DOI: 10.48305/jims.2022.16314

مجله دانشکده پزشکی اصفهان | سال چهلم/شماره‌ی ۶۶۱/هفته‌ی اول اردیبهشت ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۳۰ | تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱ | تاریخ چاپ: ۱۴۰۱/۲/۷

روش جدید آنالیز فونوکاردیوگرام به منظور غربالگری بخشی از بیماری‌های قلبی– عروقی با به کارگیری مدل یادگیری عمیق

احسان محمدی[۱]، سعید کرمانی[۲]، مهدی نوریان زواره[۳]، آلاله زارع[۴]، حامد آقا پناه رودسری[۵]، مریم سمیعی نسب[۶]، حمید صانعی[۷]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: بیماری‌های قلبی– عروقی، یکی از علل اصلی مرگ و میر در سراسر جهان است. از این‌رو تشخیص زودهنگام بیماری‌های قلبی، ارزیابی سامانه‌ی قلبی– عروقی با استفاده از سمع قلب و آنالیز PCG (Phonocardiogram) روشی ارزان، غیرتهاجمی، سریع و غربالگری اتوماتیک بیماران قلبی– عروقی توسط آن در نواحی دور افتاده از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. هدف از این پژوهش، ارایه‌ی روشی جدید جهت غربالگری بیماران قلبی مبتنی بر پردازش سیگنال PCG است که در عین ارزان و سریع بودن، دارای صحت کافی باشد.

روش‌ها: در این مطالعه برای غربالگری ۲۰۶۲ سیگنال برچسب خورده‌ی PCG، با استخراج ویژگی‌های جدید و به کارگیری آن‌ها در شبکه‌های ۱– رندوم فارست (random forest)، ۲– کا نزدیک‌ترین همسایگی (K-nearest neighbors)، ۳– درخت تصمیم‌گیری (decision tree)، ۴– آنالیز افتراق خطی (Linear discriminant analysis)، ۵– رگرسیون لجستیک (logistic regression) و ۶– شبکه‌ی عصبی عمیق (Deep Neural Network)، شش مدل مختلف ساخته شد و هر کدام از آن‌ها به روش اعتبارسنجی متقابل کا (K = ۱۰) مورد ارزیابی قرار گرفت. دادگان تست به مدل‌های مذکور اعمال گردید و بر اساس خروجی آن‌ها سه شاخص صحت، حساسیت و ویژگی با هدف تدوین راهکاری نوین در غربالگری و تمایز بیماران قلبی از افراد سالم با استفاده از PCG محاسبه شد.

یافته‌ها: ارزیابی بر روی مدل‌های مذکور با محاسبه‌ی سه شاخص مذکور ۵ بار تکرار و مقادیر میانگین و واریانس آن‌ها محاسبه گردید. بالاترین مقدار حساسیت مربوط به شبکه‌ی عصبی عمیق با مقدار حساسیت و ویژگی ۰/۱۴ ± ۹۶/۴ و صحت ۰/۱۱ ± ۹۳/۴ می‌باشد.

نتیجه‌گیری: تمایز ویژگی‌های جدید به همراه موفقیت شبکه‌ی عصبی عمیق پیشنهادی، در تمایز بین PCG افراد سالم از بیماران، نشان‌دهنده‌ی کارآمد بودن الگوریتم پیشنهادی می‌باشد. با استفاده‌ی همزمان از چند طبقه‌بند با به کارگیری قاعده‌ی رأی‌گیری می‌توان روش را ارتقا بخشید.

واژگان کلیدی: تکنیک تشخیصی قلب و عروق؛ یادگیری عمیق؛ برنامه‌های غربالگری تشخیصی؛ بیماری‌های قلبی– عروقی

ارجاع: محمدی احسان، کرمانی سعید، نوریان زواره مهدی، زارع آلاله، آقا پناه رودسری حامد، سمیعی نسب مریم، صانعی حمید. **روش جدید آنالیز فونوکاردیوگرام به منظور غربالگری بخشی از بیماری‌های قلبی– عروقی با به کارگیری مدل یادگیری عمیق.** مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۴۰۱؛ ۴۰ (۶۶۱): ۱۱۴–۱۰۹

