

مقاله پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان

دوره پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۸۵، ۲۲۴-۲۱۷

ویبروآرتروگرافی، روشنی نوین در تشخیص استئوآرتربیت 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 پذیرش مقاله: ۸۵/۹/۶ دریافت اصلاحیه از نویسنده: ۸۵/۱۰/۵

چکیده

زمینه و هدف: استفاده از صدای مفصلی برای تشخیص و پیش‌بینی ضایعات مفصلی، به دلیل ارزان‌تر و نیز غیرتھاجمی بودن آن مورد توجه فراوان قرار گرفته است. در این روش صدای 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 استئوآرتربیت 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 استئوآرتربیت 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 کشک قرار داده شد. نمونه‌ها عمل خم و صاف شدن زانو را انجام داده و سیگنال‌های ویبروآرتروگرافی آنان ثبت گردید. سپس، در هر فرد میانگین مجدور کای این سیگنال‌ها محاسبه و در دو گروه با یکدیگر مقایسه گردید.

یافته‌ها: یافته‌های این تحقیق نشان داد که زانوهای سالم دارای صدای فیزیولوژیک بیشتر و همگن‌تر و در عوض زانوهای دچار استئوآرتربیت دارای صدای فیزیولوژیک کمتر همراه با امواج نوک تیز بیشتری بودند. در مجموع، میانگین مجدور کای سیگنال‌های ویبروآرتروگرافی در زانوهای دچار استئوآرتربیت با زانوهای سالم تفاوتی نداشت ولی بین زانوهای چپ و راست افراد دچار استئوآرتربیت، این یافته تفاوت مشهودی را نشان داد. بدین صورت که در زانوهای چپ افراد دچار استئوآرتربیت میانگین مجدور کای سیگنال‌ها بین سطوح مدیال و لاترال با نقاط معادلش در افراد سالم تفاوت نداشت، ولی در محل روی کشک این تفاوت معنی‌دار بود ($p=0.03$).

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

واژه‌های کلیدی: استئوآرتربیت زانو، ویبروآرتروگرافی، غیر تھاجمی

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

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

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

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

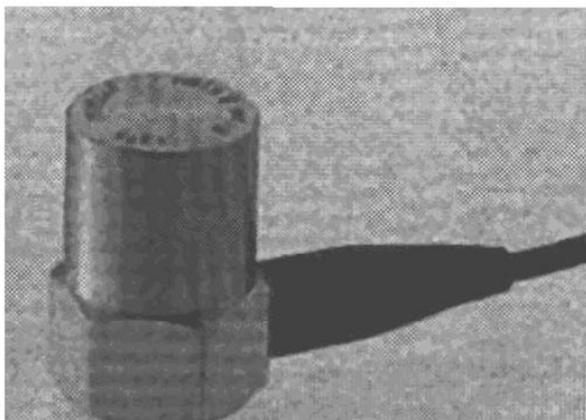
مقدمه

تحقیقات نشان داده‌اند که این کربیتوس‌ها، در واقع واکنش‌های ناشی از حرکات ریز کشک در طول حرکت بر قسمت قرقه‌ای انتهای 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 کربیتوس‌ها به صورت امواج منظم و پریودیک و به صورت دسته‌هایی در خلاف جهت یکدیگر (مثل تصاویر آینه) ظاهر می‌شوند، در حالی که صدای کلیک به صورت نامنظم و گذراست. کلیک کشک 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 کربیتوس‌های فیزیولوژیک شنیده می‌شود، امواج تیزی در محدوده بسامدی ۴۰ تا ۱۴۰ هرتز ثبت می‌گردد. بیشتر کلیک‌های نرمال درست از زیر کشک منشاء می‌گیرند و احتمالاً تعدادش با افزایش سرعت زاویه‌ای زانو بیشتر می‌شود.

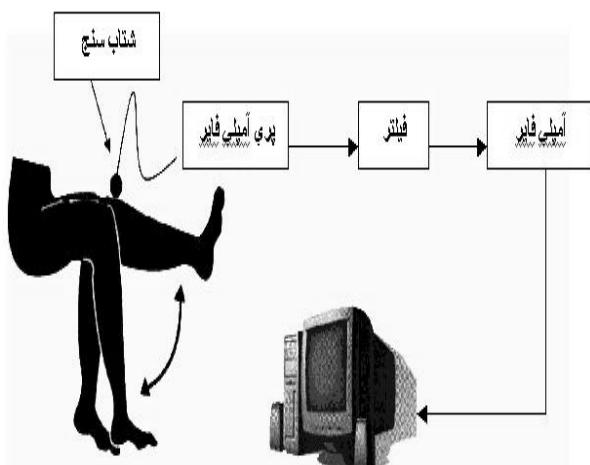
همان طور که ذکر شد، صداهای مفصلی را می‌توان توسط گوشی و یا میکروفون ثبت کرد ولی به علت این که گوشی و میکروفون صداهای محیط از جمله صدای حرکت کابل، هوا (باد) و مهمتر از همه صدای انقباضات عضلانی را هم ثبت می‌کند، این صداهای مزاحم (Noise) ثبت شده به همراه صداهای واقعی، شنونده را دچار سردرگمی می‌کند. به همین 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 به بعد ویبروآرتروگرافی تقریباً منحصراً با انواع مختلف

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 پیش آگهی 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 خواهد بود [۵]. دستگاه‌های تقویت کننده صداهای مفصلی عبارتند از گوشی، میکروفون، شتاب‌سنج وغیره.

