مجله دانشکده پزشکی اصفهان
سال سی و پنجم/شماره‌ی ٤٢٢/هفته‌ی دوم اردیبهشت ماه ۱۳۹۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵

استخراج ویژگی از سیگنال‌های الکتروکاردیوگرافی و وکتورکاردیوگرافی و مقایسه و ارزیابی آن‌ها

علیرضا مهری دهنوی[۱]، آسیه میرکاظمی[۲]، محدثه بهجتی[۳]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: بیماری‌های قلب و عروق، از شایع‌ترین بیماری‌های قرن حاضر محسوب می‌شوند و نارسایی قلبی، بزرگ‌ترین عامل مرگ و میر در جوامع صنعتی و نیمه صنعتی به حساب می‌آید. استفاده از سیگنال‌های الکتریکی که به وسیله‌ی ماهیچه‌های قلبی تولید می‌شوند، نقش مهمی در شناخت و تشخیص بیماری‌های قلبی دارند.

روش‌ها: در این مطالعه، ثبت سیگنال وکتورکاردیوگرافی با استفاده از چیدمان الکترودی موسوم به Frank و الکتروکاردیوگرافی انجام شد و همچنین، تعداد محدودی از سیگنال‌های موجود در پایگاه داده‌ی Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) که توسط انستیتوی مترولوژی ملی آلمان ارایه شده‌اند، استفاده شد. در ادامه، ضمن بررسی اطلاعات استخراجی در هر یک از دو حوزه‌ی وکتورکاردیوگرافی و الکتروکاردیوگرافی، میزان اطلاعات هر دو ارزیابی شد. به منظور استفاده‌ی بهتر و بهینه از زمان موجود در آنالیز سیگنال‌ها، عملیات استخراج ویژگی در حوزه‌ی Wavelet انجام شد و پس از آن، عملیات کاهش ویژگی و همچنین، طبقه‌بندی با استفاده از تکنیک ماشین بردار پشتیبان صورت گرفت.

یافته‌ها: مقایسه‌ی نتایج، حاکی از دقت ۸۳/۱۸ و صحت ۹۹/۰۶ درصدی در لیدهای وکتورکاردیوگرافی و دقت ۷۵/۴۴ و صحت ۹۷/۱۶ درصدی در لیدهای الکتروکاردیوگرافی در حوزه‌ی Wavelet بود.

نتیجه‌گیری: طبقه‌بندی با استفاده از تکنیک ماشین بردار پشتیبان نشان داد که ویژگی‌های به دست آمده از لیدهای سیستم Frank به نتایج بهتری نسبت به لیدهای ۱۲گانه‌ی سیستم متعارف الکتروکاردیوگرام منجر شد.

واژگان کلیدی: وکتورکاردیوگرافی، الکتروکاردیوگرافی، تبدیل Wavelet

ارجاع: مهری دهنوی علیرضا، میرکاظمی آسیه، بهجتی محدثه. **استخراج ویژگی از سیگنال‌های الکتروکاردیوگرافی و وکتورکاردیوگرافی و مقایسه و ارزیابی آن‌ها.** مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۳۹۶؛ ۳۵ (۴۲۲): ۲۶۲-۲۵۶

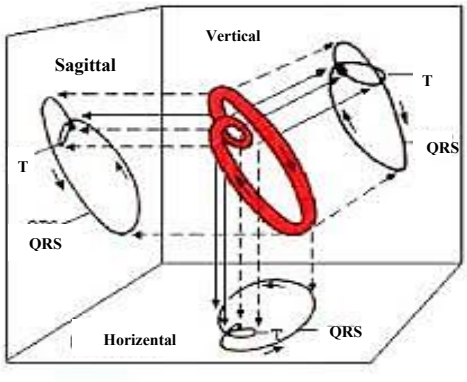
مقدمه

کامپیوترهای دهه‌ی ۶۰ میلادی، موفق شدند که با آنالیز سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام، سیگنال وکتورکاردیوگرام را استخراج کنند. مطالعه در مورد سیگنال‌های وکتورکاردیوگرام مربوط به حدود ۵۰ سال پیش می‌باشد، اما از سال ۱۹۹۴ تمرکز بیشتری بر روی آن صورت گرفت. برای رسیدن به تصویر دلخواه بردار قلب، لازم بود تا از یک سیستم اندازه‌گیری با مختصات متعامد برای نمایش سیگنال الکتروکاردیوگرام استفاده شود. به طور اصولی، پزشکان از حلقه‌های وکتورکاردیوگرافی برای تشخیص بیماری‌ها استفاده نمی‌کنند و نمایش آن‌ها بر روی سه صفحه‌ی متعامد X، Y و Z بیشتر جنبه‌ی نمایش دارد و از جنبه‌ی تشخیصی چندانی برخوردار نیست (۱).

