

ویبروآرتروگرافی، روشی نوین در تشخیص استئوآرتروز زانو

دکتر عباس رحیمی^۱، محمد محسن روستایی^۲، دادالله شاهی مریدی^۳

دریافت مقاله: ۸۴/۱۱/۱۳ ارسال مقاله به نویسنده جهت اصلاح: ۸۵/۴/۳ دریافت اصلاحیه از نویسنده: ۸۵/۹/۶ پذیرش مقاله: ۸۵/۱۰/۵

چکیده

زمینه و هدف: استفاده از صداهاى مفصلی برای تشخیص و پیش‌بینی ضایعات مفصلی، به دلیل ارزان تر و نیز غیرتهاجمی بودن آن مورد توجه فراوان قرار گرفته است. در این روش صداهاى مفصلی توسط گیرنده‌های حساس ثبت و بررسی می‌شوند که به آن ویبروآرتروگرافی گفته می‌شود. هدف از انجام این تحقیق، توانایی استفاده از این روش در تشخیص استئوآرتروز زانو می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه که از نوع ارزیابی آزمون تشخیصی می‌باشد، ۴۴ زانو از ۲۲ نفر دارای زانوهای سالم و دچار استئوآرتروز مورد مطالعه قرار گرفت. بیماران بر روی یک صندلی پایه بلند نشسته و پاها آویزان گردید. سپس یک شتاب‌سنج مینیاتوری به ترتیب در محل‌های مدیال زانو، لاترال زانو و روی کشکک قرار داده شد. نمونه‌ها عمل خم و صاف شدن زانو را انجام داده و سیگنال‌های ویبروآرتروگرافی آنان ثبت گردید. سپس، در هر فرد میانگین مجذور کای این سیگنال‌ها محاسبه و در دو گروه با یکدیگر مقایسه گردید.

یافته‌ها: یافته‌های این تحقیق نشان داد که زانوهای سالم دارای صداهاى فیزیولوژیک بیشتر و همگن تر و در عوض زانوهای دچار استئوآرتروز دارای صداهاى فیزیولوژیک کمتر همراه با امواج نوک تیز بیشتری بودند. در مجموع، میانگین مجذور کای سیگنال‌های ویبروآرتروگرافی در زانوهای دچار استئوآرتروز با زانوهای سالم تفاوتی نداشت ولی بین زانوهای چپ و راست افراد دچار استئوآرتروز، این یافته تفاوت مشهودی را نشان داد. بدین صورت که در زانوهای چپ افراد دچار استئوآرتروز میانگین مجذور کای سیگنال‌ها بین سطوح مدیال و لاترال با نقاط معادلش در افراد سالم تفاوت نداشت، ولی در محل روی کشکک این تفاوت معنی‌دار بود ($p=0/03$).

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان داد که اولاً از روش غیر تهاجمی ویبروآرتروگرافی می‌توان در تشخیص زانوهای دچار تغییرات دژنراتیو زانو استفاده نمود. ثانیاً، تنها در استئوآرتروز زانوی چپ می‌توان با گذاردن شتاب‌سنج بر روی کشکک، بروز استئوآرتروز زانو را تشخیص داد.

واژه‌های کلیدی: استئوآرتروز زانو، ویبروآرتروگرافی، غیر تهاجمی

۱- (نویسنده مسئول) استادیار گروه آموزشی فیزیوتراپی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

تلفن: ۰۲۱-۷۷۵۶۱۷۲۱، فاکس: ۰۲۱-۷۷۵۶۱۴۰۶، پست الکترونیکی: arahimiuk@yahoo.com

۲- مربی و عضو هیأت علمی گروه آموزشی فیزیوتراپی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

۳- مربی و عضو هیأت علمی گروه آموزشی علوم پایه، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان

