. این مطالعه یک تغییر الگو در پیشبرد تشخیص زودهنگام و مقرنون به صرفه آپنه خواب از طریق هوش مصنوعی شفاف ایجاد می‌کند.

درایالات متحده، تخمین زده می‌شود که ۷۵ تا ۹۰ درصد از بیماران مبتلا به SA تشخیص داده نشده باقی می‌مانند و هزینه های اقتصادی سالانه بیش از ۱۵۰ میلیارد دلار را متحمل می‌شوند.^۱ ماهیت پیچیده و گران قیمت پایش خواب (تقرباً ۱۵۰ دلار برای هر آزمون)^۲ و تحلیل دستی وقت گیر (به طور متوسط ۷.۷ دقیقه برای هر ضبط)^۳ منجر به تشخیص نادرست گستردگی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه که منابع مراقبت های بهداشتی محدود است، شده است. این چالش با گسترش جمعیت بیماران فراتر از جمعیت های مسن که به طور سنتی تحت تأثیر قرار گرفته اند و شامل بزرگسالان جوان تر به دلیل تغییرات سبک زندگی مدرن نیز می‌شود، تشدید می‌شود.^{۴,۵}

حدائق ۹۳۶ میلیون (۹۵٪ فاصله اطمینان: ۹۷-۹۰.۳) بزرگسال ۳۰ تا ۶۹ ساله در سراسر جهان از آپنه خواب خفیف تا شدید (SA) رنج می‌برند. یک اختلال خواب شایع که با وقایه های مکرر تنفس در طول خواب مشخص می‌شود. این دوره های تکراری هیپوکسی- اکسیژن رسانی مجدد باعث استرس اکسیداتیو، فعل شدن سمپاتیک و التهاب سیستمیک من شود. منجر به عوارض جدی سلامتی از جمله اختلال عصبی-شناختی من شود.^۶ بیماری های قلبی عروقی^۷ و اختلالات متابولیک^۸ تشخیص و مداخله زودهنگام بسیار مهم است زیرا این تغییرات پاتوفیزیولوژیک را می‌توان در مراحل اولیه معکوس کرد. با وجود سیستم های مراقبت های بهداشتی پیشتر فته در کشورهای توسعه یافته مانند



شكل ۱ | روند کلی کار مطالعه سیستم (AIX) شفاف را معرفی می کند که به تجسم تصمیم گیری هماهنگ با منتصص دست می یابد، تعامل یکپارچه انسان و ماشین را امکان پذیر می کند و از پیکربندی های نظارتی انعطاف پذیر در ساریوهای بالینی مختلف پشتیبانی می کند. الف. پایه شفاف پل سومونوگرافی سنتی (PSG) شامل تنظیمات پیچیده حسگر، تحمیل بار بر افراد و تکه بر حاشیه نوبس های دست توسط پزشکان است که کارایی تشخیص را کاهش داده و میزان غربالگری را محدود می کند. ب. پیکربندی های نظارتی انعطاف پذیر سیستم AIX با مردو روش آنالیز چند کاتاله ساده شده در آزمایش آپنه خواب حانگی (HSAT) و دستگاه های قابل حمل مبتنی بر

SpO₂ سیگنال هایی که با رویدادهای تنفسی تفسیر شده توسط متخصص مطابقت دارند و تفسیر قابل دریاب در سطح رویداد از فرایند تصمیم گیری مدل را ارایه می دهد.

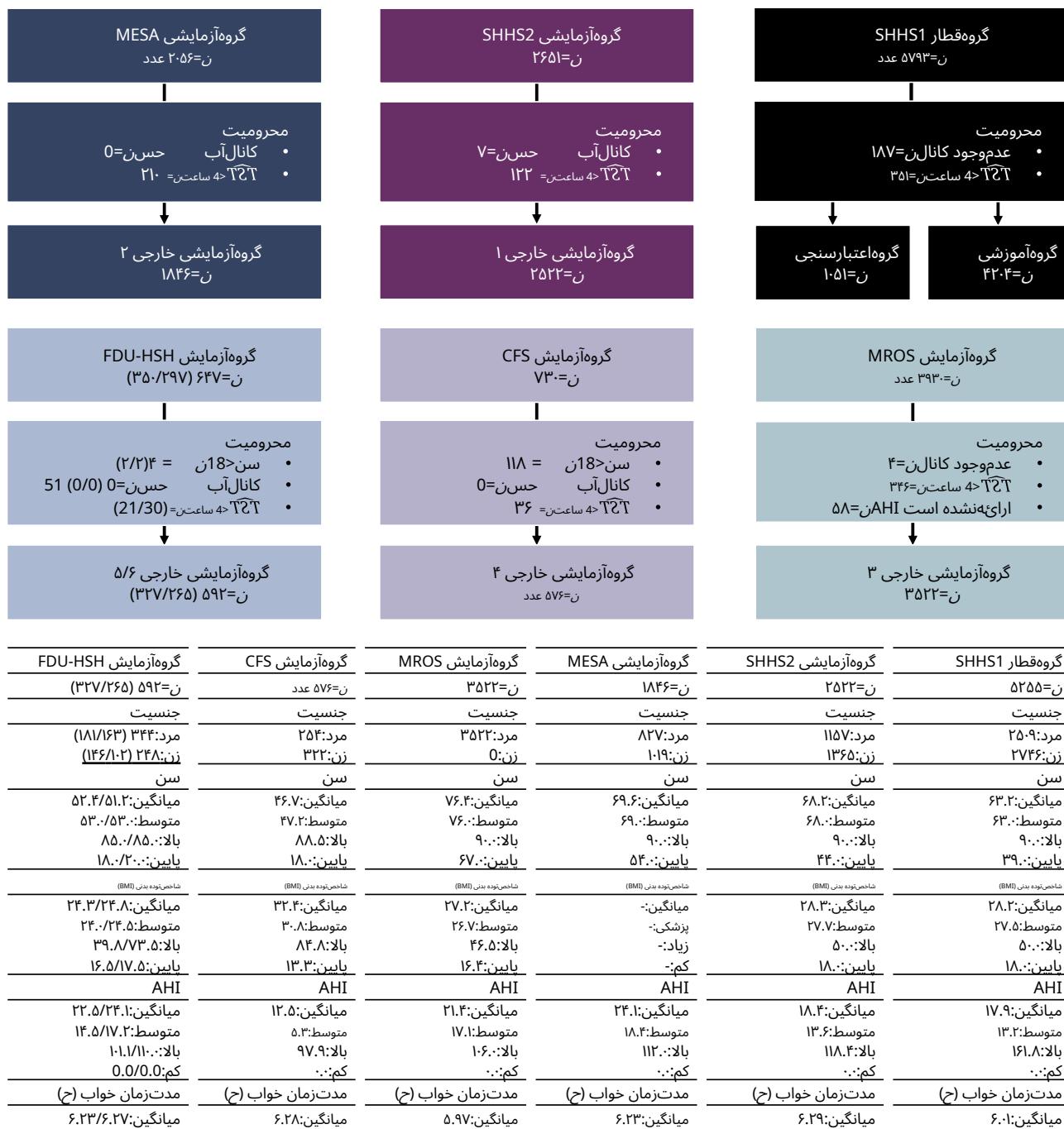
برای ساریوهای تک کاتاله (جیران، فسسه سینه یا SpO₂)، مدل اسیگنال های روودی با شکل [۱] از طریق شبکه انتشار مقیاس شفاف ما (TSD-Net) برای فعال کردن قابلیت دریاب منطق متخصص از طریق یک مکانیسم انتشار مقیاس شفاف که الگوهای توجه چند سطوح را برای تفسیر تصمیم هوش مصنوعی تجسم می کند، در حالی که مقادیر احتمال را برای تشخیص رویداد تنفسی خروجی می دهد. این مقادیر احتمال ۳۰٪ تا ۱۰۰٪ ای به هم متصل می شوند تا توالی احتمال یک شبیه را تشکیل دهند. برای پیکربندی های چند کاتاله، مدل ا برای هر کاتال، TSD-Net های موازی را مستقر می کند، که هر شبکه به عنوان یک استخراج کننده ویژگی عمل می کند. از طریق جمع آوری میانگین درامداد بعد کاتال و مسطح کردن ویژگی ها از خروجی مرحله ۴ (شکل [۲]، ۵۱۲.۸ ب.). جدول تکمیلی (۱۲)، هر ۸ TSD-Net ویژگی انتزاعی (شکل [۱]) را خروجی می دهد. ب. [۸]. این ویژگی ها به هم متصل می شوند تا یک بردار ویژگی ۲۴ بعدی ۸ (ویژگی ۳ کاتال) تشکیل دهند که سپس توسط LightGBM پردازش می شود. برای تولید دنباله احتمال شباهن.