یکی از سؤالات مطرح شده در این زمینه، این است که «آیا با تکیه بر اطلاعات ثبت شده از فعالیت قلبی با استفاده از سیستم Frank (Frank's System)، می‌توان صحت و دقت تشخیص را در مقایسه با اطلاعات استخراج شده از سیستم متعارف 12lead افزایش داد؟».

نکته‌ی جالبی که از مقایسه‌ی شکل موج‌های سیستم Frank و سیستم 12lead به دست می‌آید، این است که شکل موج‌های لیدهای X، Y و Z در سیستم Frank، به شکل موج‌های v2، Avf و v5 و در سیستم 12lead بسیار شبیه می‌باشد (شکل ۱).

۱- استاد، گروه بیوالکتریک، دانشکده‌ی فن‌آوری‌های نوین علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بیوالکتریک، دانشکده‌ی فن‌آوری‌های نوین علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۳- متخصص قلب و عروق، مرکز تحقیقات قلب و عروق، پژوهشکده‌ی قلب و عروق، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
نویسنده‌ی مسؤول: آسیه میرکاظمی
Email: asieh_mirkazemi@yahoo.com



شکل ۱. وکتورکاردیوگرافی

جهت بررسی فعالیت الکتریکی قلب در هر چرخه، لازم است که از سیگنال ثبت شده‌ی بیت‌های قلبی استخراج گردند. یک بیت قلبی که چرخه‌ی قلبی گفته می‌شود، به تمام وقایع انجام شده در قلب از ابتدای یک تپش تا ابتدای تپش بعدی گفته می‌شود. یکی از اولین مراحل آنالیز یک سیگنال Electrocardiography (ECG) جداسازی بیت‌های آن است (۲). معروف‌ترین الگوریتمی که در این زمینه استفاده می‌شود، الگوریتمی است که توسط Pan و Tompkins ارایه شده است (۸). Pan و Tompkins، یک الگوریتم آشکارسازی QRS را پیشنهاد نمودند که به صورت هم‌زمان و با آنالیز دامنه، پهنا و شیب کمپلکس، اقدام به آشکارسازی کمپلکس‌ها در سیگنال ECG می‌نماید. یکی دیگر از بخش‌هایی که در پردازش سیگنال‌های قلبی دارای اهمیت می‌باشد، استخراج ویژگی‌ها از این سیگنال‌ها جهت طبقه‌بندی آن‌ها می‌باشد. در مبحث استخراج ویژگی‌ها، مسأله‌ی مهم این است که داده‌های اصلی (بیت‌های قلبی) به فضای جدیدی نگاشت شوند که در آن فضا، داده‌های متفاوت، متمایز از یکدیگر باشند. نگاشت داده‌ها به ویژگی‌های متفاوت، می‌تواند به نتایج بسیار متفاوتی در طبقه‌بندی داده‌ها منجر گردد.

در بخشی از مطالعه، از تبدیل زمان- فرکانس Wavelet جهت استخراج ویژگی‌ها استفاده شد؛ بدین معنی که برای هر داده‌ی قلبی، از تعداد محدودی از ضرایب Wavelet به عنوان ویژگی هر داده‌ی قلبی استفاده گردید. تبدیل Wavelet نیز همانند بسیاری از تبدیل‌های دیگر، می‌تواند هم به صورت پیوسته و هم به صورت گسسته محاسبه گردد. چنانچه تابع Wavelet را با ψ نشان دهیم، آن‌گاه رابطه‌ی تبدیل Wavelet پیوسته، به صورت رابطه‌ی (۱) خواهد بود:

$$wt(s,\tau) = \frac{1}{\sqrt{s}}\int_{\infty}^{\infty} x(t)\psi^*\left(\frac{t-\tau}{s}\right)dt \qquad (۱)$$

در Wavelet، عمل Convolution بین سیگنال مد نظر یعنی x(t) و تابع Wavelet که می‌تواند دارای مقیاس‌های متفاوت (s) و شیفت‌های متفاوت (τ) باشد، انجام می‌پذیرد. توجه کنید که هر چه شباهت بین تابع Wavelet و سیگنال بیشتر باشد، مقدار تبدیل (که ضریب Wavelet گفته می‌شود) بزرگ‌تر خواهد بود. از این رو، در آنالیز سیگنال‌های قلبی با استفاده از آنالیز Wavelet، به دنبال توابع Waveletی خواهیم بود که بیشترین شباهت را به تغییرات ولتاژ چرخه‌ی قلبی دارا می‌باشند. انواع مختلفی از تابع Wavelet وجود دارد. در این جا از دو نوع Wavelet شامل Daubechies و Symlet به دلیل شباهت آن‌ها به سیگنال‌های قلبی استفاده شده است.