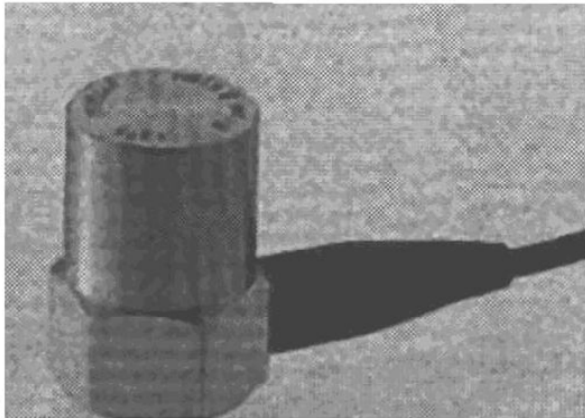
مقدمه

استفاده از روش‌های غیر تهاجمی و ارزان قیمت در تشخیص بیماری‌ها، بر روش‌های تهاجمی و گران قیمت ترجیح داده می‌شود. در مطالعات انجام شده، استفاده از صداهای مفصلی به عنوان یک تکنیک غیر تهاجمی و ارزان، ارزش خود را هم در تشخیص و هم در پیش‌آگهی ضایعات خاص درون مفصلی نشان داده است [۱-۳]. ویبروآرتروگرافی روشی عینی برای ثبت و مطالعه ارزش‌های حاصله از مفاصل انسان می‌باشد [۴]. در این روش یک گیرنده حساس، ترجیحاً یک شتاب‌سنج برای ثبت کردن اطلاعات حاصله از مفاصل به کار می‌رود. نکته مهم در این روش نوع گیرنده و نیز محل قرار دادن آن بر مفصل می‌باشد که در صورت استفاده از یک وسیله تقویت کننده، کلیه صداها قابل شنیدن خواهند بود [۵]. دستگاه‌های تقویت کننده صداهای مفصلی عبارتند از گوشی، میکروفون، شتاب‌سنج و غیره.

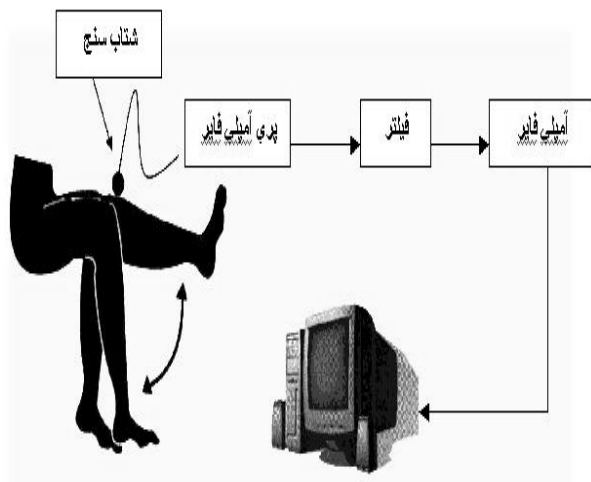
سه عامل عمده در تولید صداهای مختلف عبارتند از مقدار اصطکاک ایجاد شده بین سطوح مفصلی، نوع حرکت انجام شده، و مهم‌تر از همه سرعت انجام آن حرکت [۶]. از این روش تاکنون علاوه بر قلب و ریه، در تشخیص بیماری‌های مفاصل ران (هیپ)، زانو و فکی-گیجگاهی تحقیقات زیادی انجام گردیده است [۷-۱۰]. در مورد مفصل زانو، محققین قبلی با کمک گوشی به بررسی صدمات مرتبط پرداخته‌اند [۱۱-۱۲]. آن‌ها با تغییر دیافراگم گوشی جهت کاهش صداهای ناشی از اصطکاک پوست، به طبقه‌بندی صداهای متفاوت خارج شده از زانو اقدام نمودند و موفق شدند تعدادی از صداهای طبیعی و غیر طبیعی را شناسایی کنند. کریپیتوس‌های فیزیولوژیک مفصل پاتلوفمورال (Physiologic Patello-femoral Crepitus) (PPC) از جمله شایع‌ترین صداهای نرمال ثبت شده از ۹۹٪ مفاصل نرمال می‌باشد که در صورت قرار دادن گیرنده بر روی کشکک فرد ثبت می‌گردد [۱۳].