۱– دانشجوی دکترای مهندسی پزشکی، گروه مهندسی پزشکی (بیوالکتریک)، کمیته‌ی تحقیقات دانشجویی، دانشکده‌ی فناوری‌های نوین در علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲– استاد، گروه مهندسی پزشکی (بیوالکتریک)، مرکز تحقیقات پردازش تصویر و سیگنال پزشکی، دانشکده‌ی فناوری‌های نوین در علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۳– کارشناسی ارشد، گروه مهندسی پزشکی (بیوالکتریک)، کمیته‌ی تحقیقات دانشجویی، دانشکده‌ی فناوری‌های نوین در علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۴– دانشجوی دکترای گروه مهندسی پزشکی (بیوالکتریک)، کمیته‌ی تحقیقات دانشجویی، دانشکده‌ی فناوری‌های نوین در علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۵– دانشجوی دکترای مهندسی پزشکی، گروه مهندسی پزشکی (بیوالکتریک)، کمیته‌ی تحقیقات دانشجویی، دانشکده‌ی فناوری‌های نوین در علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۶– دکترای مهندسی پزشکی، گروه مهندسی پزشکی (بیوالکتریک)، دانشکده‌ی فناوری‌های نوین در علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۷– استاد، گروه داخلی فوق تخصص قلب، دانشکده‌ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

نویسنده‌ی مسؤول: سعید کرمانی: استاد، گروه مهندسی پزشکی (بیوالکتریک)، مرکز تحقیقات پردازش تصویر و سیگنال پزشکی، دانشکده‌ی فناوری‌های نوین در علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

Email: kermani@med.mui.ac.ir

مقدمه

امروزه بیماری‌های قلبی- عروقی، یکی از علل اصلی مرگ و میر در سراسر جهان است (۱). از این‌رو تشخیص زودهنگام بیماری‌های قلبی و ارزیابی سیستم قلبی- عروقی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سمع قلب، یکی از ارزان و سریع‌ترین آزمایش‌های تشخیصی برای غربالگری برخی بیماری‌های قلبی- عروقی مانند آریتمی، نقص دیواره‌ی بطنی و تنگی دریچه‌ی آئورت می‌باشد (۲). به ویژه در مواردی که شاهد عدم دسترسی به اکوکاردیوگرافی در برخی مناطق دورافتاده‌ی جهان هستیم و نیاز فوری به روش‌های تشخیصی خودکار بیشتر مشاهده می‌شود. با استفاده از PCG (Phonocardiogram) اختلالات دریچه‌ای را می‌توان به طور کارآمد و اقتصادی و با حداقل تجهیزات تشخیص داد (۱، ۲).

در این روش با استفاده از تکنیک‌های پردازش سیگنال و با استفاده از الگوریتم‌های رایانه‌ای، وضعیت قلب بررسی می‌شود. به این منظور از روش‌های مختلفی برای پردازش سیگنال PCG جهت استخراج ویژگی و ساخت مدل برای تعیین وضعیت سلامت قلب استفاده شده است.

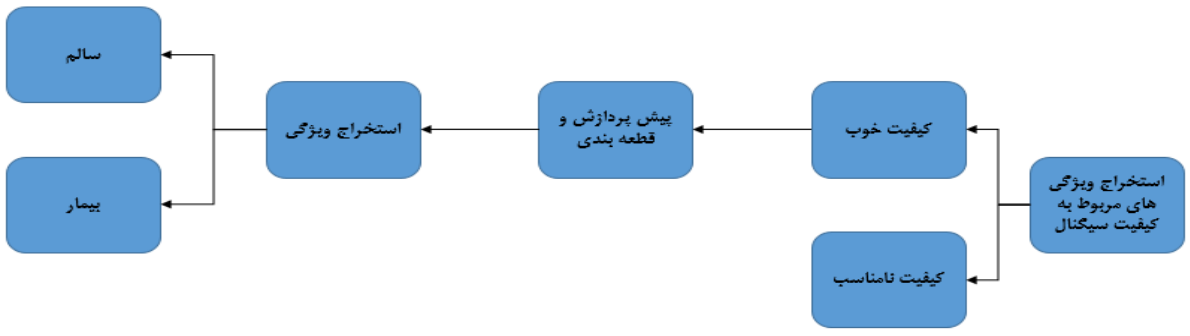
برخی از محققان از ضریب تبدیل چیرپلت برای مرحله‌ی استخراج ویژگی‌ها استفاده کرده‌اند (۳). در تحقیقات جدیدتر از MFCC (Mel frequency cepstral coefficient) برای استخراج ویژگی و از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌ی اصلی (Principal component analysis) PCA برای کاهش ابعاد ماتریس ویژگی‌ها استفاده شده است (۴). یکی از چالش‌های موجود در بررسی نتایج مطالعات قبلی این است که به دلیل یکسان نبودن دادگان، نتایج ایشان قابل مقایسه نیست. در این مطالعه از دادگان عمومی چالش PhysioNet / CinC 2016 که در مطالعات قبلی مورد استفاده قرار گرفته، جهت ارزیابی استفاده شده است. این مجموعه‌ی داده‌ها شامل انواع مختلفی از سیگنال‌های PCG با آرتیفکت مختلف است (۲). با وجود ساخت مدل‌های مختلف جهت طبقه‌بندی صدای قلب، همچنان صحت طبقه‌بندی، یکی از چالش‌های مهم در این زمینه است. در مطالعه‌ی قبلی (۵) ویژگی‌های مطرح در طبقه‌بندی سیگنال PCG مورد ارزیابی قرار گرفت و ویژگی‌های غربالگر کارآمدی پیشنهاد شد.

