

## بررسی اثر سناریوهای مختلف ارتعاش دست- بازو بر روی پاسخ عروقی دست

محسن علی‌آبادی<sup>۱</sup>، سید حجت موسوی کردمیری<sup>۲</sup>، رستم گلمحمدی<sup>۳</sup>، ماسیمو بوونزی<sup>۴</sup>، مریم فرهادیان<sup>۵</sup>

## مقاله پژوهشی

## چکیده

**مقدمه:** استفاده‌ی روزافزون از تجهیزات مرتعش دستی برای کارهای مختلف ساخت و سازه‌های ساختمانی، شاغلین این صنعت را در معرض ارتعاش دست- بازو قرار داده است. مطالعه‌ی حاضر به بررسی تأثیر شتاب و فرکانس ارتعاش دست- بازو بر پاسخ عروقی دست در شاغلین صنعت ساختمان‌سازی می‌پردازد.

**روش‌ها:** مطالعه‌ی حاضر بر روی ۴۰ نفر از شاغلین صنعت ساختمانی در فاز آزمایشگاهی انجام شد. با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز ارتعاش دست- بازو شرکت‌کنندگان مطالعه در مواجهه با ارتعاش دست- بازو در ۴ سناریوی مختلف شامل:  $5 \text{ rms m/s}^2$  ( $63 \text{ Hz}$ )،  $5 \text{ rms m/s}^2$  ( $31/5 \text{ Hz}$ )،  $5 \text{ rms m/s}^2$  ( $31/5 \text{ Hz}$ ) و  $10 \text{ rms m/s}^2$  ( $31/5 \text{ Hz}$ ) قرار گرفتند. قبل و بعد از هر سناریو، پاسخ عروقی دست جهت تشخیص میزان انسداد عروقی با استفاده از دستگاه نکسوس-۴ به همراه سنسور BVP مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

**یافته‌ها:** میزان جریان خون نسبی انگشت دست در تمامی سناریوهای مواجهه با ارتعاش دست- بازو کاهش معنی‌داری یافته است. اختلاف میانگین جریان خون نسبی انگشت دست در مواجهه با ارتعاش دست- بازو  $10 \text{ rms m/s}^2$  ( $31/5 \text{ Hz}$ ) بیشتر از سناریوهای دیگر بود. بررسی سناریوها با شتاب ارتعاش یکسان  $5 \text{ rms m/s}^2$  و فرکانس‌های مختلف  $31/5$ ،  $63$  و  $125$  هرگز نشان داد که با افزایش فرکانس، میزان جریان خون نسبی بیشتر کاهش یافته است.

**نتیجه‌گیری:** فرکانس مواجهه با ارتعاش دست- بازو همانند شتاب مواجهه یافته در ایجاد عوارض عروقی از اهمیت بسیاری برخوردار است. هر چقدر میزان فرکانس بیشتر باشد، عوارض عروقی در انگشتان دست بیشتر می‌گردد.

**واژگان کلیدی:** سندرم ارتعاش دست و بازو؛ جریان خون منطقه‌ای؛ صنعت ساخت و ساز

**ارجاع:** علی‌آبادی محسن، موسوی کردمیری سید حجت، گلمحمدی رستم، بوونزی ماسیمو، فرهادیان مریم. بررسی اثر سناریوهای مختلف ارتعاش دست- بازو بر روی پاسخ عروقی دست. مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۴۰۳؛ ۴۲ (۷۶۳): ۲۸۰-۲۸۷.

## مقدمه

بیش از یک میلیون نفر در معرض ارتعاش دست- بازو قرار دارند (۳). آخرین بررسی کشورهای اروپایی نشان می‌دهد به طور متوسط از هر سه کارگر در اروپا یک نفر در معرض انواع ارتعاشات از هر منبع (ابزارهای مرتعش دستی، ماشین‌آلات و غیره) قرار می‌گیرد. حدود ۲۴ درصد از تمام کارگران اتحادیه اروپا (از هر چهار کارگر یک نفر) گزارش کردند که حداقل یک چهارم از زمان کاری خود در معرض ارتعاشات قرار می‌گیرند (۴).