تحقیقات نشان داده‌اند که این کریپیتوس‌ها، در واقع واکنش‌های ناشی از حرکات ریز کشکک در طول حرکت بر قسمت قرقه ای انتهایی فمور می‌باشد. جالب توجه این که در افرادی که بهر دلیل پاتلکتومی شده‌اند، فوراً این صداها از بین می‌روند. در یک زانوی نرمال و در حرکت خم و صاف شدن در وضعیت غیر تحمل وزن [Non Weight Bearing (NWB)]، این کریپیتوس‌ها به صورت امواج منظم و پرپودیک و به صورت دسته‌هایی در خلاف جهت یکدیگر (مثل تصاویر آینه) ظاهر می‌شوند، در حالی که صدای کلیک به صورت نامنظم و گذراست. کلیک کشکک نیز از دیگر انواع صداهای مفصل پاتلوفمورال است که در ۵۰٪ زانوهای سالم رخ می‌دهد. کلیک‌ها جزء شایع‌ترین صداهای زانو هستند که به صورت بالینی هم در زانوهای طبیعی و هم زانوهای غیر طبیعی رخ می‌دهند. در واقع، در ۵۰٪ زانوهای سالم و در سرعت‌های بالاتر از سرعتی که در آن کریپیتوس‌های فیزیولوژیک شنیده می‌شود، امواج تیزی در محدوده بسامدی ۴۰ تا ۱۴۰ هرتز ثبت می‌گردد. بیشتر کلیک‌های نرمال درست از زیر کشکک منشاء می‌گیرند و احتمالاً تعدادش با افزایش سرعت زاویه‌ای زانو بیشتر می‌شود.

همان‌طور که ذکر شد، صداهای مفصلی را می‌توان توسط گوشی و یا میکروفون ثبت کرد ولی به علت این که گوشی و میکروفون صداهای محیط از جمله صدای حرکت کابل، هوا (باد) و مهم‌تر از همه صدای انقباضات عضلانی را هم ثبت می‌کند، این صداهای مزاحم (Noise) ثبت شده به همراه صداهای واقعی، شنونده را دچار سردرگمی می‌کند. به همین علت Mollan در سال ۱۹۸۲ به جای گوشی و یا میکروفون از یک شتاب‌سنج استفاده کرد و لرزش‌های ناشی از حرکت سطوح مفصلی، بر روی یکدیگر را به جای صداهای منشاء گرفته از سطوح مفصلی بررسی کرد. او با این روش موفق گردید تا درصد زیادی از صداهای مزاحم را حذف کند و با این کار به بهبود تکنیک ویبروآرتروگرافی کمک شایانی نمود از آن بعد ویبروآرتروگرافی تقریباً منحصرأ با انواع مختلف



شکل ۱- شتابسنج مینیاتوری به کار رفته در این مطالعه (مدل ۴۳۷۵، *Bruel & Kjaer*، دانمارک)



شکل ۲- مدل شماتیک سیستم ثبت سیگنال ویبروآرتروگرافی در این مطالعه

سپس از شرکت کننده خواسته شد تا در عرض دو ثانیه زانویش را از حالت خم شده ۹۰ درجه به صاف شدن کامل برده و سپس بدون مکث و در عرض دو ثانیه دیگر به جای اولش برگرداند. برای هر چه بهتر و یکنواخت انجام شدن تست، یک نقاشی متحرک کامپیوتری از طریق صفحه نمایشگر کامپیوتر به نمونه‌ها نشان داده شد و از آنها خواسته شد تا همزمان با نقاشی فوق زانویشان را حرکت دهند. پس از چند بار تکرار و آشنایی با نحوه انجام تست، آزمایش انجام شد. برای حصول نتیجه بهتر، هر نمونه سه بار تست گردید و میانگین آن برای آن نمونه محاسبه شد. برای آنالیز سیگنال‌های ثبت شده، از برنامه (6.1) Matlab استفاده

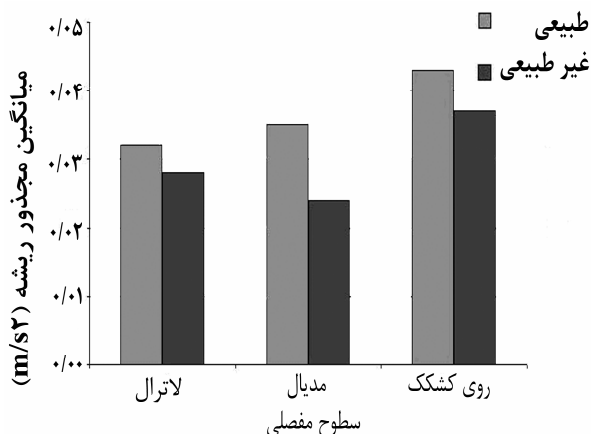
شتابسنج انجام می‌شود. از آن جا که شتابسنج‌های جدید همراه با فیلترینگ مناسب، محققین را قادر به مطالعه بالینی بهتر در استفاده از ویبروآرتروگرافی می‌نماید و هنوز در زمینه استئوآرتروز زانو ابهامات زیادی وجود دارد، هدف از انجام این مطالعه، بررسی بیشتر جهت امکان استفاده از ویبروآرتروگرافی در تشخیص و نیز پیش آگهی استئوآرتروز زانو می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه که از نوع ارزیابی آزمون تشخیصی می‌باشد ۲۲ نفر شرکت نمودند که از این بین ۱۱ نفر دچار استئوآرتروز دو طرفه زانو با میانگین سنی 44 ± 24 سال و ۱۱ نفر هم با میانگین سنی 43 ± 22 سال دارای زانوهای سالم و به عنوان گروه کنترل در نظر گرفته شدند. بیماران همگی توسط پزشک ارتوپد و با تشخیص استئوآرتروز درجه ۱ یا ۲ (درجه بندی Kellgren & Lawrence, ۱۹۵۷) معرفی شدند [۱۴].