از نگاشت داده‌ها از فضای اولیه به فضای ویژگی‌ها، لازم خواهد بود که ویژگی‌ها انتخاب و دسته‌بندی شوند. برای این منظور، روش‌های متفاوتی وجود دارند که اقدام به انتخاب و طبقه‌بندی داده‌ها می‌نمایند (۳). در این مطالعه، از PCA جهت انتخاب ویژگی‌ها استفاده شده است؛ بدین معنی که پس تولید ویژگی‌های اولیه، با استفاده از PCA تنها تعداد محدودی از ویژگی‌های تولید شده انتخاب شده‌اند. پس از آن، طبقه‌بندی با استفاده از ماشین بردار پشتیبانی (Support vector machine یا SVM) انجام شده است (۵-۴). ماشین بردار پشتیبانی، یکی از روش‌های طبقبندی تحت ناظر است که از آن در طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌شود. این روش، از جمله روش‌های به نسبت جدیدی است که نشان داده شده است کارایی آن برای طبقه‌بندی نسبت به روش‌های قدیمی‌تر نظیر شبکه‌های عصبی پرسپترون بهتر می‌باشد (۶).

در نهایت، هر روش طبقه‌بندی به ارزیابی نیاز خواهد داشت تا از این طریق بتوان عمومیت روش و تعمیم‌پذیر بودن آن را مورد بررسی قرار داد. چنانچه بخواهیم از دقت یک تکنیک و یا مدل پیش‌بینی کننده در عمل اطمینان حاصل کنیم، لازم است که آن تکنیک یا مدل را به مجموعه‌ی متنوعی از داده‌ها (که احتمال می‌رود ویژگی‌های متفاوتی داشته باشند) اعمال نماییم و در نهایت، بر اساس مجموعه‌ی خروجی‌هایی که به دست می‌آوریم، در مورد کارایی مدل و یا تکنیک اظهار نظر نماییم. در این مطالعه، روش k-fold جهت ارزیابی عملکرد طبقه‌بند که وابسته به ویژگی‌های انتخاب شده و در نهایت وابسته به سیگنال مورد استفاده است، مورد استفاده قرار گرفت. روش k-fold به این دلیل انتخاب شد که در آن، تمامی داده‌ها هم به عنوان داده‌ی آزمایش و هم به عنوان داده‌ی آموزش انتخاب خواهند شد (۷).

پایگاه داده‌ی مورد استفاده، شامل ۸۰ ثبت که شامل ۲۰ بیمار قلبی و ۲۰ فرد سالم بود که از هر کدام دو ثبت سیگنال ECG و Vectorcardiography (VCG) به صورت هم‌زمان با استفاده از دستگاه کاردیاکس (Cardiax) انجام شده بود. همچنین، دسته داده‌ی دیگری داده‌های موسوم به Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) بودند که توسط انستیتوی مترولوژی ملی آلمان

(National Metrology Institute of Germany) ارایه شده‌اند و از طریق سایت PhysioNet قابل دسترسی می‌باشند. این سیگنال‌ها، شامل سیگنال‌های ۱۲ لید متعارف (i, ii, iii, avr, avl, avf, v1, v2, v3, v4, v5, v6) ECG و سیگنال‌های سه لید متعارف Frank (vx, vy, vz) می‌باشند. از مجموع داده‌های این پایگاه داده، در این مطالعه از داده‌های ۲۰ فرد مبتلا به آریتمی استفاده شد.

دو دسته داده‌ی موجود، از لحاظ دامنه و نرخ داده با یکدیگر تطبیق داده شدند. همچنین، از برنامه‌نویسی Matlab استفاده گردید تا ماتریس داده‌های ثبت شده توسط دستگاه کاردیاکس همانند داده‌های فیزیونت باشد.