مدل رگرسیون AHI (مدل ۲) این توالی های احتمال شباهن را برای تجزیه و تحلیل مجموعه از خروجی مسیتیقیم تک کاتاله و چه از ادغام چند کاتاله، پردازش می کند. این مدل خروجی های دوگانه تولید می کند: پیش بین AHI برای طبقه بندی شدت بالینی و محاسبه شاخص خطر آپنه خواب (SARI) به عنوان یک معیار خطر قابل تفسیر. SARI با در نظر گرفتن ویژگی های فراوان رویداد و مدت زمان در تخمین های احتمال، AHI را تکمیل می کند.

این معماری تطبیق، AIX را قادر می سازد تا قابلیت های تجزیه و تحلیل سازگار را در پیکربندی های مختلف مانیتورینگ حفظ کند، در عین حال تفسیر تصمیم گیری هماهنگ با متخصص را در سطح رویداد جزئی ارائه می دهد و از تشخیص دقیق و ارزیابی قابل تفسیر پشتیبانی می کند.

عملکرد پیکربندی کاتال انعطاف پذیر در رگرسیون AHI و طبقه بندی شدت SA

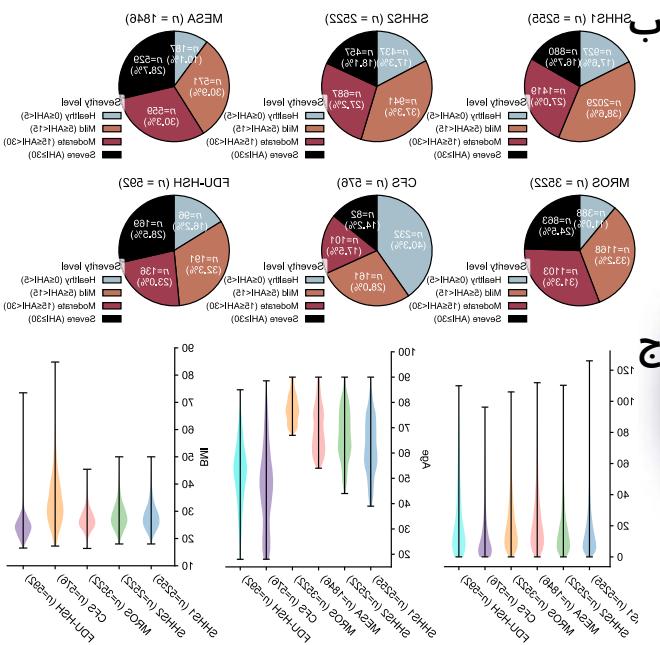
مدل SHHS1 غیر همپوشانی روی زیرمجموعه ای از آزمودنی های SHHS1 آموزش داده شده است. (ن=۷۸۹) بدون همپوشانی با آزمودنی های SHHS2، و روی ضبط های باقی مانده SHHS2 تمام ضبط های آزمایش شد. در مقابل،



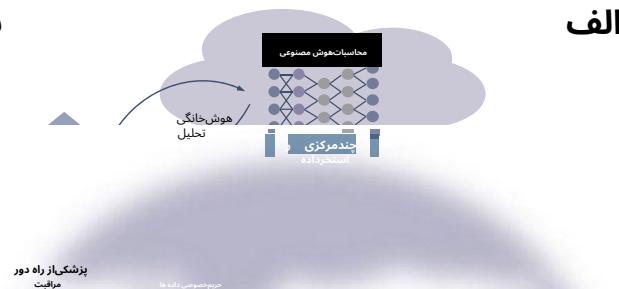
شکل ۲ | ویژگی های بالینی گروه های چند مرکزی NSRR و گروه های دنیا واقعی. تحقیقات خواب در دانشگاه فودان-بیمارستان هواشان، گذشته نگر/آینده نگر FDU-HSH، CFS، MROS، مطالعه چند قومیتی تصلب شرایین MESA، مطالعه خانواده کلیولند SHHS. مطالعه شکستگی های ناشی از پوکی استخوان در مردان. MROS، مطالعه سلامت قلب در خواب SHHS، MESA، مطالعه خانواده کلیولند SHHS1.