افراد سالم در این تحقیق، سابقه درد و ناراحتی زانو نداشته و از نظر سن، جنس و میزان فعالیت روزانه با بیماران به صورت همگن انتخاب شده و هر دو زانوی راست و چپشان مورد آزمایش قرار گرفت. بنابراین، در این تحقیق، ۲۲ زانوی دچار استئوآرتروز و ۲۲ زانوی سالم، مورد بررسی ویبروآرتروگرافی قرار گرفت. بیماران بر روی یک صندلی پایه بلند نشسته و زانوهایشان با زاویه ۹۰ درجه خم و آویزان گردید. اطلاعات بیماران شامل مشخصات فردی، دامنه حرکتی، تورم، میزان حرکت کشکک و یافته‌های رادیوگرافیک، توسط یک فیزیوتراپیست با تجربه در بیماری‌های ارتوپدی در پرسشنامه خود ساخته وارد گردید. سپس شتابسنج مینیاتوری (۴۳۷۵، *Bruel & Kjaer*، دانمارک) در نواحی مدیال، لاترال و روی کشکک گذاشته شد و با چسب دو رو در محل، ثابت گردید و کابل‌های مخصوص شتابسنج به پری آمپلی فایر، فیلتر، آمپلی فایر و در نهایت به یک کامپیوتر وصل شد (شکل‌های ۱ و ۲).

زانوهای راست، تی زوج در هیچ یک از سطوح مدیال، لاترال و روی کشکک تفاوت معنی‌داری بین زانوهای دچار استئوآرتروز و سالم نشان نداد (به ترتیب $P=0/93$, $P=0/56$, $P=0/71$).



نمودار ۱- میانگین مجذور کای بین زانوهای طبیعی و دچار استئوآرتروز در سطوح مختلف

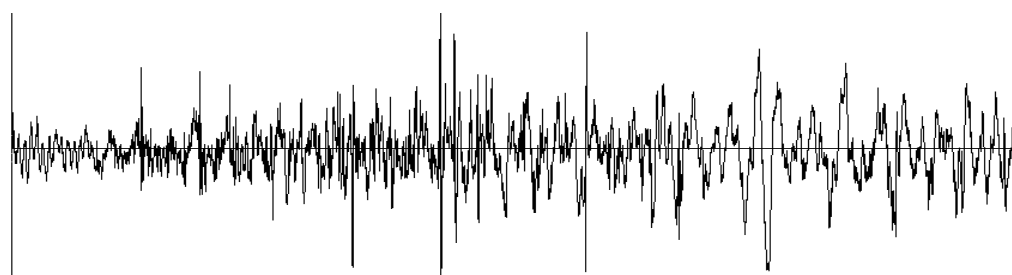
در حالی که در زانوهای چپ، میانگین مجذور کای در زانوهای دچار استئوآرتروز فقط در روی کشکک تفاوت معنی‌داری نسبت به نقطه معادل خود در زانوهای سالم چپ نشان داد ($p=0/03$) (شکل ۳ و ۴). سرانجام وقتی میانگین مجموع هر سه سطح مدیال، لاترال و روی کشکک بین زانوهای راست و چپ ما بین دو گروه‌های سالم و ناسالم با یکدیگر مقایسه شدند، معلوم شد که در هیچ یک از طرفین راست و چپ، مجموع میانگین به طور معنی‌داری متفاوت نیست. گرچه در سمت راست، این تفاوت کمتر و در سمت چپ، این تفاوت بسیار بیشتر بود. نمونه‌ای از سیگنال‌های ویبروآرتروگرافی ثبت شده در محل روی کشکک در زانوهای راست و چپ در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