مطالعات نشان داده است مواجهه با سطح بالایی از ارتعاش می‌تواند سبب ایجاد ریسک برای سلامتی و ایمنی انسان شده و نیز سبب

امروزه در بسیاری از کشورها و شهرهای توسعه یافته، صنعت ساخت و ساز با سرعت زیادی در حال گسترش است. در این زمینه ابزار مختلف مرتعش دستی برای فعالیت‌های مختلف ساختمانی ضروری است و کارگران ساختمانی استفاده کننده از وسایل در معرض ارتعاش دست و بازو ناشی از این ابزارها قرار می‌گیرند (۱). این ارتعاشات می‌تواند باعث آسیب به انگشتان، دست‌ها، بازوها و دیگر قسمت‌های بدن بسته به ماهیت ارتعاشی ابزار مرتعش و شرایط کاری می‌شود (۲). به گونه‌ای که در آمریکا بیش از ۷ میلیون نفر کارگر در معرض ارتعاش تمام بدن و

۱- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده‌ی بهداشت و مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده‌ی علوم پزشکی اسفراین، اسفراین، ایران

۳- استاد، قطب علمی مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده‌ی بهداشت و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

۴- استاد، واحد بالینی طب کار، گروه علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۵- دانشیار، گروه آمار زیستی، دانشکده‌ی بهداشت و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

نویسنده‌ی مسؤول: سید حجت موسوی کردمیری؛ استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده‌ی علوم پزشکی اسفراین، اسفراین، ایران

Email: hojatmk66@yahoo.com

هرچه بیشتر مواجهه آزمودنی‌ها در این مطالعه شرایط آزمایشگاهی همانند شرایط مواجهه واقعی، ۳۰ دقیقه مواجهه در نظر گرفته شده به صورت ۶ مرحله‌ی مواجهه ۵ دقیقه‌ای با استراحت‌های ۱ دقیقه‌ای بین هر مرحله در آمده است. با توجه به اینکه مطابق آخرین استانداردها میزان مواجهه‌ی توصیه شده‌ی شغلی (OEL) برای مواجهه با ارتعاش دست- بازو  $5 \text{ m/s}^2$  در نظر گرفته شده است، در این مطالعه، سه سناریوی مواجهه با ارتعاش دست- بازو  $5 \text{ m/s}^2$  در فرکانس‌های ۳۱/۵، ۶۳ و ۱۲۵ هرتز برای بررسی تأثیر کوتاه‌مدت ارتعاش دست- بازو با شرایط یکسان شتاب ارتعاشی و فرکانس‌های متفاوت در ایجاد اثرات عروقی انتخاب گردیده است. جهت تأثیر شدت‌های مختلف ارتعاش با فرکانس یکسان مقدار شتاب ارتعاش  $10 \text{ m/s}^2$  با فرکانس ۳۱/۵ هرتز به عنوان سناریوی دیگر در این مطالعه در نظر گرفته شده است تا با سناریوی ارتعاش  $5 \text{ m/s}^2$  با فرکانس یکسان ۳۱/۵ هرتز مورد مقایسه قرار گیرد. قابل ذکر است، مطالعات نشان داده‌اند که محور ورودی ارتعاش عمودی (Z) در مواجهه انسانی با ارتعاش دست- بازو در شرایط کار با ابزارهای تخریب مرتعش دستی دارای اهمیت بالاتری نسبت به دو محور دیگر در ایجاد صدمات و اثرات بوده است (۹، ۱۰). به همین دلیل در این مطالعه، محور ورودی Z به عنوان محور غالب برای مواجهه آزمودنی‌ها در فاز آزمایشگاهی انتخاب گردیده است. به طور کلی در این مطالعه ۴ جلسه مواجهه با ارتعاش دست- بازو در طی مدت ۳۰ دقیقه مواجهه (۶ مرحله‌ی مواجهه ۵ دقیقه‌ای با استراحت یک دقیقه‌ای بین هر مرحله) برای افراد شرکت‌کننده در مطالعه مطابق جدول ۱ در نظر گرفته شد.