هدف از این مطالعه، ارایه‌ی مدلی جدید برای طبقه‌بندی خودکار صدای قلب جهت تشخیص قلب بیمار از سالم است. در این پژوهش با اعمال ویژگی‌هایی که در مطالعه‌ی قبلی (۵) مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند به شش نوع طبقه‌بند رندوم فارست (Random forest) RF، کا نزدیک‌ترین همسایگی (K-nearest neighbors algorithm) KNN، درخت تصمیم‌گیری (Decision tree) DT، آنالیز افتراق خطی (Linear discriminant analysis) LDA، رگرسیون لجستیک (Logistic regression) LR و شبکه‌ی عصبی عمیق (Deep Neural Network) DNN مدل‌های مختلفی جهت طبقه‌بندی خودکار صدای قلب ساخته شده و با روش 10 fold cross validation مورد ارزیابی قرار گرفتند.

روش‌ها

در مجموعه‌ی دادگان پیشگفت (دادگان عمومی چالش PhysioNet / CinC 2016) ۳۲۴۰ صدای قلبی در دسترس است (۶). پیش پردازش روی دادگان شامل مراحل حذف نویز، قطعه‌بندی و تعیین کیفیت قطعات می‌باشد.

برای حذف نویزهای محیطی (۷) از دو فیلتر باند گذر ۲۵ و ۴۰۰ هرتز باتروورث مرتبه‌ی چهارم استفاده شد. نظر به عدم موفقیت روش‌های بخش‌بندی مبتنی بر آستانه، در این مطالعه از روش مدل پنهان مارکوف (HMM) جهت بخش‌بندی استفاده شد (۸). نمودار بلوکی الگوریتم پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. مطابق شکل، ابتدا با به کارگیری شاخص‌های کیفیت مطرح در چالش ۲۰۱۶ (۲) دادگان جهانی در دو گروه «با/ بی کیفیت» برچسب‌گذاری شد و مشابه سایر محققین، طبقه‌بندی بر روی سیگنال‌های با کیفیت دنبال شد. از ۳۲۴۰ سیگنال نمونه‌برداری موجود، ۲۶۰۲ سیگنال، برچسب با کیفیت خوردند و در ارزیابی مورد استفاده قرار گرفتند. در میان این ۲۶۰۲ سیگنال، ۵۲۲ سیگنال دارای برچسب غیرطبیعی (انواع مختلف بیماری) و بقیه‌ی آن‌ها همگی سیگنال‌های طبیعی بودند.