گردید و میانگین مجذور کای (Root Mean Square (RMS) برای هر سیگنال ویبروآرتروگرافی محاسبه گردید. گراف‌ها در برنامه Excel رسم شد و از تی زوج و آنالیز واریانس یک طرفه، برای مقایسه میانگین مجذور کای بین زانوهای چپ و راست و بین سه محل استفاده گردید. در ضمن با کمک یکی از مهندسين دانشگاه صنعتی شریف، نرم‌افزاری جهت نشان دادن سیگنال‌های VAG طراحی گردید و با کمک آن معدل میانگین مجذور کای برای هر فرد طی سه تست به دست آمده و با قدرت بزرگنمایی در هر بخش، سیگنال‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

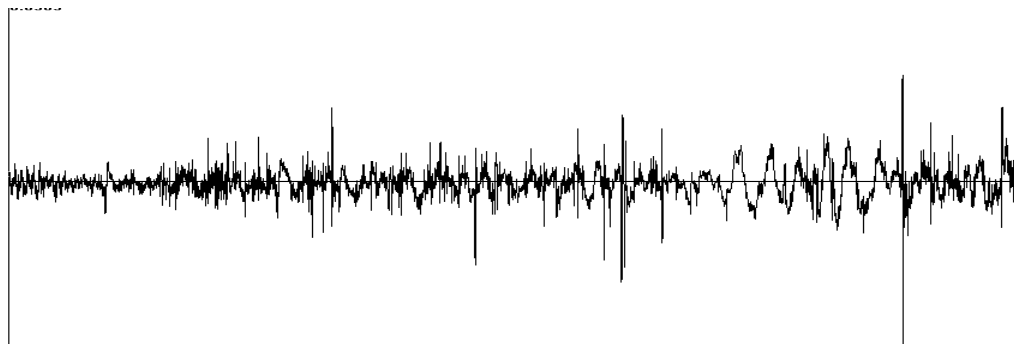
نتایج

ابتدا به عنوان یک مطالعه آزمایشی و برای حصول اطمینان از تکرارپذیری نتایج، شتاب‌سنج بر روی سطوح مدیال، لاترال و روی کشکک زانوهای راست ۴ فرد سالم گذاشته شد و تست مورد نظر انجام گردیده و میانگین مجذور کای در هر سه محل بدست آمد. نتایج حاصله اطمینان از قابلیت تکرار پذیری تست را برای محققین اثبات کرد ($ICC=0/9$). پس از آن، تست بر روی نمونه‌ها انجام گردید. بررسی نتایج میانگین مجذور کای در هر یک از سطوح مدیال، لاترال و روی زانو نشان داد که گرچه زانوهای دچار استئوآرتروز، دارای میانگین مجذور کای کمتری از زانوهای سالم در هر سه محل لاترال، مدیال و روی کشکک بودند، ولی این تفاوت معنی‌دار نبود (نمودار ۱).

بررسی‌های دقیق‌تر نشان داد که این کاهش بین زانوهای چپ و راست متفاوت عمل می‌کند. بدین صورت که در



شکل ۳- نمونه‌ای از سیگنال‌های ثبت شده در محل روی کشکک در زانوهای نرمال



شکل ۴- نمونه‌ای از سیگنال‌های ثبت شده در محل روی کشکک در زانوهای دچار استئوآرتریت

بحث

محققین را به این نکته رهنمون داشت که چنانچه شتاب‌سنج بر روی کشکک زانوی چپ گذاشته شود، نتایج حاصله می‌تواند شاخص بهتری در وجود یا عدم وجود تغییرات دژنراتیو مفصلی باشد.