روش‌ها

هدف از انجام این مطالعه، استفاده از سیگنال‌های ثبت شده از فعالیت الکتریکی قلب توسط سیستم‌های 12lead ECG و سیستم لیدهای متعامد Frank (3lead VCG) جهت تفکیک افراد سالم از افراد مبتلا به نارسایی قلبی و ارزیابی توانمندی آن‌ها بود. در این راستا، با ثبت هم‌زمان سیگنال الکتروکاردیوگرافی و وکتورکاردیوگرافی، مشخص شد که کدام یک از این روش‌ها، اطلاعات بهتری از بیماری قلبی ارایه می‌نمود. به این منظور، سه روش متفاوت استخراج ویژگی پیشنهاد گردید که دو روش اول، روش‌هایی مبتنی بر استفاده از تبدیل Wavelet بودند و هدف از آن‌ها، مقایسه‌ی سیستم‌های 12lead ECG و 3lead VCG بود. هدف از روش سوم، بررسی اثر تبدیل Wavelet بر روی ویژگی‌های استخراجی از سیستم 3lead VCG بود. در ادامه، این سه روش شرح داده می‌شوند.

روش اول: نکته‌ی جالبی که از مقایسه‌ی شکل موج‌های سیستم Frank و سیستم 12lead به دست می‌آید، این است که شکل موج‌های لیدهای X، Y و Z در سیستم Frank به شکل موج‌های v2، Avf و v5 در سیستم 12lead بسیار شبیه می‌باشند. از این رو، این دو دسته لید بر اساس تبدیل Wavelet با یکدیگر مقایسه شدند تا پاسخ این سؤال که «آیا استفاده از لیدهای متعامد سیستم Frank مزیتی بر لیدهای سیستم 12lead به دست خواهند داد یا خیر؟» مشخص شود.

۱. سیگنال‌های مربوط به لیدهای aVF، v2، v5، X، Y و Z مربوط به هر فرد که به صورت هم‌زمان ثبت شده بودند، بارگذاری شدند.

۲. با استفاده از الگوریتم Pan و Tompkins، محل پیک‌های R در هر لید یافته شد. از پیک‌های R جهت انتخاب یک بیت منفرد از سیگنال لید مورد نظر استفاده گردید (۸).

۳. برای هر بیت سیگنال لید انتخاب شده، تبدیل Wavelet گسسته با چند وضوح (Resolution) متفاوت با تابع Wavelet از نوع Daubechies 4 (‘db4’) در ۵ سطح محاسبه شد. دلیل انتخاب db4 Wavelet مشابهت آن با شکل موج متعارف ECG و دنبال نمودن دینامیک قلبی توسط این Wavelet بود.

۴. برای سیگنال هر لید، ۵ بیت به تصادف انتخاب گردید و با توجه به مرحله‌ی ۳، بار دیگر ضرایب Wavelet بیت انتخاب شده، محاسبه شدند.

۵. در ماتریس ضرایب Wavelet هر لید، هدف یافتن ضریب Waveletی بود که بتواند به بهترین شکل، افراد سالم را از افراد مبتلا به آریتمی متمایز نماید.

۶. تابع توزیع تجمعی (Cumulative distribution function یا CDF) ضریب Wavelet مورد نظر بین بیت‌های قلبی مختلف ماتریس هر لید محاسبه شد.

روش دوم: استخراج ویژگی از داده‌های قلبی با استفاده از تبدیل Wavelet و ممان‌های آماری: در این روش، هدف استفاده از تبدیل Wavelet بسته‌ای (Wavelet packet) در استخراج ویژگی از سیگنال‌های قلبی لیدهای سیستم متعارف و لیدهای سیستم متعامد Frank بود.

۱. داده‌ی مربوط به هر فرد در پایگاه داده‌ی مورد استفاده بارگذاری گردید.

۲. با استفاده از الگوریتم Pan و Tompkins (۸)، محل پیک‌های R سیگنال هر لید مشخص شد و بر اساس محل پیک‌های R، بیت‌های ECG هر لید استخراج گردید.

۳. برای سیگنال هر لید، یکی از بیت‌های ECG به تصادف انتخاب شد.

۴. با استفاده از تبدیل Wavelet بسته‌ای، توزیع انرژی در حوزه‌ی زمان- بسامد هر بیت ECG متعلق به یک لید مشخص محاسبه گردید.

۵. در هر زیر باند تبدیل Wavelet ممان‌های ضرایب Wavelet محاسبه شدند. این ممان‌ها شامل میانگین، واریانس، عدم تقارن (Skewness) و کشیدگی (Kurtosis) بودند.