پیکربندی به دقت طبقه بندی قوی در بین گروه های سن زیر دست می باشد: (F1 = 0.80, F1 = 0.82, MESA) JACC = 0.74. Macro F1 = 0.74, MROS) JACC = 0.81. Macro = 0.79, SHHS1) ACC = 0.78, Macro F1 = 0.78, SHHS2) ACC = 0.81, Macro F1 = 0.78. تحلیل ماتریس های سردگرمی (شکل ۲)، نشان می دهد که خطاهای طبقه بندی عمده ترین دسته های شدت مجاور رخ می دهند، که با توجه به ماهیت پیوسته اندازه گیری های AHI از نظر بالینی قابل قبول است. این الگو با عملکرد بالینی همسو است، جایی که طبقه بندی های نادرست در درجه اول برای مواردی با مقادیر AHI نزدیک به مرزهای دسته بندی رخ می دهد و تأثیر محدودی بر تصمیم گیری بالینی دارد. مقایسه عملکرد دقیق در گروه های مختلف در شکل تکمیل ۴ و جداول تکمیل ۲ و ۳ ارایه شده است.

مدل All-Sub SHHS روی تمام آزمونهای گروه های خارجی (CFS و MESA، MROS) ارزیابی شد. برای ارزیابی عملکرد سیستم درسنباریوهای نظارتی انتعطاف پذیر، نتایج ادغام سه کاتالوگ (Gold) را به عنوان یک استانداردمراجع بالینی بررسی می کنیم. برای رگرسیون AHI، پیکربندی Gold عاملکرد عالی (R-squaredly) (۰.۹۰) نشان می دهد. (ر، ICC) به طورداماد بالای ۰.۹۰ در تمام گروه های آزمایشی: SHHS1، SHHS2، CFS، MROS، MESA (ICC = 0.94, SHHS2 = ۰.۹۱, MROS = ۰.۹۶, MESA = ۰.۹۶, CFS = ۰.۹۲, ICC = ۰.۹۱, MROS = ۰.۹۶, ICC = ۰.۹۶, SHHS1 = ۰.۹۰, ICC = ۰.۹۳) رجھار سطحی (عادی، خفیف، متوسط، شدید) به طور کامل ارزیابی می کنیم SA مهم تر از آن، برای کاربرد بالینی، ما عملکرد سیستم را در طبقه بندی شدت (۰.۹۲, ICC = ۰.۹۳).



تخمين‌چگالی هسته (KDE) به شکل نمودارهای ویولن. نمودارهای ویولن، چگالی احتمال داده‌ها را در مقادیر مختلف نشان می‌دهند. به طوری که عرض فر ویولن نشان دهنده توزیع فراوانی است. خطوط زارکت‌ها مقادیر حداقل و حداکثر گروه امتداد من يابند. برای AHI و سن، قسمت پایین داده‌ها در طول پیش‌پردازش کوتاه شد (DAHI<0.5).¹⁸



ج

شکل ۳ | توزیع ویژگی‌های قومی در مناطق مختلف. الف: مدل‌های هوش مصنوعی با استفاده از جمعیت‌های قومی متنوع از مناطق مختلف آموزش داده می‌شوند. هف این فرآیند توسعه خدمات محاسبات هوش مصنوعی با قابلیت‌های تعمیم یافته بالا است که مسیرهای را برای پیاده‌سازی خدمات مرافقی‌های بهداشتی از راه دور هوشمند و مدیریت خودناظارتی در خانه ارائه می‌دهد. ب ترکیب‌شدت بیماری SA با استفاده از داده‌های مراکز مختلف تجزیه و تحلیل می‌شود. ج: با استفاده از این موارد قابل مشاهده هستند BMI سن و AHI.

برای اعتبارسنجی سارگاری سیستم با پیکربندی‌های نظارتی ساده شده، عملکرد کanal‌های منفرد را بیشتر ارزیابی می‌کنیم (شکل‌های تکمیلی 7-5). قابل ذکر است که SpO2 only-پیکربندی-طبقه بندی شدت نشان دهنده افت جزئی نسبت به استاندارددلایلی حفظ می‌کند: (MROS) ACC = 0.79, Macro F1 = 0.77, SHHS2)ACC = 0.78, Macro F1 = 0.78, MESA)ACC = 0.75, Macro F1 = 0.77, CFS)ACC = 0.77, Macro F1 = 0.78, SHHS1)ACC = 0.79, Macro F1 = 0.79, Flowonly)ACC = 0.59, MESA: ACC = 0.48, SHHS2: ACC = 0.61, SHHS1: ACC = 0.62, CFS: ACC = 0.49, MROS: ACC = 0.48, SHHS2: ACC = 0.60, SHHS1: ACC = 0.62, CFS: ACC = 0.55, MROS: ACC = 0.63).

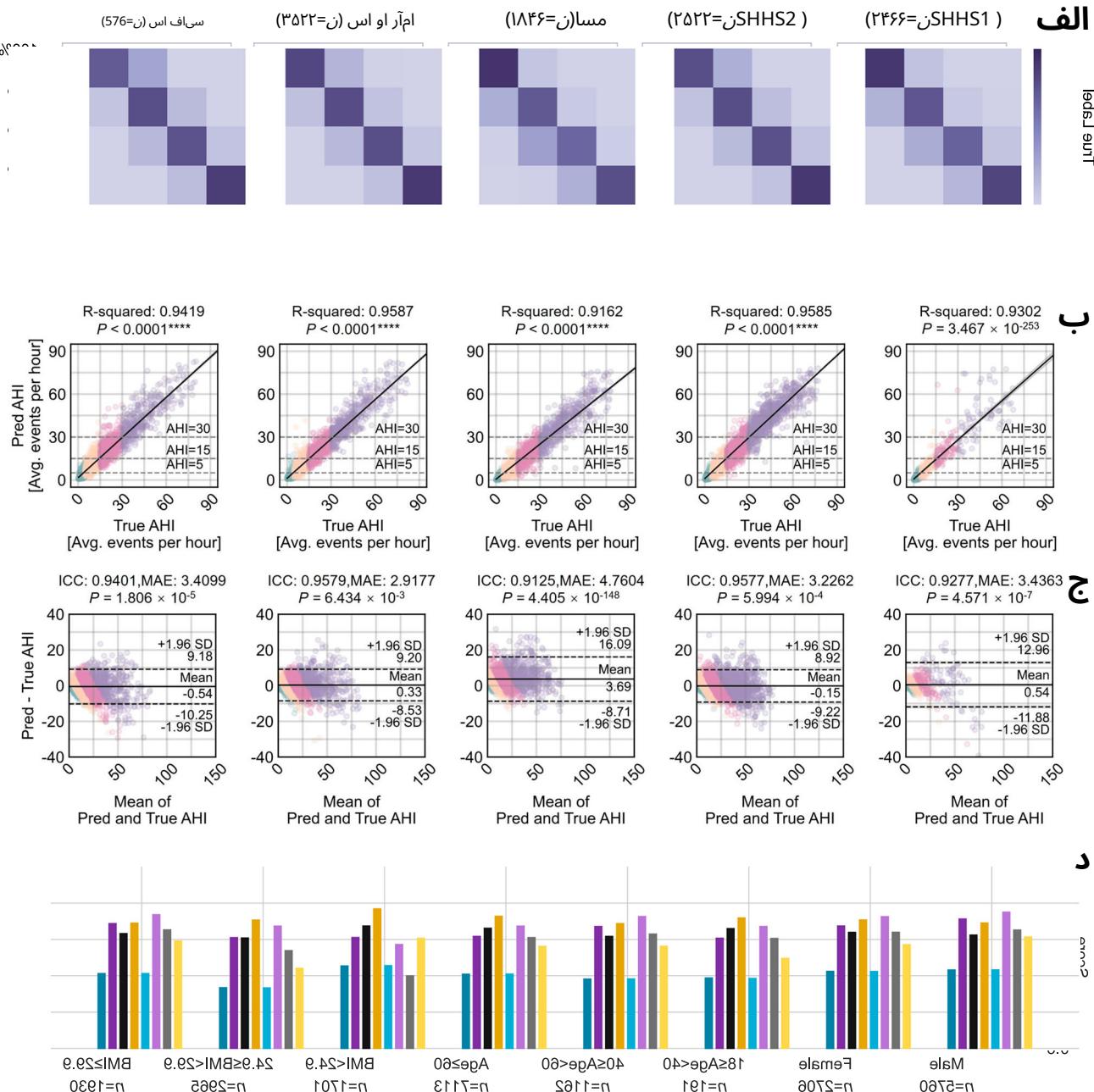
برای اعتبارسنجی بیشتر کاربرد بالین در سطوح شدت، عملکرد طبقه بندی را با استفاده از آستانه‌ای مختلف (SpO2 only-7-6) تجزیه و تحلیل می‌کنیم. نتایج عملکرد تابث را در گذارهای شدت نشان می‌دهند. به ویژه برای تشخیص زودهنگام SA نقطه‌آستانه AHI در (5, 0.7351)، گروه‌های آزمایش کسب می‌کند: (MROS: 0.805, CFS: 0.877) Macro F1 = 0.842, MESA: 0.827, SHHS2: 0.874, SHHS1: 0.901). که تقریباً با استاندارددلایلی (SHHS2: 0.874, MROS: 0.860, CFS: 0.901) مطابقت دارد. این امر به ویژه برای غربالگری در سطح جمعیت و مداخله‌زدنهنگام قابل توجه است. با این حال، که SpO2 only- فقط پیکربندی به طور کلی خوب عمل می‌کند، چالش‌های خاص در گروه‌های خاص باقی مانند.