این نکته که با افزایش تغییرات دژنراتیو از میزان صداهای نرمال زمینه‌ای (کرپیتوسهای فیزیولوژیک) کاسته می‌شود، منطقی به نظر می‌رسد چرا که اگر به خاطر بی‌اوری که این صداهای نرمال زمینه‌ای همان عوامل به وجود آورنده حرکات آرتروکینماتیک (حرکات ریز درون مفصلی که بدان بازی مفصلی (Joint play) نیز گفته می‌شود) هستند [۱۶] و با شروع تغییرات دژنراتیو از میزان نرمی و راحتی انجام حرکات کاسته می‌شود، بنابراین حرکات زمینه‌ای فوق کمتر شده و حرکات درون مفصلی به جای نرم و روان بودن به صورت خشن و تا حدی پرشی (Jerky Movements) انجام می‌شود. این موضوع موافق یافته Nagata (۱۹۸۸) بود که بیان کرد که در زانوهای مبتلا به آرتروز که غضروف کمی سخت شده است، سیگنال‌ها به صورت نامنظم، غیر تکراری و تیز می‌باشند. او هم‌چنین دو نوع بسامد پایین (L type) و بالا (H type) را در زانو شناسایی نمود و بیان داشت که بسامد بالا نشان‌دهنده سخت و ضخیم شدن غضروف مفصلی است. در نهایت او اعلام داشت که صداهای مفصلی می‌تواند معرف تغییرات مربوط به استئوآرتریت زانو باشد. او هم‌چنین اعلام کرد که تغییرات مشاهده شده در رادیوگرافی مرتبط با صداهای با بسامد پایین

نتایج تحقیق حاضر حاکی از تفاوت‌های مشهودی بین زانوهای سالم و دژنراتیو از نظر شدت و شکل سیگنال‌ها بود که موافق یافته‌های بسیاری از محققین گذشته بود. به طوری که با بررسی سیگنال‌ها به خوبی می‌توان اظهار داشت که کدام سیگنال مربوط به زانوی سالم و کدام یک مربوط به زانوی دژنراتیو می‌باشد. زانوهای دچار استئوآرتریت به طور کلی دارای سیگنال‌هایی با ارتفاع کوتاه‌تر (و نتیجتاً میانگین مجذور کای کمتر) نسبت به زانوهای سالم بودند. در زانوهای دژنراتیو، کرپیتوسهای فیزیولوژیک پاتلوفمورال، بسیار کمتر از زانوهای نرمال بود با این تفاوت که در این زانوها علاوه بر این کرپیتوس‌ها، مرتباً امواج تیز و بلندی (Spikes) مابین صداهای زمینه‌ای ظاهر شده بودند که با افزایش تغییرات دژنراتیو، بر تعداد این امواج تیز و بلند افزوده می‌شد. این مطالعه نشان داد که اولاً معدل مجموع میانگین مجذور کای در هر سه سطح مدیال، لاترال و روی کشکک در زانوهای دژنراتیو کمتر از زانوهای سالم بود. ثانیاً زانوهای چپ دچار استئوآرتریت، به شدت دارای میانگین مجذور کای کمتری از زانوهای چپ سالم بودند و این تفاوت در هر سه سطح مشهود و در روی کشکک معنی‌دار بود. این مسئله شاید نشان‌دهنده حساس‌تر بودن محل روی کشکک جهت بررسی تغییرات دژنراتیو مفصلی باشد که با مطالب بیان شده توسط Shen و همکارانش (۱۹۹۵) موافقت دارد [۱۵]. آنچه در این تحقیق به دست آمد

(بین ۰/۵ تا ۱ کیلوهرتز) است و این روش مقبولی برای تشخیص استئوآرتروز زانو می‌باشد. قبلاً نیز Mang و همکارانش در ۱۹۸۰ در مطالعه‌ای به بررسی فنوآرتروگرافی در ۱۹۸ بیمار با زانوهای دچار مشکل پرداخته بودند و با استفاده از صداهای ثبت شده توانستند صداهای ۴ گروه شامل بیماران دچار استئوآرتروز منتشر و پیشرفته، کندرومالاسی پاتلا (نرمی غضروف زیر کشکک، که بدان آرتروز جوانان نیز گفته می‌شود)، ضایعات مینیسک (ضربه گیر هلالی شکل داخل زانو) و صدمات لیگامانی (رباط) را از هم افتراق دهند [۱۷].