شکل ۱. بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی

جدول ۱. فهرست ویژگی‌های استفاده شده در این مطالعه

ویژگی‌های پیشنهادی	ویژگی‌های مشترک به کار رفته در سایر مقالات (۸-۱۱)			
ویژگی‌های نوین مطرح شده توسط مؤلفان (۵)	ویژگی‌های ضربان قلب (۸)	فرکانسی	زمانی	آماری
Jitter Jitt shimmer Shim Fundamental frequency (F0)	HR HRV	MFCC Maximum frequency	Cardiac cycle length S1 length S2 length Maximum amplitude power Shannon energy RMS ZCR	میانگین واریانس چولگی کشیدگی

در مرحله‌ی استخراج ویژگی، ۳۵ ویژگی از PCG جهت طبقه‌بندی استخراج شد. بخشی از این ویژگی‌ها، ویژگی‌های مشترک با کارهای قبلی (۹-۱۱) است و علاوه بر آن از ویژگی‌های جدید پیشنهادی‌مان جهت بیان و معنی‌داری استفاده شد (۵). برای استخراج ضربان قلب (HR) و تغییرپذیری ضربان قلب (HRV) از روش اشمیت (۸) استفاده شد. فهرست این ویژگی‌ها در دو بخش در جدول ۱ ارائه شده است.

در مرحله‌ی طبقه‌بندی و به منظور تدوین مدل‌های پیشگفت و ارزیابی خروجی‌ها، در ابتدا هر بار ۱۰۴۲ سیگنال بالانس شده به صورت تصادفی از بین ۲۰۶۲ سیگنال پیش پردازش شده، انتخاب می‌شوند. به طوری که موازنه بین سیگنال‌ها با برچسب نرمال و بیمار برقرار و تعداد آن‌ها در هر طبقه یکسان‌سازی شد. طبقه‌بند RF (۱۲، ۱۳)، طبقه‌بند DT (۱۴)، طبقه‌بند KNN (۱۵، ۱۶)، طبقه‌بند LDA (۱۷، ۱۸)، طبقه‌بند رگرسیون لجستیک LR (۱۹) و شبکه‌ی عصبی عمیق (۱۹) طراحی و پیاده‌سازی شدند. در جدول ۲، مشخصات شبکه‌ی عصبی عمیق ارایه شده است. برای آموزش، طراحی مدل و تست شش طبقه‌بند مذکور از روش اعتبارسنجی متقابل (K = ۱۰) k-fold استفاده شد. این فرایند جهت ارزیابی و مقایسه ۵ بار تکرار گردید. میانگین و واریانس شاخص‌های حساسیت، ویژگی و صحت هر طبقه‌بند در جدول ۳ گزارش شده است.

یافته‌ها

در این مطالعه، کارآیی ویژگی‌های مطرح در مطالعه‌ی قبلی (۵) و سایر ویژگی‌های رایج به منظور غربالگری PCG، به وسیله‌ی ۶ رویکرد مطرح طبقه‌بندی، با استفاده از اعتبارسنجی متقاطع (K = ۱۰) k-fold مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی پس از آموزش طبقه‌بندها در هر مرحله از روش k fold، دادگان تست به مدل‌ها اعمال شد و با تعیین خروجی مدل‌ها و مقایسه‌ی آن با برچسب‌های دادگان، سه شاخص حساسیت، ویژگی و صحت محاسبه شدند و مقادیر میانگین و واریانس برای هر شاخص محاسبه و در جدول ۳ اعلام گردید. با توجه به جدول ۳، در انطباق مدل‌ها با دادگان در مرحله‌ی آموزش، می‌توان به ترتیب از بالاترین به کم‌ترین سطح RF، DT، LDA، DNN، LR و KNN را نام برد. نظر به اینکه خروجی طبقه‌بند به عنوان یک آزمون غربالگر قرار است استفاده شود، حساسیت مدل در مواجه با سیگنال‌های جدید از صحت تست اهمیت بیشتری دارد.

جدول ۲. مشخصات شبکه‌ی عصبی عمیق

ردیف	نوع لایه	تعداد نورون	تابع فعال‌ساز (Activation function)	تعداد پارامتر لایه
۱	ورودی	۳۵	–	۰
۲	Flatten	–	–	۰
۳	Dense	۱۵	relu	۵۴۰
۴	Dense	۸	relu	۱۲۸
۵	Dropout	–	–	۰
۶	Dense	۴	relu	۳۶
۷	خروجی	۲	softmax	۱۰
تعداد کل پارامترهای شبکه				۷۱۴

(برای آموزش این شبکه از بهینه‌ساز adam (Optimizer)، تابع زیان categorical_crossentropy (Loss function) و معیار (Metric) صحت استفاده شده است. در هر بار آموزش، داده‌ی مورد نظر ۷۰۰ بار توسط شبکه مشاهده شده است، epoch = ۷۰۰)