جدول ۱: سناریوهای مواجهه افراد شرکت‌کننده در مطالعه

تعداد جلسات آزمایش	سناریوهای مواجهه ۳۰ دقیقه‌ای (۶ مرحله‌ی مواجهه ۵ دقیقه‌ای با استراحت ۱ دقیقه‌ای بین هر مرحله)
۱	ارتعاش دست- بازو $5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ با فرکانس غالب ۱۲۵ هرتز
۲	ارتعاش دست- بازو $5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ با فرکانس غالب ۶۳ هرتز
۳	ارتعاش دست- بازو $5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ با فرکانس غالب ۳۱/۵ هرتز
۴	ارتعاش دست- بازو $10 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ با فرکانس غالب ۳۱/۵ هرتز

پاسخ عروقی دست. جهت تشخیص میزان انسداد عروقی در مواجهه با ارتعاش دست- بازو در این مطالعه از سنسور (Blood BVP (volume pulse sensor) دستگاه نکسوس-۴ استفاده گردید. کارکرد این سنسور انگشتی بر اساس سیگنال فوتوپلتیسموگرافی

وخامت و یا تشدید جراحات گردد. در بعضی موارد ارتعاش ناشی از دستگاه‌های مرتعش می‌تواند سبب تحریک بدن در نقاط مختلفی شود که نتیجه آن نیز ایجاد شکستگی‌های کوچک در مهره‌ها، بیرون زدگی دیسک، آسیب عصبی و کمردرد حاد گردد. علاوه بر این، ارتعاش قادر به ایجاد مشکلات اسکلتی-عضلانی، عروقی، گوارشی، مشکلات روانشناختی، فیزیولوژیکی و تغییرات روانی-حرکتی می‌باشد (۵، ۶). رگ‌های دست به پنج علت عمده بیمار می‌شوند که شامل ضربه، فشار، بسته شدن، تومور و اسپاسم عروقی است. این مشکل در کسانی که از ابزارهای ویراتور و لرزاننده استفاده می‌کنند بیشتر دیده می‌شود (۷). به‌طور کلی اختلال در خون‌رسانی به دست عمدتاً به دلیل عکس‌العمل رفلکسی عروق، به صورت تنگی ظاهر شده و باعث اختلال در تغذیه و اکسیژن‌رسانی شده و می‌تواند باعث پدیده‌ی انگشت سفید و علائم تغییرات عصبی و عروقی و نیز سندرم ارتعاشات دست و بازو گردد (۸). از سوی دیگر مطالعات زیادی در سطح دنیا در خصوص ارتعاش انجام شده است که عمدتاً بر کمیت ارتعاش تمرکز داشته‌اند و کمتر کیفیت و ماهیت مواجهه ارتعاش دست- بازو مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین در مطالعه‌ی حاضر بررسی اثر شدت شتاب ارتعاش دست- بازو (۵ و ۱۰ متر بر مجذور ثانیه) و فرکانس ارتعاش دست- بازو (۳۱/۵، ۶۳ و ۱۲۵ هرتز) در الگوی زمانی مواجهه ۳۰ دقیقه‌ای (۶ مواجهه ۵ دقیقه‌ای) بر روی پاسخ‌های عروقی دست مورد مطالعه قرار گرفته است.