نکته مهم دیگر در این گونه مطالعات، استفاده از فیلترینگ مناسب برای کاهش هر چه بیشتر صداهای مزاحم می‌باشد. Zhang و همکارانش (۱۹۹۴) روشی برای حذف انقباضات عضلانی که همیشه به عنوان صداهای مزاحم معرفی شده‌اند، ابداع کردند. آن‌ها اعلام کردند که گرچه استفاده از فیلترینگ ساده (High pass) توانسته است تا حدود زیادی این نویزها را کم کند ولی چون تعدادی از سیگنال‌های ویبروآرتروگرافی نیز در همین محدوده بسامدی‌اند این سیگنال‌ها نیز با این نوع فیلترینگ حذف می‌شوند. بر این اساس، آن‌ها مدل جدیدی ابداع کردند که انقباضات عضلانی را به طور انتخابی فیلتر می‌کرد و سیگنال‌ها را خالص‌تر نشان می‌داد. Mousavi و همکارانش (۱۹۹۶) نیز شتاب‌سنج را بر روی وسط کشکک گذاشته و روش نوین ریاضی را در دستهبندی سیگنال‌های ثبت شده ویبروآرتروگرافی ابداع نمودند [۱۸]. Krishnan و همکارانش نیز روش‌های مختلف دسته بندی سیگنال‌های ویبروآرتروگرافی را بررسی کرده و میزان موفقیت با این روش را در ضایعات داخل زانو ۶۸/۹٪ و در ضایعات پاتلوفمورال ۷۷/۵٪ اعلام نمودند [۱۹]. Krishnan & Rangayyan مدل ریاضی دیگری را در جهت کاهش صداهای مزاحم ابداع کردند که بر اساس آن اعلام کردند که حساسیت کلی این روش را تا ۸۳/۸٪ بالا برده‌اند [۲۰]. اسکندری (۱۳۸۲) نیز دسته‌بندی دیگری ارائه نموده و بیماری‌های زانو را بر اساس آن افتراق داد و اعلام نمود که حساسیت آن حدود ۹۰٪ می‌باشد [۲۱].

در مورد تفاوت مشهود بین زانوهای راست و چپ، شاید بتوان این موضوع را به غالب یا غیر غالب بودن پاها نسبت داد ولی متأسفانه در هیچ یک از مقالات بررسی شده مطلبی در این مورد ذکر نشده بود که احتمالاً دلیلش استفاده از فقط یک زانو در مطالعات بود. در این تحقیق بیمارانی با هر دو زانوی معیوب انتخاب شده بودند ولی از آن جا که در کلیه نمونه‌ها پای راست غالب بود، نمی‌توانیم مقایسه‌ای بین پایهای راست و چپ غالب داشته باشیم ولی مسلم است که غالب یا غیر غالب بودن اندام‌ها می‌تواند ارتباط مستقیمی با قدرت عضلانی آن اندام داشته باشد. در این صورت شاید بتوان گفت که قوی‌تر بودن عضلات پای غالب (در این مطالعه پای راست)، بروز تغییرات دژنراتیو را به تأخیر انداخته باشد. به طور خلاصه، در استفاده از سیگنال‌های ویبروآرتروگرافی در تشخیص ضایعات مفصلی چند نکته قابل توجه است: اول این که با مطالعه این سیگنال‌ها که در واقع بیانگر حالات درونی هر مفصل می‌باشد می‌توان تا حد زیادی وقایع درون آن مفصل از جمله تغییرات دژنراتیو آن را بررسی نمود و نتایج حاصل از این روش با تغییرات رادیوگرافی‌کی رخ داده نیز کاملاً مرتبط می‌باشد [۲۲]. نکته دیگر این که، گرچه استفاده از شتاب‌سنج توانسته است تا حد بسیار زیادی به بهبود این تکنیک کمک نماید، ولی هنوز مداخلات بسیار دیگری از جمله انقباضات عضلانی، استفاده از فیلترینگ مناسب تر و استفاده از شتاب‌سنج‌های حساس‌تر که بتوانند به طور انتخابی صداهای درون مفصل را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند، باعث بتاخر افتادن استفاده بالینی هر چه بیشتر از این وسیله غیرتهاجمی و ارزان گردیده است. همین مسئله باعث شده است تا پس از یک وقفه چند ساله، بار دیگر محققین در باره حل مشکلات باقیمانده استفاده از این روش در سیستم‌های بیمارستانی دنیا وارد تحقیقات جدیدی شوند.

نتیجه‌گیری

می‌توان گفت که این مطالعه نشان داد که اولاً ویبروآرتروگرافی یک روش غیر تهاجمی و مفید در بررسی و

استئوآرتریت باشد، گذاردن شتاب‌سنج بر روی کشکک، بهترین محل برای ثبت سیگنال‌های ویبروآرتروگرافی می‌باشد.