براساس SpO2 تک کanal‌های پیکربندی، MROS حساسیت پایینی را در گروه سالم نشان می‌دهد (شکل تکمیلی 7)، که با ادبیات مطابقت دارد.¹⁹ احتمالاً به این دلیل که افراد سالم‌آن ویژگی‌های مشابه با واقعیت تنفس غیرطبیعی نشان می‌دهند. برای رفع این مشکل، پیکربندی Gold کanal‌های تنفس اضافی را در خود جای داده و اطلاعات تکمیلی را برای بهبود حساسیت در چنین ساریوهای چالش برانگیزی ارائه می‌دهد. با این حال، پیکربندی Gold

ارتباطات طبیعت | ۱۶۷۵۴۸ (۲۰۲۵)

ارزیابی‌پایداری بین جمعیتی AIX

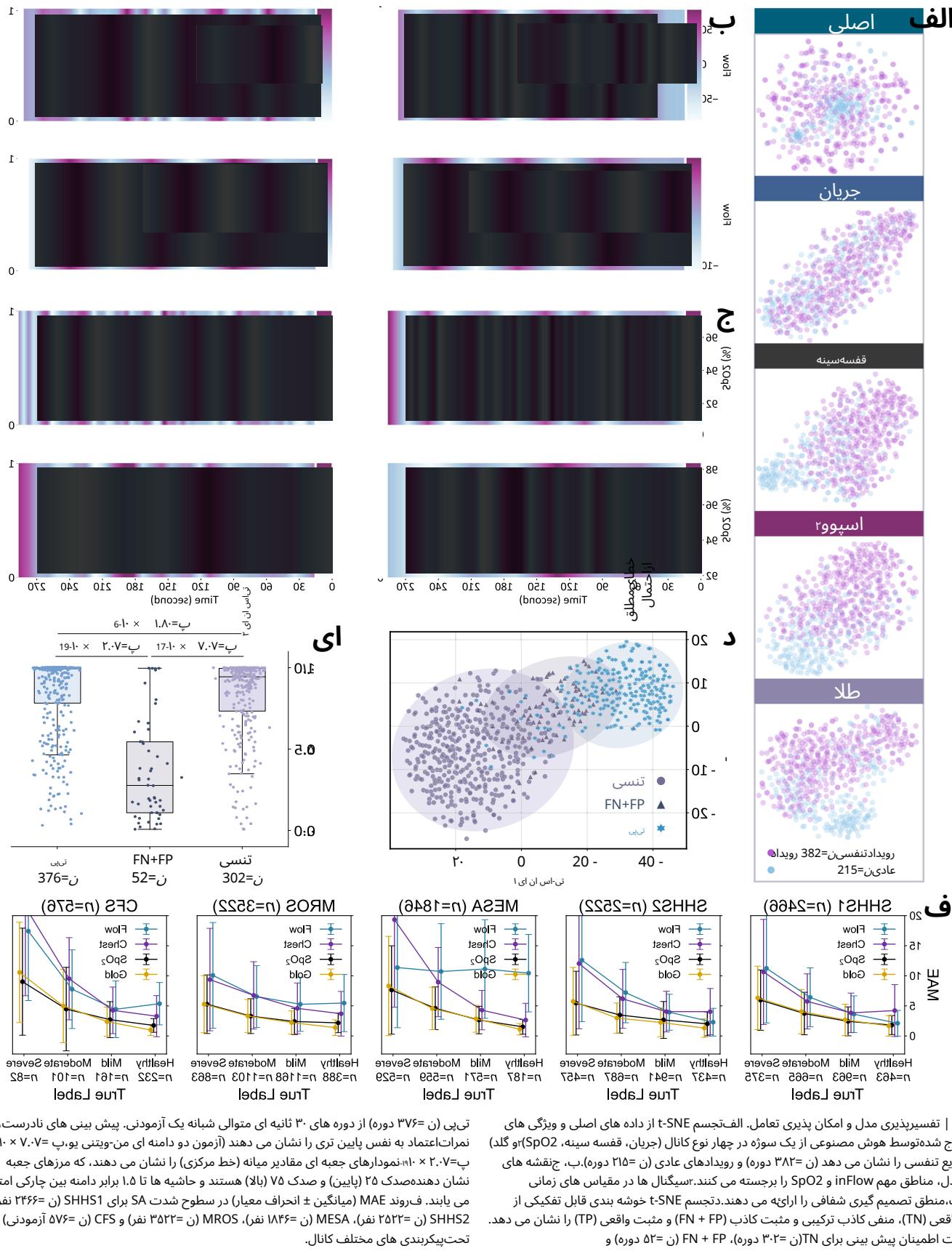
ماتحلیل پایداری جامعی را در بین گروه‌های جمعیتی و قومی انجام می‌دهیم. برای زیرگروه‌های جمعیتی، دو پیکربندی نماینده (SpO2) را ارزیابی می‌کنیم.²⁰ بر اساس جنسیت، سن و شاخص توده بدن (BMI) دسته‌بندی‌ها را با استفاده از داده‌های CFS و SHHS2, MESA, MROS (شکل ۱).²¹