## روش‌ها

جامعه‌ی آماری مطالعه‌ی حاضر بر اساس محاسبات آماری و تعیین حجم نمونه، شامل ۴۰ نفر بوده است. این افراد از بین شاغلین مرد در پروژه‌های ساختمانی در حال ساخت که سابقه‌ی کار با ابزارهای مرتعش دستی را داشته‌اند، انتخاب شدند. بدین منظور با فراخوان اعلام شده در پروژه‌های ساختمانی در حال ساخت و همچنین سایت و اپلیکیشن دیوار (بخش معماری، عمران و ساختمانی) از علاقه‌مندان برای شرکت در این تحقیق دعوت به عمل آمد.

معیارهای ورود شامل: داشتن سابقه‌ی کار (حداقل یک سال) با ابزارهای مرتعش دستی و محدوده‌ی سنی ۲۵-۳۵ سال، عدم بیماری‌های اسکلتی-عضلانی، عدم مشکلات عصبی-عضلانی، عدم بیماری‌های حسی-عصبی و عروقی، عدم اختلالات اعصاب محیطی و نداشتن سابقه‌ی بیماری‌های قلبی-عروقی تعیین گردید. افرادی که شرایط فوق را نداشته باشند یا دچار یکی از اختلالات و بیماری‌های ذکر شده بودند از پژوهش خارج شدند.

سناریوهای مواجهه. بررسی‌های میدانی نشان داد که کار با ابزارهای تخریب مرتعش به صورت منقطع و در بازه‌های زمانی کوتاه می‌باشد و به صورت پیوسته نیست. بر همین اساس برای شبیه‌سازی

توصیفی از روش‌های آمار توصیفی و نمودارهای آماری استفاده گردید. برای تعیین تغییرات ایجاد شده قبل و بعد از مواجهه در هر جلسه، از آزمون مقایسه‌ی زوجی استفاده شد. به منظور بررسی اختلاف بین جلسات مختلف مواجهه (سناریوهای تعریف شده) از آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید. قابل ذکر است که در این مطالعه سطح معنی‌داری برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد و داده‌های مطالعه با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۵ (version 25, IBM Corporation, Armonk, NY) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این مقاله منتج از پایان‌نامه‌ی مقطع دکتری تخصصی رشته‌ی مهندسی بهداشت حرفه‌ای با کد اخلاق IR.UMSHA.REC.1400.657 با پشتیبانی مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام یافته است.

### یافته‌ها

با سخ عروقی با ثبت سیگنال‌های پالس حجم خون (BVP) قبل از مواجهه و بعد از مواجهه در سناریوهای مختلف فاز آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج میانگین و بررسی آماری تغییرات میانگین این متغیر که شامل جریان خون نسبی در انگشت دست بر حسب میلی‌ولت بود، در جدول ۲ نمایش داده شده است.

همان‌گونه که در جدول ۲ نمایش داده شده است، مواجهه با تمام سناریوهای مورد بررسی تغییرات آماری معنی‌داری در میزان جریان خون نسبی انگشت دست شرکت‌کنندگان نشان داده شده است. مقایسه‌ی تغییرات (اختلاف میانگین قبل و بعد از مواجهه) جریان خون نسبی انگشت دست شرکت‌کنندگان برای سناریوهای مختلف در شکل ۲ نمایش داده شده است.

همان‌گونه که در شکل ۲ نمایش داده شده است، از بین همه‌ی سناریوهای مورد بررسی، اختلاف میانگین جریان خون نسبی انگشت دست در سناریوی مواجهه با ارتعاش دست- بازو (۳۱/۵ Hz)  $m/s^2$  بیشتر از سناریوهای دیگر بود. همچنین نتایج بررسی اختلاف میانگین جریان خون نسبی انگشت دست قبل و بعد از مواجهه بین سناریوهای مختلف مواجهه معنی‌دار بوده است ( $P < 0/001$ )