۶. بر اساس مرحله‌ی ۵، هر بیت قلبی به برداری از آماره‌های ضرایب Wavelet در زیر باندهای متفاوت نگاشته شد. چنانچه تعداد سطوح تفکیک Wavelet بسته‌ای N باشد، آن‌گاه در محاسبه‌ی تبدیل Wavelet بسته‌ای، 2N زیر باند برای هر بیت قلبی به دست خواهد آمد که برای هر زیر باند، ۴ آماره به عنوان ویژگی محاسبه می‌شود. از این رو، طول بردار ویژگی، ۲N × ۴ خواهد بود.

۷. برای داده‌ی مربوط به تمامی افراد و برای ۶ لید I، II، III، X، Y و Z، بردار ویژگی‌ها بر اساس مراحل ۶-۱ به دست آمد.

۸. در هر لید، تصویر بردار ویژگی‌ها بر روی مؤلفه‌ی اول به عنوان ویژگی جدید انتخاب گردید؛ به این ترتیب، هر بردار ویژگی با طول ۲N × ۴ به یک عدد (بعد ۱) نگاشته شد و از این طریق، کاهش بعد صورت گرفت.

جدول ۱. مقایسه‌ی نتایج طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج شده از ضرایب Wavelet دو دسته لید (X، Y و Z) و (v2، v5 و aVF) بر اساس طبقه‌بند Support vector machine (SVM) و تعداد فولدهای متفاوت در روش اول

تعداد K-fold	استخراج ویژگی از لیدهای (v2، v5 و aVF)			استخراج ویژگی از لیدهای (X، Y و Z)		
	CR%	SPEC%	SEN%	CR%	SPEC%	SEN%
۱۰۰	۸۶/۳ ± ۳/۵	۹۵/۵ ± ۳/۷	۷۷/۵ ± ۵/۰	۹۱/۶ ± ۳/۲	۹۹/۰ ± ۰/۱	۸۳/۶ ± ۶/۵
۵۰	۸۶/۲ ± ۶/۷	۹۶/۸ ± ۳/۶	۷۶/۹ ± ۱۰/۰	۹۱/۴ ± ۴/۳	۹۹/۲ ± ۰/۱	۸۳/۴ ± ۸/۰
۲۰	۸۷/۵ ± ۵/۳	۹۷/۴ ± ۴/۲	۷۶/۷ ± ۱۱/۷	۹۵/۴ ± ۵/۵	۹۹/۸ ± ۰/۱	۸۶/۹ ± ۵/۱
۱۵	۹۰/۷ ± ۸/۴	۹۸/۶ ± ۴/۵	۷۹/۵ ± ۲۰/۶	۸۷/۰ ± ۵/۳	۹۷/۴ ± ۴/۲	۷۶/۷ ± ۱۱/۷
۱۰	۸۰/۰ ± ۱۲/۵	۹۷/۵ ± ۸/۰	۶۶/۰ ± ۲۱/۷	۹۲/۰ ± ۱۰/۳	۹۹/۹ ± ۰/۱	۸۵/۳ ± ۱۹/۸

۹. با استفاده از طبقه‌بند SVM، طبقه‌بندی داده‌ها در فضای سه بعدی انجام شد.

روش سوم: استفاده از تبدیل Wavelet در تغییر بهره وری ویژگی‌های استخراج شده از لوپ: یکی دیگر از اهداف این مطالعه، بررسی استفاده از سیگنال‌های VCG در تفکیک افراد سالم از بیمار بود. همچنین، بررسی اثر استفاده از تبدیل Wavelet در افزایش بهره‌وری تفکیک افراد سالم از بیمار بر اساس سیگنال‌های VCG، از برنامه‌های این مطالعه بود. برای این منظور، استخراج اطلاعات از لوپ‌های VCG مد نظر قرار گرفت. اطلاعات استخراج شده از لوپ VCG به صورت زیر بودند:

۱. زاویه‌ی Azimuth: زوایای آزیموث (سمت) و ارتفاع (Elevation) جهت تعیین موقعیت دقیق یک نقطه در فضای سه بعدی استفاده می‌شوند.

۲. زاویه‌ی لوپ‌های QRS و T

۳. مساحت لوپ

طول لوپویژگی‌هایی که جهت استخراج از لوپ‌های VCG در این مطالعه مد نظر بودند، به میزان کمی تحت تأثیر تغییرات جزئی بیت قلبی در هر لید قرار خواهند گرفت. با این وجود، تغییرات جزئی در سیگنال‌های هر لید می‌توانند سبب تغییراتی در شکل حلقه‌ی VCG شوند. از این رو، با استفاده از تبدیل Wavelet ایستا، زیر باندهای در بر دارنده‌ی چنین تغییراتی حذف شدند و تنها تغییرات بزرگ‌تر بیت قلبی در هر لید مد نظر قرار گرفت. در نهایت، اثر چنین عملی بر روی نتیجه‌ی طبقه‌بندی افراد سالم و افراد مبتلا به آریتمی‌های قلبی بررسی گردید.