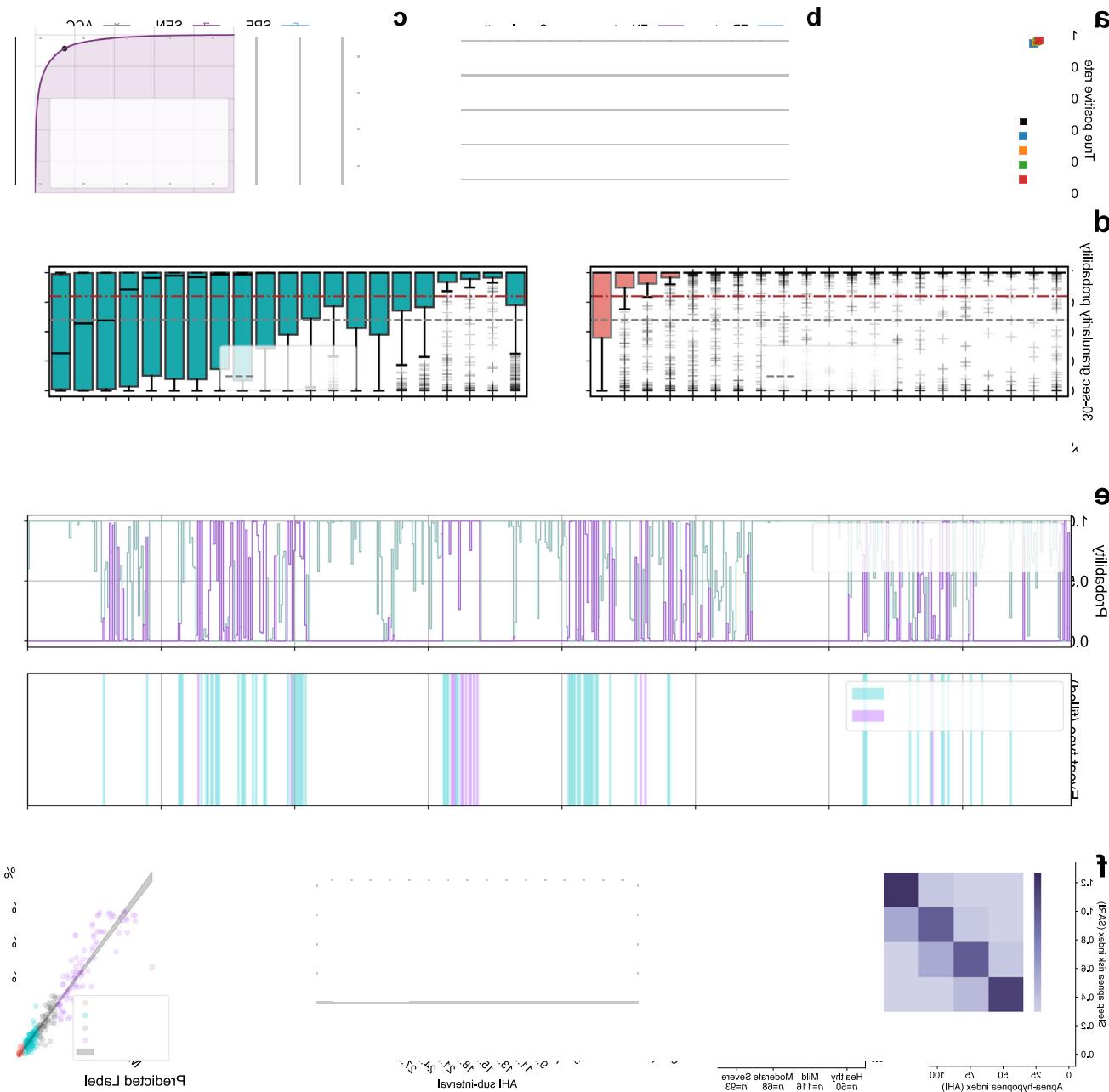


شکل ۴ | گروه های آزمایش خارجی (SHHS1, SHHS2, MESA, MROS, CFS) از نظر عملکرد ارزیابی می شوندو مدل بر روی داده های SHHS1 آموزش داده شده است. ماتریس درهم ریختگی، طبقه بندی رادر چهار سطح شدت نشان می دهد. بنودار پراکنده، همیستگی بین AHI و SHHS1 مقدار، همراه با قطر نشان دهنده مدل رگرسیون خطی، ICC و دو طرفه محاسبه من شود. ب-ارزیش، ج-نمودار Bland-Altman مقایسه AHI دستی و پیش بینی شده را با خطوط حظا در انحراف میار (± 1.96 SD) نشان می دهد. ضربه همیستگی درون گروهی (ICC) به آزمون رتبه علامت دار و لکاکسون دو طرفه محاسبه می شود. ضربه همیستگی درون گروهی (ICC) به همراه میانگین خطای مطلق میانگین تم (MAE) شاخص پیش بینی شده برای همه آزمودنی ها ارائه می شود. سبز، زرد، صورتی.

پیکربندی طلايين عملکرد پایداری را در گروه های مختلف حفظ می کند. برای جنسیت، Macro F1 آن برای مردان 0.81 است. (ن=۵۷۶) و ۰.۷۷ برای زنان (ن=۲۷۶). در بین گروه های سنی، عملکرد ثابت مانده است و نمرات برای بزرگسالان جوان ۰.۸۳ است (۱۸ سن کمتر از ۴۰ سال، ن=۱۹۱)، ۰.۸۱ برای بزرگسالان میانسال (۴۰-۶۵ سن کمتر از ۶۰ سال، ن=۱۱۳) و ۰.۷۹ برای جمعیت سالمندان (سن کمتر از ۶۵ سن، N=۷۷۴). به طور مشابه، برای دسته های BMI، پیکربندی قابلیت اطمینان را نشان می دهد.