می‌باشد. PPG یک روش غیرتهاجمی است که می‌تواند برای تشخیص تغییرات حجم خون در بستر رگ عروقی بافت به کار گرفته شود و تغییرات جذب نور را اندازه‌گیری می‌کند. همان‌طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است، سنسور انگشتی BVP دستگاه نکسوس-۴ بر روی انگشت اشاره دست غیرغالب شرکت‌کنندگان نصب گردید. با تاباندن نور مادون قرمز- نزدیک به بافت (پوست) و اندازه‌گیری جذب این نور از طریق جریان خون رگ‌ها شاخص BVP به دست آمده است. این یک اندازه‌گیری نسبی است و دامنه‌ی BVP از سیگنال خام BVP مستخرج گردید که نشان‌دهنده‌ی جریان خون نسبی انگشت دست می‌باشد. دامنه‌ی BVP با واحد میلی‌ولت بیان شده است و افزایش یا کاهش آن نشان‌دهنده‌ی تغییرات نسبی جریان خون (حجم خون) دست است.



شکل ۱: نحوه‌ی اتصال سنسورهای BVP به انگشت دست طبق

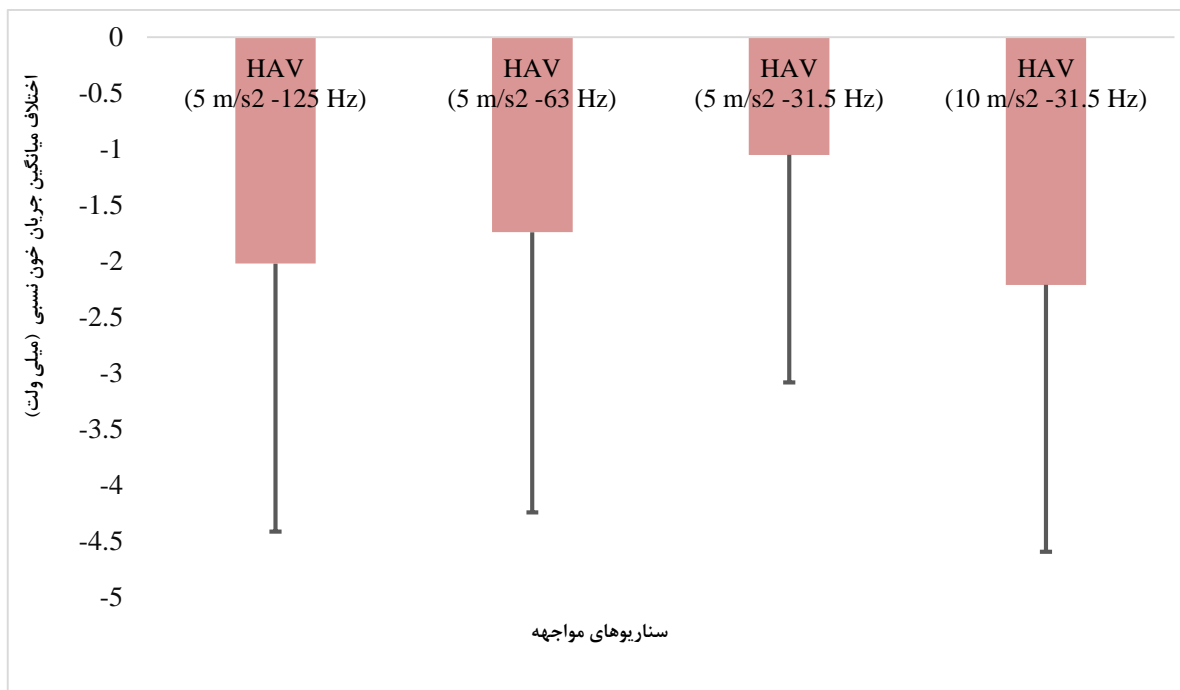
دستورالعمل دستگاه نکسوس-۴

بنابراین روند این مطالعه بدین صورت بوده است که داوطلبان انتخاب شده، طی زمان‌بندی انجام شده، در ۴ جلسه‌ی مجزا (در طول ۴ روز) در آزمایشگاه حاضر شده و در هر جلسه به صورت تصادفی با یکی از سناریوهای ارتعاش دست- بازو تعیین شده با استفاده از دستگاه شیکرالکترو دینامیک مولد ارتعاش، مواجهه پیدا نمودند. در هر مرحله قبل و بعد از مواجهه با سناریوهای تعیین شده میزان پاسخ عروقی انگشت دست (جریان خون نسبی انگشت دست) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