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. کربیتوس‌های 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 کشک فرد ثبت می‌گردد [۱۳].



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



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

سپس از شرکت‌کننده خواسته شد تا در عرض دو ثانیه زانویش را از حالت خم شده ۹۰ درجه به صاف شدن کامل برد 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

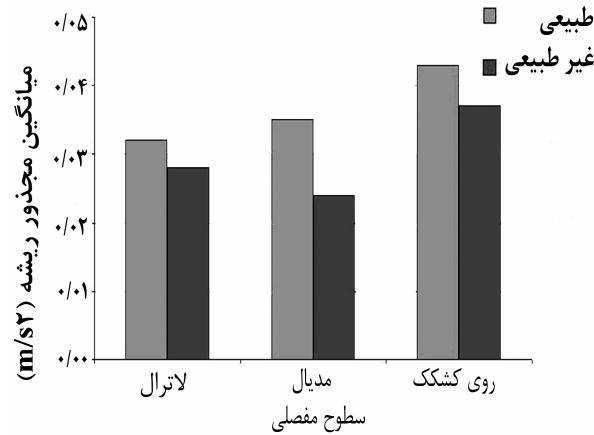
شتابسنج انجام می‌شود. از آن جا که شتابسنج‌های جدید همراه با فیلترینگ مناسب، محققین را قادر به مطالعه بالینی بهتر در استفاده از ویبروآرتروگرافی می‌نماید و هنوز در زمینه استئوآرتربیت زانو ابهامات زیادی وجود دارد، هدف از انجام این مطالعه، بررسی بیشتر جهت امکان استفاده از ویبروآرتروگرافی در تشخیص و نیز پیش آگهی استئوآرتربیت 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 استئوآرتربیت دو طرفه زانو با میانگین سنی 44 ± 24 سال و ۱۱ نفر هم با میانگین سنی 42 ± 22 سال دارای زانوهای سالم و به عنوان گروه کنترل در نظر گرفته شدند. بیماران همگی توسط پزشک ارتوپد و با تشخیص استوآرتربیت 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 استئوآرتربیت 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 کشک و یافته‌های رادیوگرافیک، توسط یک فیزیوتراپیست با تجربه در بیماری‌های ارتوپدی در پرسشنامه خود ساخته وارد گردید. سپس شتابسنج مینیاتوری (۴۳۷۵، Brüel & Kjaer، دانمارک) در نواحی مدیال، لاترال و روی کشک گذاشته شد و با چسب دو رو در محل، ثابت گردید و کابل‌های مخصوص شتابسنج به پری‌امپلی‌فایر، فیلتر، آمپلی‌فایر 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 کشک کتفاوت معنی‌داری بین زانوهای دچار استئوآرتیت و سالم نشان نداد (به ترتیب $P=0.56$, $P=0.93$, $P=0.71$).



نمودار ۱- میانگین مجذور کای بین زانوهای طبیعی و غیرطبیعی استئوآرتیت در سطوح مختلف

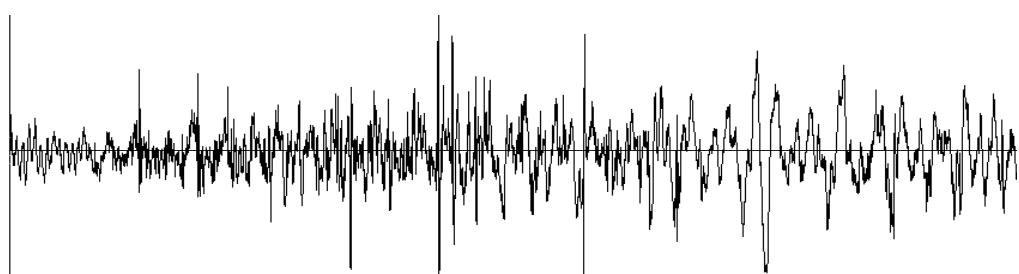
در حالی که در زانوهای چپ، میانگین مجذور کای در زانوهای دچار استئوآرتیت فقط در روی کشک کتفاوت معنی‌داری نسبت به نقطه معادل خود در زانوهای سالم چپ نشان داد ($p=0.03$) (شکل ۳ و ۴). سرانجام وقتی میانگین مجموع هر سه سطح مدیال، لاترال و روی کشک بین زانوهای راست و چپ ما بین دو گروههای سالم و ناسالم با یکدیگر 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 کشک در زانوهای راست و چپ در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

گردید و میانگین مجذور کای (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 مهندسین 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.