دستیابی به امتیاز ۷۹: برای افراد با وزن طبیعی ($BMI > 24.9$)، ن=۱۷۰؛ برای افراد دارای اضافه وزن (ن=۲۴۹) شاخص توده بدنی > 29.9 (ن=۲۹۵)؛ برای افراد چاق ($BMI > 30$)، ن=۱۹۰. تغییرات جزئی در زنان، افراد مسن و افراد با $BMI \geq 30$ پایین تر مشاهده شود. احتمالاً دلیل تفاوت های فیزیولوژیکی است. نکته مهم این است که الگوهای پایداری مشابهی تحت SpO_2 مشاهده می شود. پیکربندی، این یافته ها را تقویت می کند (شکل تکمیلی ۲۵).





شکل ۶ | اعتبارسنجی ساریوی دنیای واقعی AIX و ازیابی ریسک (گروه گذشته نگر HSH-N، n=۳۲۷ آزمودن) الف) منحنی ROC برای طبقه بندی رویداد تنفسی دودوئی توسط AIX بر اساس SpO2 تکانالاه‌سیگنال هاب رابطه سه گانه بین نرخ FP، نرخ FN و نسبت نمونه بازیابی شده توسط AIX بر اساس فواصل آستانه تعامل مختلف. تأثیر نسبت های مختلف بررسی دستی بر عملکرد طبقه بندی رویداد تنفسی دودوئی توزیع پیش بینی احتمال مدت زمان های مختلف هیپوپنه/آپنه در دوره های ۳۰ ثانیه ای در بین افراد، که نمودار جعبه ای احتمال پیش بینی شده را نشان می دهد. دوره های هیپوپنه (n=۷-۷۵ دوره) نمرات احتمال متوسط (میانگین ± انحراف معیار؛ ۷-۷۵ دوره) نمرات احتمال بالای را نشان می دهند. در حالی که دوره های آپنه (n=8715 دوره) نمرات احتمال بالای را نشان می دهند (میانگین ± انحراف معیار؛ ۰.۰252 ± ۰.۰918). آزمون های کرسکال-والیس تفاوت های معنی داری را در گروه های زمانی برای هر دو هیپوپنه (ب=۸.۹۶ ± ۱.۹۱) و دوره های آپنه (ب=۷.۲۸ ± ۱.۹۱) آی پیش بینی دانه بندی شبانه AIX برای یک فرد، که احتمالات پیش بینی شده برای تنفس طبیعی و رویدادهای آپنه هیپوپنه، حاشیه تویسی های رویداد حقیقت زمینی، همراه با

مقادیر AHI و شاخص خطر آینه خواب (SARI) محاسبه شد. فهمیستگی بین SARI و AHI (آزمون مقادیر میانگین پیش بینی شده است. گرم مقادیر SARI در گروه های شدت SA (n=۳۲۷ آزمودن). آزمون های دو دامنه ای من ویتن یو: سالم در مقابل خفیف (ب=۱.۹۳ ± ۰.۲۱)، خفیف در مقابل متواتر (ب=۱.۹ ± ۰.۲۱)، متواتر در مقابل شدید (ب=۸.۲۸ ± ۰.۲۱)، ح مقایسه توزیع های SARI محاسبه شده با بدون وضعیت خواب در زیرازده های AHI (ن=۳۲۷ آزمودن)، داده ها به صورت میانگین ± انحراف میانگار از ایه شده اند. آزمون های کرسکال-والیس تفاوت های معنی داری را در زیرفواصل AHI برای هر دو حالت نشان می دهند (وضعیت بدون خواب: ب=۴.۴۶ ± ۰.۵۱، وضعیت خواب: ب=۸.۲۵ ± ۰.۱۰ آزمون همیستگی رتبه ای اسپیرممن دوطرفه، توافق قوی بین دو رویکرد را نشان می دهد (H=۰.۹۹۴، p=۰.۹۰۱، $\rho=0.994$). من ماتریس درهم ریختگی طبقه بندی شدت SA چهار سطحی توسط AIX در گروه گذشته نگر FDU-HSH. نمودارهای جمعه ای در (د، گ) مقادیر میانه (خط مرکزی) را نشان دهد، که مزه های کادر نشان دهنده صدک ۲۵ (پایین) و صدک ۷۵ (بالا) هستند، و ریش ها تا ۱.۵ برای دامنه بین چارک امتداد یافته اند.

تحلیل داده های چند کاتالوگ در طول شب (شکل تکمیلی ۳۱). حالت جمع آوری داده ها از هردو حالت خروجی آفلاین در طول شب و انتقال بلوتوث پشتیبانی می کند و تحلیل جامعه از وضعیت تنفس در طول شب فرد ارائه می دهد. AIX پیکربندی های مختلف کاتالوگ را در خود جای می دهد و آن را برای سفاربوهای نظرات حرفه ای و خانگی مناسب می سازد. برای داده های خام جمع آوری شده در طول شب، الگوریتم پیش پردازش backend سیگنال های بی کیفیت را حذف کرده و فیلتر مناسب را اعمال می کند. سیستم AIX در نهایت تحمسه های دانه بندی ۳۰ ثانیه ای (از جمله سیگنال های اطراف) را همراهبا اختلالات پیش بینی مدل مربوطه و انواع رویدادها ارائه می دهد. این سیستم همچنین AHI و SARI را برای کل شب نمایش می دهد. علاوه بر این، نقشه های حرارتی توجه که از طریق مکانیسم انتشار مقیاس شفاف ایجاد می شوند، روی هر سیگنال دانه بندی ۳۰ ثانیه ای قرار می گیرند و منطق تصمیم گیری را برای هر بخش اختناری ارائه می دهد. علاوه بر این، سیستم AIX دارای یکتابع نمایه سازی و جستجوی نمونه تعاملی است که با تنظیم آستانه های تعامل، امکان فیلتر کردن سرعی نمونه های مهم را برای بررسی دستی فراهم می کند. در نهایت، تابع خروجی با یک کلیک، گزارش های هوشمند نظرات SA را به صورت دسته ای تولید می کند (شکل تکمیلی ۳۲). این گزارش ها خواسته تجزیه و تحلیل های دقیقی از وقایع تنفسی و ارزیابی طبقه بندی خطر SA، هستند تا افراد را برای خواب، از جمله تخمین AHI و ارزیابی طبقه بندی خطر SA، هستند تا افراد را برای تشخیص و مداخله به موقع پیشتر راهنمایی کنند.

طراحی، تنظیم ذاتی کافی را فراهم می کند. نسبت گسترش، که گسترش کاتالوگ را در مازو های توجه کاتالوژنی تعیین می کند، که در ۲ تثبیت شده است، و به نمایش مؤثر ویژگی هادر عین حفظ کارایی محاسباتی دست می بارد.