در این مطالعه از اختلاف میانگین داده‌های حاصل از آزمایشات برای انجام آزمون‌های آماری استفاده شد. برای ارائه‌ی نتایج

جدول ۲: نتایج بررسی تغییرات میانگین جریان خون انگشت دست قبل و بعد از مواجهه در هر یک از سناریوها

P	میانگین (انحراف معیار)		سناریوهای مواجهه
	قبل از مواجهه	بعد از مواجهه	
< ۰/۰۰۱	(۷/۳۸) ۲۴/۷۷	(۷/۴۶) ۲۲/۷۴	ارتعاش دست- بازو (۱۲۵ Hz) - ۵ $m/s^2$ rms
< ۰/۰۰۱	(۷/۱۵) ۲۴/۰۰۵	(۷/۰۱) ۲۲/۲۵	ارتعاش دست- بازو (۶۳ Hz) - ۵ $m/s^2$ rms
۰/۰۰۲	(۷/۹۱) ۲۲/۸۳	(۸/۰۶) ۲۲/۷۷	ارتعاش دست- بازو (۳۱/۵ Hz) - ۵ $m/s^2$ rms
< ۰/۰۰۱	(۷/۱۰) ۲۴/۸۵	(۷/۷۰) ۲۲/۶۴	ارتعاش دست- بازو (۳۱/۵ Hz) - ۱۰ $m/s^2$ rms



شکل ۲: مقایسه‌ی تغییرات میانگین و انحراف معیار جریان خون نسبی انگشت دست در سناریوهای مختلف مواجهه.

#### ارتعاش دست و بازو: HAV (Hand-arm vibration)

شرکت‌کنندگان مطالعه، مربوط به سناریوهای مواجهه ارتعاش دست- بازو ( $10 \text{ m/s}^2 \text{ rms}-31/5 \text{ Hz}$ ) با مقدار  $0/470$  بوده است. همچنین با مقایسه‌ی اندازه اثرها بین سه سناریوی با شتاب یکسان  $5 \text{ rms m/s}^2$  و فرکانس‌های مختلف  $31/5$ ،  $63$  و  $125$  هرتز نشان داد، با افزایش فرکانس میزان جریان خون نسبی انگشت دست بیشتر کاهش می‌یابد. به‌گونه‌ای که تغییرات میزان جریان خون نسبی انگشت دست شرکت‌کنندگان در سناریوهای ارتعاش دست- بازو ( $125 \text{ Hz}$   $5 \text{ rms m/s}^2$ ) و ارتعاش دست- بازو ( $31/5 \text{ Hz}$   $5 \text{ rms m/s}^2$ ) اختلاف معنی‌داری را نشان داده است.

با توجه به وجود اختلاف آماری معنی‌دار در میانگین جریان خون نسبی انگشت دست در سناریوهای مختلف مواجهه، برای مقایسه میانگین بین گروه‌ها (سناریوهای مواجهه) از آزمون مقایسه‌های دوگانه و آزمون تعقیبی LSD استفاده گردید. نتایج آزمون مقایسه‌های دوگانه برای بررسی اثرات متقابل و همچنین اندازه اثر هر کدام از سناریوهای مواجهه بر روی اختلاف میانگین میزان جریان خون نسبی انگشت دست، در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل از جدول ۳، بررسی اندازه‌ی اثرها نشان داد که بیشترین تأثیر بر روی میزان جریان خون نسبی انگشت دست

جدول ۳. آزمون مقایسه‌های دوگانه و اندازه‌ی اثر هر کدام از سناریوهای مواجهه بر روی جریان خون نسبی انگشت دست