جدول ۳. میانگین نتایج برای انجام ۵ مرتبه 10-fold cross validation

		خروجی مدل با استفاده از دادگان آموزش آزمون 10-fold			نتایج به کارگیری مدل با دادگان تست آزمون 10-fold		
ردیف	طبقه‌بند	حساسیت	ویژگی	صحت	حساسیت	ویژگی	صحت
۱	شبکه‌ی عصبی عمیق	۹۹/۳	۸۸/۵	۹۳/۹	۹۶/۴	۸۶	۹۱/۴
۲	رندوم فارست	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۰/۷	۷۸/۸	۸۹/۱
۳	درخت تصمیم گیری	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۲/۵	۸۳/۱	۸۲/۷
۴	کا نزدیک‌ترین همسایگی	۸۵/۵	۸۸/۵	۸۲/۵	۷۹/۴	۸۵/۳	۸۲/۱
۵	آنالیز افتراق خطی	۹۱/۲	۸۶/۴	۹۶/۱	۹۵/۴	۸۵/۴	۹۰/۴
۶	رگرسیون لجستیک	۸۴/۹	۸۶/۶	۸۳/۲	۸۲/۳	۸۵/۶	۸۳/۹

در تمام موارد، انحراف معیار کمتر از ۰/۵ درصد می‌باشد.

با توجه به نتایج به کارگیری مدل با دادگان تست، پاسخ مربوط به شبکه‌ی عصبی عمیق بهترین مدل با حساسیت ۹۶/۴ و طبقه‌بند LDA با ۹۵/۴ است و می‌توانند مدل‌های مناسبی برای غربالگری بیماران قلبی مبتنی بر استماع صدای قلب باشد. در جدول ۴ نتایج مربوط به برخی از کارهای قبلی بر روی همین مجموعه داده، مشاهده می‌شود.

بحث

استفاده از PCG یکی از روش‌های غیرتهاجمی، ارزان قیمت و سریع تشخیص بیماری‌های قلبی است. استفاده از آن در تشخیص اتوماتیک بسیار ارزشمند می‌باشد چراکه با تقسیم صداهای قلب به موارد طبیعی/ غیرطبیعی، به وسیله‌ی تکنیک‌های طبقه‌بند خودکار، می‌توانیم بیماران قلبی را به راحتی و با هزینه‌ی بسیار کم غربال کنیم. در این مقاله تلاش شد تا روش جدیدی را برای تشخیص سیگنال PCG طبیعی از غیرطبیعی معرفی کنیم. مطابق نتایج ارائه شده، استفاده از ۸ ویژگی پیشنهادی به همراه شبکه‌ی عصبی عمیق نسبت به روش‌های موجود، بهبود قابل توجهی را در نتایج به وجود آورده است. از نتایج جدول ۳ و ۴ می‌توان نتیجه گرفت که ویژگی‌های پیشنهادی (۵)، نتایج را بهبود بخشیده‌اند و به عنوان یک تکنیک مؤثر برای تشخیص و غربالگری ناهنجاری قلبی قابل استفاده می‌باشد.

نتایج حاصل از شبکه‌ی عصبی عمیق از تمام نتایج گزارش شده در جدول ۴ بهتر است. علاوه بر این، با مقایسه‌ی روش‌های طبقه‌بندی، طبقه‌بند LDA به دلیل استفاده از روش خطی در مرحله‌ی انتخاب ویژگی، عملکرد مناسبی دارد. هدف از این مطالعه، غربالگری بیماران مبتلا به علائم CVD از افراد سالم بود، در مطالعه‌ی بعدی از چهار مدل مشتمل بر DNN به همراه سه رویکرد مطرح در این مقاله LDA، DT، RF با به کارگیری تکنیک رأی‌گیری بر روی خروجی چهار طبقه‌بند برای رسیدن به حساسیت، دقت بالاتر استفاده خواهیم کرد.

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های معرفی شده توانمندی لازم جهت غربالگری بیماران قلبی را دارا هستند. بهترین مدل با ترکیب ویژگی‌های معرفی شده با شبکه‌ی عصبی عمیق به دست آمد. برای بهبود این روش استفاده‌ی هم زمان از چند طبقه بند و تکنیک رأی‌گیری در مطالعات بعدی انجام خواهد شد.