اندازه هسته کاتالوژن سر، اهمیت نسبتاً کم را نشان داد و به عدد ۳ همگرا شد. این پنجه کاتالوژن کوچک برای ثبت ویژگی های تفسیس محلی در مرحله جاسازی اولیه کافی است و نمایش های محلی آموزنده ای را برای پردازش توجه در مقیاس بزرگ بعدی در لایه های عمیق تر آمده می کند.

برای مدل رگرسیون AHI (مدل ۲)، ما یک طراحی معماري اثبات شده با سه لایه کاتالوژن با استفاده از اندازه های هسته کاهشی (۵) را اتخاذ کردیم. ۱→۳ و به دنبال آن دولایه کامل‌متصل^{۱۴} این معماري ساده اما مؤثر، ضمن امكان استخراج کارآمد ویژگی های زمان‌چندمقیاسی، به جلوگیری از پیش برازش کمک می کند. ساختار شبکه سبک با اندازه هسته های کاهش یافته، هم کارایی محاسباتی و هم دقت پیش بینی قوی را برای استقرار بالین‌تضمنی می کند.

افزایش داده

برای افزایش تنوع داده های آموزشی و بهبود عملکرد تعمیم مدل، به طور تصادفی اختلالات نویز را به ورودی های اصلی اضافه می کنیم تا نمونه های اضافی ایجاد کیم. این فرآیند پس از نرم‌السانی امتیاز Z برای همه سیگنال های کاتالوگ اعمال می شود:

برای اعتبارسنجی مقرنون به صرفه بودن AIX، ما یک تحلیل هزینه جامع انجام من دهیم و آن را با حل های بالینی موجود مقایسه می کیم (شکل تکمیلی ۳۴). تمام دستگاه های PSG که در این مقایسه گنجانده شده اند، در حال حاضر در حال استفاده بالینی هستند و قیمت ها و میانگین مدت زمان آزمایش آنها تحت راهنمایی متخصصان پژوهش خواب ارائه شده است. قیمت دستگاه های قابل حمل/ساده شده مستقیماً^{۱۵} از تولیدکنندگان تجهیزات به دست آمده و زمان پردازش سیستم AIX به صورت تحریث تأیید شده است. همه قیمت ها با استفاده از نرخ ارز فعلی به دلار آمریکا تبدیل شده اند. همانطورکه در شکل تکمیلی ۳۴ نشان داده شده است، سیستم AIX مزایای قابل توجه را راظ نظر هزینه تجهیزات، هزینه های هر آزمایش و الزامات زمان فنی نشان می دهد. سیستم های سنتی Lab-PSG نیاز به سرمایه گذاری اولیه قابل توجهی^{۱۶} 68000 دلار (دارندو شامل هزینه های بالایی هر آزمایش 1000) تا 1500 دلار) با عملیات فنی طولانی (۳ تا ۴ ساعت) هستند. در حالی که HSAT^{۱۷} جایگزین اقتصادی تری با هزینه های تجهیزات کمتر^{۱۸} 14000 دلار) و هزینه های کاهش یافته هر آزمایش 200 تا 400 دلار) ارائه می دهد. اما، هنوز به زمان فنی قابل توجهی^{۱۹} ۱ ساعت) نیاز دارد. در مقابل، سیستم AIX با پشتیبانی از دستگاه های نظراتی مختلف، از حسگرهای پوشیدنی گرفته تا پیکربندی های قابل حمل PSG، از نظر هزینه و انعطاف پذیری، کارایی قابل توجهی را نشان می دهد. با توجه به اینکه هزینه تجهیزات در هنگام استفاده از یک یالس اکسیمتر انگشتی تک کاتالوگ به 15 دلار من رسد، و از آنچایی که AIX را می توان بدون نیاز به سخت افزار اضافی روی لپ تاپ های شخصی مستقر کرد، هزینه های هر آزمایش کمتر از 10 دلار باقی می ماند که شامل اوازم یکبار مصرف (مانند کاتولاهای بینی)، الزامات آموزشی مختلف، استهلاک تجهیزات و پشتیبانی فنی اولیه می شود. زمان عملیات فنی از طریق منطق تعاملی شفاف آن که با کمک هوش مصنوعی انجام می شود، به ۱ تا 10 دقیقه کاهش می یابد.

ارزیابی ارزش کمک جمعیتی در رگرسیون AHI شبانه

برای بررسی ارزش کمکی بالقوه ویژگی های جمعیتی در ارزیابی SA، ما ادغام آنها را در سطح توالي بررسی می کیم و این فرضیه را مطرح می کنیم که عوامل خطر جمعیتی ممکن است الگوهای تنفسی کل شبانه را تعديل کنند. ما دو رویکرد متمایز (شکل تکمیلی ۳۶) را طراحی می کنیم که بر روی توالي های 1024 طولی که از احتمالات پنجره 30 ثانیه ای درون یا بیش از ۳۰ ثانیه ای احتمال را در توالي میانگین می کنند. روش احتمال خطر شبانه (SARI) را ایجاد کیم، که به عنوان یک نشانگر خطر قابل تفسیر عمل می کند. این معیار، طول های مختلف رویدادهای تنفسی بین پنجه های 30 ثانیه ای را در بر می گیرد. در حالی که مقدادر احتمال باعکاس این تفاوت ها کمک می کند و بررسی دقیق تری از مدت زمان رویدادها نسبت به مقدار AHI ارائه می کند (شکل تکمیلی ۱۱).

مفهوم و تحلیل هزینه سیستم AIX شامل یک رابط تعاملی کاربرپسند است که تجزیه و تحلیل اپراتور را تسهیل می کند و پک مدل هوش مصنوعی که برای ... طراحی شده است.

- برکل پروژه ناظر داشت، و برایش انتقادی نسخه خطی، راهنمایی کلی و پشتیبانی مالی را رایه داد. همه نویسنده‌گان نسخه نهایی را برسی و تأیید کردند CY. دسترسی به داده‌ها، راهنمایی بالینی و اعتبارسنجی را فراهم کرد، بر بخشی از تحقیق ناظر داشت و پشتیبانی مالی ارائه داد HY. در جمی آوری داده‌های بالینی و اعتبارسنجی مشارکت داشت و راهنمایی بالینی ارائه داد JZ. در جمی آوری داده‌های بالینی، اعتبارسنجی و راهنمایی بالینی مشارکت داشت و پشتیبانی مالی ارائه داد CF.

منافع رقابتی
نویسنده‌گان هیچ گونه تصاد منافعی را اعلام نمی‌کنند.

اطلاعات تکمیلی

اطلاعات تکمیلی نسخه آنلاین شامل مطالب تکمیلی است که در آدرس زیر موجود است.