متغیر	سناریوی مواجهه	ارتعاش دست- بازو ( $5 \text{ m/s}^2 - 125 \text{ Hz}$ )	ارتعاش دست- بازو ( $5 \text{ m/s}^2 - 63 \text{ Hz}$ )	ارتعاش دست- بازو ( $5 \text{ m/s}^2 - 31/5 \text{ Hz}$ )	ارتعاش دست- بازو ( $10 \text{ m/s}^2 - 31/5 \text{ Hz}$ )	اندازه‌ی اثر
BVP	ارتعاش دست- بازو ( $5 \text{ m/s}^2 - 125 \text{ Hz}$ )	-	$0/305$	$0/12$	$0/687$	$0/423$
	ارتعاش دست- بازو ( $5 \text{ m/s}^2 - 63 \text{ Hz}$ )	$0/305$	-	$0/074$	$0/326$	$0/333$
	ارتعاش دست- بازو ( $5 \text{ m/s}^2 - 31/5 \text{ Hz}$ )	$0/12$	$0/074$	-	$0/006$	$0/216$
	ارتعاش دست- بازو ( $10 \text{ m/s}^2 - 31/5 \text{ Hz}$ )	$0/687$	$0/326$	$0/006$	-	$0/470$

## بحث

نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان داد که میزان جریان خون نسبی انگشت دست در تمامی سناریوهای مواجهه کاهش یافته و از نظر آماری تغییرات معنی‌داری داشته است. در راستای نتایج مطالعه‌ی حاضر، می‌توان به مطالعات Qamruddin و همکاران (۱۱) و Nilsson و همکاران (۸) اشاره نمود. مطالعه‌ی Qamruddin و همکاران در سال ۲۰۲۰ نشان داد قرار گرفتن در معرض ارتعاش دست و بازو به طور قابل توجهی باعث افزایش عوارض عروقی کارگران در مواجهه‌ی ارتعاش دست- بازو می‌شود (۱۱). نتایج مطالعه‌ی مروری Nilsson و همکاران در سال ۲۰۱۷ نشان داد، کارگرانی که در معرض ارتعاش دست و بازو هستند در مقایسه با گروه‌هایی که در معرض ارتعاش نیستند، خطر ابتلا به بیماری‌های عروقی را افزایش می‌دهند که با مطالعه‌ی حاضر همخوانی داشت (۸). علاوه بر آن، بررسی شواهد اپیدمیولوژیک نشان می‌دهد که یک رابطه‌ی خطی قابل توجهی بین شیوع عوارض عروقی و سطح شتاب ارتعاش دست و بازو گزارش شده است. هنگامی که میزان ارتعاش افزایش پیدا کند، شیوع عوارض عروقی افزایش می‌یابد که نتایج مطالعه‌ی حاضر را مورد تأیید قرار می‌دهد (۱۲). زیرا در مطالعه‌ی حاضر مقایسه‌ی اختلاف میانگین دو سناریوی مواجهه با ارتعاش دست- بازو ( $31/5 \text{ Hz} - 5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ ) و سناریوی مواجهه با ارتعاش دست- بازو ( $31/5 \text{ Hz} - 10 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ ) اختلاف معنی‌داری را نشان داده است، بطوریکه با افزایش ارتعاش از سطح شتاب  $5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$  به  $10 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$  با فرکانس یکسان  $31/5 \text{ Hz}$ ، شاهد افزایش اندازه‌ی اثر ارتعاش دست- بازو با افزایش سطح ارتعاش بوده‌ایم.