۱- با استفاده از تبدیل Wavelet ایستا، بیت‌های قلبی استخراج شده از هر یک از لیدهای X، Y و Z با N سطح تفکیک شدند.

۲- تنها ضرایب تقریب و ضرایب جزییات در سطح اول انتخاب گردیدند.

۳- بر اساس ضرایب Wavelet انتخاب شده در مرحله‌ی قبل، بیت قلبی بازسازی شد.

لوپ VCG برای هر فرد، تشکیل و ویژگی‌های تعریف شده استخراج گردید.

یافته‌ها

در اولین آزمایش پس از نگاشت بیت‌های هر لید به برداری از ضرایب Wavelet و انتخاب یک ضریب Wavelet برای هر بیت هر یک از لیدها (همان‌طور که در بخش روش‌ها توضیح داده شد)، یک نقطه در فضای ویژگی‌های مبتنی بر سیستم Frank و یک نقطه در فضای ویژگی‌های مبتنی بر سیستم متعارف به هر بیت قلبی اختصاص یافت.

عمل طبقه‌بندی در فضای ویژگی‌ها و ارزیابی آن، ۱۰ بار تکرار و نتایج در جدول ۱ ارایه شدند.

در جدول ۲، نتایج پیاده‌سازی روش با تابع Wavelet ‘sym4’ نیز گزارش شده است.

جدول ۲. مقایسه‌ی نتایج طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج شده از ضرایب Wavelet دو دسته لید (X، Y و Z) و (v2، v5 و aVF) بر اساس طبقه‌بند Support vector machine (SVM) و تعداد فولدهای متفاوت در روش دوم

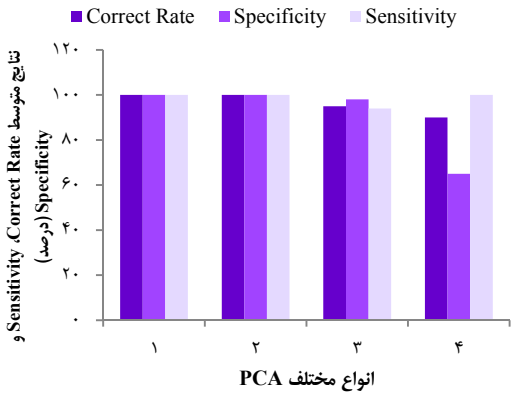
تعداد K-fold	استخراج ویژگی از لیدهای (v2، v5 و aVF)			استخراج ویژگی از لیدهای (X، Y و Z)		
	CR%	SPEC%	SEN%	CR%	SPEC%	SEN%
۱۰۰	۷۶/۶۰ ± ۲/۸۰	۵۷/۲۰ ± ۱۲/۲۰	۸۶/۶۰ ± ۶/۶۰	۸۵/۳۰ ± ۳/۶۰	۹۵/۲۶ ± ۲/۸۴	۸۰/۲۳ ± ۴/۸۷
۵۰	۷۵/۴۰ ± ۶/۰۰	۵۷/۷۰ ± ۱۲/۵۰	۸۵/۶۰ ± ۷/۲۰	۸۵/۷۰ ± ۴/۱۰	۹۵/۸۰ ± ۳/۶۶	۸۰/۵۸ ± ۷/۰۴
۲۰	۷۵/۲۰ ± ۸/۲۰	۵۵/۲۰ ± ۲۱/۰۰	۸۶/۸۰ ± ۹/۵۰	۸۵/۸۰ ± ۹/۶۰	۹۵/۱۵ ± ۹/۵۰	۸۱/۵۷ ± ۱۱/۹۹
۱۵	۷۶/۳۰ ± ۸/۸۰	۵۲/۶۰ ± ۲۶/۴۰	۸۴/۹۰ ± ۱۰/۰۰	۸۶/۷۰ ± ۸/۰۰	۹۵/۵۰ ± ۸/۱۰	۸۰/۹۴ ± ۱۲/۹۷
۱۰	۷۵/۰۰ ± ۱۳/۲۰	۵۵/۱۰ ± ۳۲/۶۰	۸۸/۷۰ ± ۱۰/۶۰	۸۵/۵۰ ± ۱۱/۴۰	۹۶/۵۰ ± ۱۱/۸۰	۸۰/۵۵ ± ۱۶/۳۲

نتایج این دو آزمایش نشان می‌دهد که با وجود شبیه بودن شکل موج لیدهای متعارف v2، v5 و aVF با سیگنال لیدهای X، Y و Z در سیستم Frank، نتایج طبقه‌بندی انجام گرفته بر اساس ویژگی‌های به دست آمده از لیدهای سیستم Frank با استفاده از طبقه‌بند SVM به نتایج بهتری نسبت به لیدهای سیستم متعارف 12lead ECG منجر شد.