<https://doi.org/10.1038/s41467-025-62864-x>

مکاتبات و درخواست‌های مربوط به مطالب باید به آدرس هوان یو یا کوئی‌بیوی یانگ ارسال شود.

اطلاعات بررسی همتار ارتباطات طبیعت از هیانگ وون لی، توماس پنzel و دیگر داور (یا داوران) ناشناس برای مشارکتشان در بررسی دقیق این اثر تشکر می‌شود. فایل بررسی دقیق موجود است.

اطلاعات مربوط به چاپ مجدد و مجوزهای موجود است در <http://www.nature.com/reprints>

پادداشت‌ناشر اشپرینگر نیجر در مورد ادعاهای مربوط به صلاحیت قضایی در نقشه‌های منتشر شده ووابستگی‌های سازمانی بی‌طرف باقی ماند.

Creative Commons Attribution 4.0 دسترسی آزاد این مقاله تحت مجوز بین‌المللی منتشر شده است که استفاده، اشتراک گذاری، اقتباس، توزیع و تکثیر در هر رسانه یا قالب‌یابی مجاز می‌داند، مادرمی که به نویسنده‌گان (اصلی و منبع، اعتبار کافی داده شود، بیوندی به مجوز Creative Commons ارائه شود و در صورت ایجاد تغییرات، مشخص شود که آیا تغییرات ایجاد شده است یا خیر. تصاویر یا سایر مطالب شخص ثالث در این مقاله در مجوز Creative Commons مقاله‌گنجانده شده اند، مگر اینکه در خط اعتباری مطلب، خلاف آن ذکر شده باشد. اگر مطلبی در مجوز Creative Commons مقاله گنجانده شده باشد و استفاده مورد نظر شما طبق مقررات قانونی مجاز نباشد یا از حد مجاز تجاوز کند، باید مستقیماً از دارنده حق چاپ اجازه بگیرید. برای مشاهده نسخه ای از این مجوز، به <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

© نویسنده‌گان ۲۰۲۵

- ۵۴.وانگ، ای.، کوبیرنسکا، آی. و جفریز، بن. پیش بینی آپنه خواب با استفاده از یادگیری عمیق. IEEE(۰۳۲۰-۰۴۵۶-۰۷۱۶ IEEE J. Biomed. Health Information).
- ۵۵.لوی، جی. و همکاران. نشانگرهای زیستی اکسیمتری دیجیتال برای ارزیابی عملکرد تنفس: استانداردهای اندازه گیری، تفسیر فیرولوژیک و کاربرد بالینی. مجله پژوهشی NPJ Digit. ۱.۰۲۱ (۰۴).۰۷۲۸-۰۷۳۶ (۰۷-۰۷).
- ۵۶.ناکانو، اچ.، تانیگاوا، تی.، فوروکاوا، تی. و نیشیما، اس. تشخیص خودکار تنفس مختلف با شدیدر خواب از یک رکورد جریان هوای تک کاناله بیرون. تنفس. جی. ۲۹.۰۷۸۴-۰۷۳۶ (۰۷-۰۷).

۵۷.لين، دبليو. وو، ز.، چن، جي.، هوانگ، جي. و جين، ال. مدولاسيون آگاه از مقیاس با ترانسفورماتور. در مجموعه مقاالت کنفرانس بین‌المللی IEEE/CVF در زمینه بینایی کامپیوتار ۰۶۰۶-۰۶۱۵ (۰۳-۰۲۰۲).

۵۸.سلواراجو، آر. و همکاران. گرد-کم: توضیحات بصری از شبکه‌های عمیق از طریق محلی سازی مبتنی بر گردابیان. در مجموعه مقاالت کنفرانس بین‌المللی IEEE در زمینه بینایی کامپیوتار ۰۶۱۶-۰۶۱۸ (۰۱-۰۲۰۱).

۵۹.لوشچیلوف، آی. و هاتر، اف. تثبیت منظم سازی واپاشی وزن در آدام. (۰۱-۰۲۰۱).

۶۰.لين، تي.-واي.، گويال، پي.، گيرشيك، آر.، هن، كي. و دلار، پي. افت کانونی برای تشخیص اشیاء متراکم. در مجموعه مقاالت کنفرانس بین‌المللی IEEE در زمینه بینایی کامپیوتار ۰۲۹۸۸-۰۲۹۸۰ (۰۷-۰۲۰۲).

۶۱.ليو، ز. و همکاران. ترانسفورماتور سوین: استفاده از پنجه‌های جابجا شده. در مجموعه مقاالت کنفرانس بین‌المللی /CVF در زمینه بینایی کامپیوتار ۰۱۰۲-۰۱۰۱ (۰۱-۰۲۰۲).

۶۲.وانگ، تی.، لو، سی.، شن، جي. و هونگ، اف. تشخیص آپنه خواب از سیگنال ECG تکلید با استخراج خودکار و پیشگیری از طریق یک شبکه عصبی کانولوشنی LeNet-5 e7731 (۰۷-۰۲۰۱). اصلاح شده پیر جی.

۶۳.رادفورد، ای. و همکاران. یادگیری مدل‌های بصری قابل انتقال از ناظر از طبیعی. در کنفرانس بین‌المللی یادگیری ماشین..، ۲۰۲۱ (۰۷۸۴-۰۸۷۶۳) (PMLR).

۶۴.تاپا، ر. و همکاران. Sleepfm: یادگیری بازنمایی چندوجهی برای خواب در سیگنال‌های ECG و تنفس. در سمپوزیوم بهاره AAAI 2024 در مورد مدل‌های بنیادی بالینی (۰۲۰۲-۰۲۰۱).

تقدیرنامه‌ها

این کار تا حدی توسعه بنیاد ملی علوم طبیعی تحت کمک هزینه CY (۶۲۳۷۱۱۳۸)، تا حدی توسعه پژوهه بزرگ علم و فناوری شهرداری شانگهای تحت کمک هزینه STI2030 (۰۲۰۳-۰۲۰۲) (HY) و تا حدی توسعه SHDZDX02C01 (۰۲۰۲-۰۲۰۲) (CF) پژوهه‌های بزرگ تحت کمک هزینه ۰۲۰۲۲ZZD0214000 پشتیبانی شده است.

مشارکت‌های نویسنده

در ارزیابی سیستم، اعتبارسنجی روش شناسی کمک کرد و اصلاحات اساسی را در مقاله ارایه داد YY. در توسعه روش شناسی، طراحی و معماری سیستم مشارکت داشت و مقاله را اصلاح کرد ازال مطالعه را طراحی و اجرا کرد، روش شناسی را توسعه داد. آزمایش‌های تحلیل داده‌ها را انجام داد، سیستم را پیاده سازی کرد، متصورسازی‌ها را ایجاد کرد و پیش نویس مقاله را تهیه کرد SH