جدول ۴. فهرست نتایج به دست آمده از دیگر محققین با استفاده از داده‌های چالش فیزیونت (۱۰)

رتبه	نام تیم شرکت‌کننده در مسابقه	روش	حساسیت	ویژگی	MAcc
۱	Potes	AdaBoost & CNN	۹۴/۲۴	۷۷/۸۱	۸۶/۰۲
۲	Zabihi	Ensemble of SVMs	۸۶/۹۱	۸۴/۹۰	۸۵/۹۰
۳	Kay & Agrawal	Regularized Neural Network	۸۷/۴۳	۸۲/۹۷	۸۵/۲۰
۴	Bobillo	MFCCs, Wavelets, Tensors & KNN	۸۶/۳۹	۸۲/۶۹	۸۴/۵۴
۵	Homsi	Random Forest + LogitBoost	۸۸/۴۸	۸۰/۴۸	۸۴/۴۸
۶	Maknickas	-----	۸۰/۶۳	۸۷/۶۶	۸۴/۱۵
۷	Plesinger	Probability-disturbtion based	۷۶/۹۶	۹۱/۲۵	۸۴/۱۱
۸	Rubin	Convolutional NN with MFCCs	۷۲/۷۸	۹۵/۲۱	۸۳/۹۹

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی بـه شـماره ۲۹۸۲۱۳ و دارای کـد اخلاق IR.MUI.RESEARCH.REC.1398.730 مصوب معاونـت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم پزشکی اصفهان است. نویسندگان از ایـــن معاونـــت، جهـــت تـــأمین بودجـــه‌ی طـــرح تشـــکر و قدردانی می‌کنند.

References

1. Balakumar P, Maung-U K, Jagadeesh G. Prevalence and prevention of cardiovascular disease and diabetes mellitus. Pharmacol Res 2016; 113(Pt A): 600-9.
2. Liu C, Springer D, Li Q, Moody B, Juan RA, Chorro FJ, et al. An open access database for the evaluation of heart sound algorithms. Physiol Meas 2016; 37(12): 2181-213.
3. Ghosh SK, Ponnalagu RN, Tripathy RK, Acharya UR. Automated detection of heart valve diseases using chirplet transform and multiclass composite classifier with PCG signals. Comput Biol Med 2020; 118: 103632.
4. El Badlaoui O, Benba A, Hammouch A. Novel PCG analysis method for discriminating between abnormal and normal heart sounds. IRBM 2020; 41(4): 223-8.
5. Nourian-Zavareh M, Kermani S, Hashemi-Jazi M, Samieinasab M. Estimation and evaluation of new features from phonocardiogram for detecting cardiovascular abnormalities. J Isfahan Med Sch 2019; 36(506): 1444-9. [In Persian].
6. Springer DB, Tarassenko L, Clifford GD. Logistic regression-HSMM-based heart sound segmentation. IEEE Trans Biomed Eng 2016; 63(4): 822-32.
7. Pérez-Guzmán RE, García-Bermúdez R, Rojas-Ruiz F, Céspedes-Pérez A, Ojeda-Riquenes Y. Evaluation of algorithms for automatic classification of heart sound signals. Proceeding of the International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. 01 April 2017; Basel, Switzerland: Springer Nature. p. 536-45.
8. Schmidt SE, Holst-Hansen C, Graff C, Toft E, Struijk JJ. Segmentation of heart sound recordings by a duration-dependent hidden Markov model. Physiol Meas 2010; 31(4): 513-29.
9. Randhawa SK, Singh M. Classification of heart sound signals using multi-modal features. Procedia Comput Sci 2015; 58: 165-71.
10. Singh M, Cheema A. Heart sounds classification using feature extraction of phonocardiography signal. Int J Comput Appl 2013; 77(4): 13-7.
11. Clifford GD, Liu C, Moody B, Millet J, Schmidt S, Li Q, et al. Recent advances in heart sound analysis. Physiol Meas 2017; 38(8): E10-25.
12. Svetnik V, Liaw A, Tong C, Christopher Culberson J, Sheridan RP, Feuston BP. Random forest: A classification and regression tool for compound classification and QSAR modeling. J Chem Inf Comput Sci 2003; 43(6): 1947-58.
13. Ho TK. The random subspace method for constructing decision forests. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell 1998; 20(8): 832-44.
14. Safavian SR, Landgrebe D. A survey of decision tree classifier methodology. IEEE Trans Syst Man Cybern 1991; 21(3): 660-74.
15. Laaksonen J, Oja E. Classification with learning k-nearest neighbors. Proceedings of the International Conference on Neural Networks (ICNN'96); 06 Aug 2002. Washington, DC: IEEE. p. 1480-3.
16. Altman NS. An introduction to kernel and nearest-neighbor nonparametric regression. Am Stat 1992; 46(3): 175-85.
17. Tharwat A. Linear vs. quadratic discriminant analysis classifier: a tutorial. Int J Appl Pattern Recognit 2016; 3(2): 145-80.
18. Ford I, McLachlan GJ. Discriminant analysis and statistical pattern recognition. J R Stat Soc Ser A (Statistics Soc) 1993; 156(2): 327-8.
19. Dreiseitl S, Ohno-Machado L. Logistic regression and artificial neural network classification models: a methodology review. J Biomed Inform 2002; 35(5-6): 352-9.