به نظر می‌رسد که متعامد بودن لیدها در سیستم Frank، سبب می‌شود که ویژگی‌های استخراج شده، دارای استقلال بیشتری نسبت به ویژگی‌های استخراج شده از لیدهای سیستم متعارف باشند که این مسأله، به طبقه‌بندی با خطای کمتر و دقت بالاتر منجر خواهد شد.

در آزمایش دوم، جهت مقایسه‌ی کیفیت اطلاعات موجود در لیدهای Frank (لیدهای X، Y و Z) با اطلاعات موجود در لیدهای متعارف سیستم 12lead، روش پیشنهادی بر اساس تبدیل Wavelet و آمارگان ضرایب در زیر باندها بر روی سیگنال‌های لیدهای I، II و III سیستم 12lead نیز اعمال شد.

نتایج آنالیز آماری در شکل ۲ آمده است که مربوط به ۱۰ تکرار مختلف روش‌ها می‌باشد. در هر تکرار، از ۴۰ داده‌ی افراد سالم و ۴۰ داده‌ی مربوط به بیماران مبتلا به آریتمی قلبی استفاده شد. جهت جلوگیری از تطبیق روش‌ها به داده‌ها در هر مرحله از داده‌های طبیعی و داده‌های آریتمی متفاوتی استفاده گردید.



شکل ۲. مقایسه‌ی نتایج متوسط Correct Rate، Sensitivity و Specificity پیاده‌سازی روش‌های (۱) XYZ-WPD-PCA، (۲) Trad-WPD-PCA، (۳) XYZ-PCA و (۴) Trad-PCA

استفاده از ابزار قدرتمند تبدیل Wavelet، می‌تواند به میزان زیادی کیفیت اطلاعات استخراج شده از سیگنال‌های قلبی را در مسایل طبقه‌بندی افزایش دهد.

در آزمایش سوم، لوپ‌های ایجاد شده به وسیله‌ی لیدهای سیستم متعامد Frank، دینامیک سیستم قلب را در یک فضای سه بعدی نمایش می‌دهند. طبقه‌بندی افراد سالم و مبتلا به نارسایی قلبی با استفاده از ویژگی‌های استخراج شده از لوپ‌های VCG در این روش مد نظر قرار گرفت.

بحث

استفاده از تبدیل Wavelet، موجب می‌شود که با حذف تغییرات کوچک در سیگنال‌های سیستم Frank، لوپ‌های VCG به دست آمده منظم‌تر گردند.

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با وجود شبیه بودن شکل موج لیدهای متعارف v2، v5 و aVF با سیگنال لیدهای X، Y و Z در سیستم Frank، نتایج طبقه‌بندی انجام گرفته بر اساس ویژگی‌های به دست آمده از لیدهای سیستم Frank به نتایج بهتری نسبت به لیدهای سیستم متعارف 12lead ECG منجر خواهد شد. در آزمایش اول، از سه لید v2، v5 و avF سیستم ۱۲ لید و در آزمایش دوم، از سه لید I، II و III این سیستم جهت مقایسه با سه لید سیستم Frank استفاده گردید و در هر دو آزمایش، لیدهای سیستم Frank به نتایج بهتری منجر شد. از این رو، به نظر می‌رسد که متعامد بودن لیدها در سیستم Frank، موجب می‌شود که ویژگی‌های استخراج شده، دارای استقلال بیشتری نسبت به ویژگی‌های استخراج شده از لیدهای سیستم متعارف باشند که این مسأله، طبقه‌بندی با خطای کمتر و دقت بالاتر را به همراه دارد.