تشخیص بعضی از بیماری‌ها از جمله استئوآرتریت زانو می‌باشد. ثانیاً، در صورتی که زانوی چپ بیماران دچار

References

- [1] Mollan RA, McCullagh GC, Wilson RI. A critical appraisal of auscultation of human joints. *Clin Orthop Relat Res*, 1982;170:231-7.
- [2] Inoue J, Nagata Y, Suzuki K. Measurement of knee joint sounds by microphone. *J UOEH*, 1986; 8(3): 307-16.
- [3] Lee JH, Jiang CC, Yuan TT. Vibration arthrometry in patients with knee joint disorders. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2000; 47(8): 1131-3.
- [4] Kernohan WG, Beverland DE, McCoy GF, Shaw SN, Wallace RG, McCullagh GC, et al. The diagnostic potential of vibration arthrography. *Clin Orthop Relat Res*, 1986; 210: 106-12.
- [5] McCrea JD, McCoy GF, Kernohan WG, McClelland CJ, Mollan RA. Current trends in phonoarthrography. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 1985; 123(1): 13-7.
- [6] Nagata Y. Joint-sounds in gonoarthritis—clinical application of phonoarthrography for the knees. *J UOEH*, 1988; 10(1): 47-58.
- [7] Nekvasil R, Stejskal J, Nevrtal M. Acoustic frequency analysis of auscultation findings in neonates. *Cesk Pediatr*, 1992; 47(4): 204-9.
- [8] Krishnan S, Rangayyan RM, Bell GD, Frank CB. Auditory display of knee-joint vibration signals. *J Acoust Soc Am*, 2001; 110(6): 3292-304.
- [9] Yoshida H, Sano T, Kataoka R, Takahashi K, Michi K. A preliminary investigation of a method of detecting temporomandibular joint sounds. *J Orofac Pain*, 1994; 8(1): 73-9.
- [10] Widmalm SE, Djurdjanovic D, McKay DC. The dynamic range of TMJ sounds. *J Oral Rehabil*, 2003; 30(5): 495-500.
- [11] Chu ML, Gradisar IA, Railey MR, Bowling GF. An electro-acoustical technique for the detection of knee joint noise. *Med Res Eng*, 1976; 12(1): 18-20.
- [12] Schmidt H. Sound signals in the diagnosis of internal knee disorders. *Beitr Orthop Traumatol*, 1980; 27(4): 226-30.
- [13] Jiang CC, Liu YJ, Yip KM, Wu E. Physiological patellofemoral crepitus in knee joint disorders. *Bull Hosp Jt Dis*, 1993-95; 53(4): 22-6.
- [14] Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis*, 1957; 16(4): 494-502.
- [15] Shen Y, Rangayyan RM, Bell GD, Frank CB, Zhang YT, Ladly KO. Localization of knee joint cartilage pathology by multichannel vibroarthrography. *Med Eng Phys*, 1995; 17(8): 583-94.
- [16] Levangie PK, Norkin CT. Joint Structure and Function, A Comprehensive Analysis, 3rd ed Chapter 1. Philadelphia, FA Davis Company. 2001; pp: 4-5.
- [17] Mang W, Birk M, Blumel G. Practical application of phonoarthrography in the diagnosis of knee joint disease. (author's transl) *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 1980; 118(1): 85-90.
- [18] Moussavi ZM, Rangayyan RM, Bell GD, Frank CB, Ladly KO, Zhang YT. Screening of vibroarthrographic signals via adaptive segmentation and linear prediction modeling. *IEEE Trans Biomed Eng*, 1996; 43(1): 15-23.
- [19] Krishnan S, Rangayyan RM, Bell GD, Frank CB. Adaptive time-frequency analysis of knee joint vibroarthrographic signals for noninvasive screening of articular cartilage pathology. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2000; 47(6): 773-83.
- [20] Krishnan S, Rangayyan RM. Automatic de-noising of knee-joint vibration signals using adaptive time-frequency representations. *Med Biol Eng Comput*, 2000; 38(1): 2-8.

[۲۱] اسکندری ه. دسته بندی سیگنالهای نوسانی مفصل زانو بمنظور تشخیص بیماری آرتروز. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق (گرایش مهندسی پزشکی)، دانشگاه صنعتی شریف. استاد راهنما: دکتر محمدباقر شمس‌اللهی، مشاور: دکتر عباس رحیمی، تهران ۱۳۸۲. صفحه ۵۵.

[22] Kotani K, Suzuki K. Acoustical analysis of joint-sound through passive motion--with special reference to degenerative osteoarthritis of the knee joints. *Nippon Seikeigeka Gakkai Zasshi*, 1983; 57(12): 1869-80.