DOI: *10.48305/jims.2022.16314*

Journal of Isfahan Medical School **Vol. 40, No. 661, 1st Week, May 2022**

Received: 21.12.2021 Accepted: 20.02.2022 Published: 27.04.2022

A New Approach of Phonocardiogram Analysis for Screening Some of Cardio-vascular Diseases Based on Deep Learning

Ehsan Mohammadi[1], Saeed Kermani[2], Mahdi Nourian-Zavareh[3], Alale Zare[4], Hamed Aghapanah-Roudsari[5], Maryam Samieinasab[6], Hamid Sanei[7]

Original Article

Abstract

Background: Cardiovascular diseases are one of the leading causes of death worldwide. Therefore, early diagnosis of heart disease, evaluation of cardiovascular system using cardiac hearing and Phonocardiogram (PCG) analysis which is a low cost, non-invasive, rapid method, and automatic screening of cardiovascular patients in remote areas is crucial. The aim of this study is to present a new method for screening heart patients based on signal processing (PCG) that is cheap and fast and has sufficient accuracy.

Methods: In this study, for screening 2062 labeled PCG signals, by extracting new features and applying them in 1- Random forest network 2- K-nearest neighbors 3- Decision tree 4- Linear discriminant analysis 5- Logistic regression and 6- Deep neural network, six different models were constructed and each of them was evaluated by k fold cross-validation method (K = 10). The test data were applied to the mentioned models and based on the outputs of these models, three indicators of accuracy, sensitivity and specificity were calculated. We showed and developed a new solution in differentiating and screening some heart patients from healthy individuals using PCG analysis.

Findings: Evaluation on the mentioned models was calculated by the three indicators, repeated 5 times and their mean and variance values were calculated. The highest sensitivity value is related to deep neural network (DNN) with sensitivity of 96.4 ± 0.14 and accuracy of 93.4 ± 0.11.

Conclusion: The new differential features along with the success of the proposed deep neural network in differentiating and screening between PCGs of healthy individuals and heart patients, shows the efficiency of the proposed algorithm. This method can be further improved with simultaneous multimodal classifier and the application of the voting rule.

Keywords: Cardiovascular diagnostic technic; Deep learning; Diagnostic screening programs; Cardiovascular diseases

Citation: Mohammadi E, Kermani S, Nourian-Zavareh M, Zare A, Aghapanah-Roudsari H, Samieinasab M, et al. **A New Approach of Phonocardiogram Analysis for Screening Some of Cardio-vascular Diseases Based on Deep Learning.** J Isfahan Med Sch 2022; 40(661): 109-14.

1- PhD Student, Department of Bioelectrics and Biomedical Engineering, Student Research Committee, School of Advanced Technologies in Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- Professor, Department of Bioelectrics and Biomedical Engineering, School of Advanced Technologies in Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3- MSc Graduate, Department of Bioelectrics and Biomedical Engineering, Student Research Committee, School of Advanced Technologies in Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
4- MSc Graduate, Student Research Committee, School of Advanced Technologies in Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
5- PhD Student, Department of Bioelectrics and Biomedical Engineering, Student Research Committee, School of Advanced Technologies in Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
6- PhD Student, Department of Bioelectrics and Biomedical Engineering, Student Research Committee, School of Advanced Technologies in Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
7- Professor of Cardiology, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Saeed Kermani, Professor, Department of Bioelectrics and Biomedical Engineering, School of Advanced Technologies in Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran; Email: kermani@med.mui.ac.ir