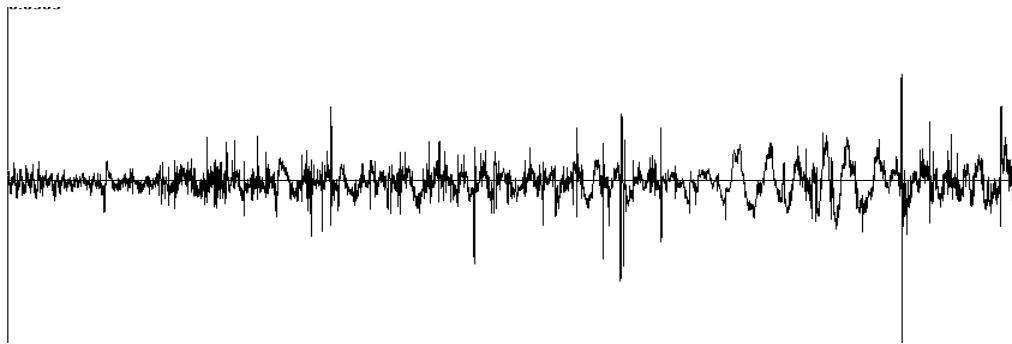
نتایج

ابتدا به عنوان یک مطالعه آزمایشی و برای حصول اطمینان از تکرارپذیری نتایج، شتاب‌سنج بر روی سطوح مدیال، لاترال و روی کشک زانوهای راست ۴ فرد سالم گذاشتند 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. 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 استئوآرتیت، دارای میانگین مجذور کای کمتری از زانوهای سالم در هر سه محل لاترال، مدیال و روی کشک 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 کشک در زانوهای نرمال



شکل ۴- نمونه‌ای از سیگنال‌های ثبت شده در محل روی کشک در زانوهای دچار استئوآرتربیت

بحث

محققین را به این نکته رهنمون داشت که چنانچه شتاب‌سنج بر روی کشک 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 صدای نرمال زمینه‌ای (کرپیتوس‌های فیزیولوژیک) کاسته می‌شود، منطقی به نظر می‌رسد چرا که اگر به خاطر بیاوریم که این صدای 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 صدای مفصلی می‌تواند معرف تغییرات مربوط به استئوآرتربیت زانو باشد. او همچنین اعلام کرد که تغییرات مشاهده شده در رادیوگرافی مرتبط با صدای مفصلی 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 استئوآرتربیت به طور کلی دارای سیگنال‌هایی با ارتفاع کوتاه‌تر (و نتیجتاً میانگین مجدور 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 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 مجدور کای در هر سه سطح مدیال، لاترال و روی کشک در زانوهای دژنراتیو کمتر از زانوهای سالم بود. ثانیاً زانوهای چپ دچار استئوآرتربیت، به شدت دارای میانگین مجدور کای کمتری از زانوهای چپ سالم بودند و این تفاوت در هر سه سطح مشهود و در روی کشک معنی‌دار بود. این مسئله شاید نشان دهنده حساس‌تر بودن محل روی کشک 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

در مورد تفاوت مشهود بین زانوهای راست و چپ، شاید بتوان این موضوع را به غالب یا غیر غالب بودن پاهای 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 پاهای 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 واقع 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 صدای درون مفصل را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند، باعث بتاخیر افتادن استفاده بالینی هرچه 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

(بین ۰/۵ تا ۱ کیلوهertz) است و این روش مقبولی برای تشخیص استئوآرتیت زانو می‌باشد. قبل از نیز Mang و همکارانش در ۱۹۸۰ در مطالعه‌ای به بررسی فنوآرتروگرافیکی در ۱۹۸ بیمار با زانوهای دچار مشکل پرداخته بودند و با استفاده از صدایی ثبت شده توانستند صدایی ۴ گروه شامل بیماران دچار استئوآرتیت منتشر و پیشرفته، کندرومالاسی پاتلا (نمی‌غضروف زیر کشک)، 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 هرچه بیشتر صدایی مزاحم می‌باشد. Zhang و همکارانش (۱۹۹۴) روشهای برای حذف انقباضات عضلانی که همیشه به عنوان صدایی 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 کشک 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 صدایی 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 ارایه نموده و بیماری‌های زانو را بر اساس آن افتراق داد و اعلام نمود که حساسیت آن حدود ۹۰٪ می‌باشد [۲۱].

استئوآرتربیت باشد، گذاردن شتابسنج بر روی کشکک، بهترین محل برای ثبت سیگنال‌های ویبروآرتوگرافی می‌باشد.

تشخیص بعضی از بیماری‌ها از جمله استئوآرتربیت 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, Nevrta 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, Gradišar 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-arthrosis. *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 predication 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 (گرویش مهندسی پزشکی)، دانشگاه صنعتی شریف. استاد راهنمای: دکتر محمد باقر شمس‌اللهی، مشاور: دکتر عباس رحیمی، تهران ۱۳۸۲، صفحه ۵۵.

[۲۲] 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.