در سیستم Frank، فعالیت الکتریکی قلبی در سه صفحه‌ی متعامد X، Y و Z بدن توسط الکترودهایی ثبت می‌گردد. هر چرخه‌ی فعالیت قلبی، دارای سه جزء مربوط به فعالیت موج‌های P، QRS و T خواهد بود. نشان داده شده است که می‌توان 12lead ECG و 3lead VCG را بدون از دست دادن اطلاعات بالینی مهمی به یکدیگر تبدیل نمود. بنابراین، 3lead VCG نه تنها فقدان وجود اطلاعات در یک لید ECG را برطرف می‌نماید، بلکه می‌تواند اطلاعات اضافی موجود در 12lead ECG را نیز برطرف نماید. یکی از مزیت‌های مهم سیستم Frank در آنالیز بیماری‌های قلبی این است که به دلیل متعامد بودن لیدها در آن، می‌توان اطلاعات لیدهای X، Y و Z را که به صورت هم‌زمان ثبت شده‌اند، در یک فضای سه بعدی ترسیم نمود و از این طریق، به بررسی دینامیک قلب پرداخت.

تشکر و قدردانی

این مقاله بر گرفته از طرح مربوط به پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد به شماره ۳۹۳۴۳۴ مصوب حوزه پژوهشی معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد. بدین وسیله نویسندگان از زحمات و همکاری این معاونت سپاسگزاری می‌نمایند.

References

1. Gacek A, Pedrycz W. ECG signal processing, classification and interpretation. New York, NY: Springer; 2012.
2. Swamy P, Jayaraman S, Chandra MG. An improved method for digital time series signal generation from scanned ECG records. Proceedings of the 2010 International Conference on Bioinformatics and Biomedical Technology (ICBBT); 2010 Apr 16-18; Chengdu, Sichuan, China.
3. Edenbrandt L, Pahlm O. Vectorcardiogram synthesized from a 12-lead ECG: superiority of the inverse Dower matrix. J Electrocardiol 1988; 21(4): 361-7.
4. Jolliffe I. Principal component analysis. Encyclopedia of statistics in behavioral science. Hoboken, NJ: Wiley; 2005.
5. Wang L. Support vector machines: Theory and applications. New York, NY: Springer; 2005.
6. Dawson D, Yang H, Malshe M, Bukkapatnam ST, Benjamin B, Komanduri R. Linear affine transformations between 3-lead (Frank XYZ leads) vectorcardiogram and 12-lead electrocardiogram signals. J Electrocardiol 2009; 42(6): 622-30.
7. Rodriguez JD, Perez A, Lozano JA. Sensitivity analysis of k-fold cross validation in prediction error estimation. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell 2010; 32(3): 569-75.
8. Pan J, Tompkins WJ. A real-time QRS detection algorithm. IEEE Trans Biomed Eng 1985; 32(3): 230-6.

Journal of Isfahan Medical School
Received: 12.12.2016
Vol. 35, No. 422, 2nd Week, May 2017
Accepted: 13.02.2017

Extraction, Comparison, and Evaluation of Electrocardiography and Vectorcardiography Signals Features

Alireza Mehri-Dehnavi[1], Asieh Mirkazemi[2], Mohaddeseh Behjati[3]

Original Article

Abstract

Background: Cardiovascular disease is the most common disease of the century and is considered as a major cause of mortality and heart failure in industrial and semi-industrial societies. Using electrical signals produced by the heart muscle have an important role in the recognition and diagnosis of heart diseases.

Methods: In this study, the signal recorded via vectorcardiography using an electrode arrangement called Frank, and electrocardiography were performed; a limited number of signals available in the database of the National Metrology Institute of Germany (Physikalisch-Technische Bundesanstalt or PTB) were also used. At the end, the data in each field vectorcardiography and electrocardiographic were assessed and compared. In order to make better use of time and optimize signal analysis, feature extraction operation was performed in the wavelet domain; and then, reducing the characteristics and classification were performed using support vector machine technique.

Findings: There were the accuracy of 83.18% and the validity of 99.06% in vectorcardiography leads and the accuracy of 75.44% and the validity of 97.16% in electrocardiographic leads.

Conclusion: Based on support vector machine classification system, the properties of the Frank system leads tended to better results than conventional 12-leads electrocardiogram (ECG).

Keywords: Vectorcardiography, Electrocardiography, Wavelet transform

Citation: Mehri-Dehnavi A, Mirkazemi A, Behjati M. **Extraction, Comparison, and Evaluation of Electrocardiography and Vectorcardiography Signals Features.** J Isfahan Med Sch 2017; 35(422): 256-62.

1- Professor, Department of Bioelectrics, School of Advanced Technologies in Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- MSc Student, Department of Bioelectrics, School of Advanced Technologies in Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3- Cardiologist, Isfahan Cardiovascular Research Center, Cardiovascular Research Institute, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Asieh Mirkazemi, Email: asieh_mirkazemi@yahoo.com