در این مطالعه، مقایسه‌ی بین سه سناریوی با شتاب یکسان و فرکانس‌های مختلف مؤید آن بود که با افزایش فرکانس ارتعاش دست- بازو، میزان جریان خون نسبی انگشت دست بیشتر کاهش می‌یابد بطوریکه مقایسه‌ی بین سه سناریو با شتاب یکسان  $5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$  و فرکانس‌های مختلف  $31/5$ ،  $63$  و  $125$  هرتز، نشان‌دهنده‌ی بیشترین کاهش جریان خون نسبی انگشت دست برای سناریو مواجهه با ارتعاش دست بازو ( $125 \text{ Hz} - 5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ ) بوده است و اختلاف میانگین بین سناریوی مواجهه با ارتعاش دست بازو ( $125 \text{ Hz} - 5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ ) و سناریوی مواجهه با ارتعاش دست- بازو ( $31/5 \text{ Hz} - 5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ ) معنی‌دار بود.

با افزایش ارتعاش از  $5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$  به  $10 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$  در شرایط فرکانس یکسان  $31/5$  هرتز، اندازه‌ی اثر ایجاد شده در پاسخ عروقی انگشت دست افزایش داشت، بطوریکه اختلاف میانگین بین این دو سناریو معنی‌دار شد، اما جالب توجه است که در مطالعه‌ی حاضر، سناریو مواجهه با ارتعاش دست- بازو ( $125 \text{ Hz} - 5 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ ) در

ایجاد عوارض عروقی تا حدود زیادی به اندازه‌ی سناریو مواجهه با ارتعاش دست بازو ( $31/5 \text{ Hz} - 10 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ ) اثر داشته است، بطوریکه که برر سی اختلاف میانگین این دو سناریو در مقایسه‌های دوگانه اختلاف معنی‌داری را نشان نداده است. در نتیجه می‌توان بیان نمود که فرکانس مواجهه با ارتعاش دست- بازو همانند شتاب مواجهه یافته در ایجاد عوارض عروقی از اهمیت بسیاری برخوردار است.

در این راستا مطالعه‌ی Krajnak و همکاران با هدف برر سی اثر ارتعاشات منتقله به دست بر سیستم عروقی انجام شده است. نتایج نشان داد مواجهه با ارتعاش دست- بازو خطر ابتلا به بیماری‌های عروقی را افزایش می‌دهند. علاوه بر آن در این مطالعه بررسی تأثیر فرکانس بر ارتعاش دست بازو نشان داد که با افزایش فرکانس عوارض عروقی در انگشتان دست بیشتر گردیده است، به گونه‌ای که هر چقدر مقدار فرکانس ارتعاش کاهش یافت انتقال پذیری ارتعاش بر نواحی بالایی دست بیشتر شد و هر چقدر میزان فرکانس بیشتر شد عوارض عروقی در نواحی انگشتان و کف دست بیشتر مشاهده شده است (۱۳).

مطالعه‌ی Griffin و Ye نشان داد، در ارتعاش  $125$  هرتز، پس از مواجهه با ارتعاش جریان خون انگشتان کاهش یافت، در زمان مواجهه دمایی پوست کاهش یافت و بعد از قطع ارتعاش همچنان کاهش در جریان خون انگشتان دیده شده است که این یافته‌ها با نتایج مطالعه‌ی حاضر همخوانی داشت (۱۴).

علاوه بر موارد ذکر شده، نتایج این مطالعه، لزوم توجه به وزن‌دهی فرکانسی مجزا تعریف شده در استاندارد ISO/TR 18570:2017 به جای استاندارد ISO 5349-1:2001 در ایجاد عوارض عروقی را تأیید می‌کند. وزن‌های فرکانسی تعریف شده در استاندارد ISO/TR 18570:2017 با در نظر گرفتن سهم بیشتر برای فرکانس‌های متوسط و بالای ارتعاش نسبت به وزن‌های تعریف شده در استاندارد ISO 5349-1:2001 می‌تواند به عنوان راهنمای تکمیلی‌تر برای ارزیابی خطرات عروقی ارتعاش دست- بازو در این زمینه باشد (۱۵-۱۷).

در همین ارتباط Bovenzi و همکاران، قرار گرفتن حاد در معرض ارتعاش دست- بازو با شتاب وزن یافته فرکانسی برابر  $5/5$  متر بر مجذور ثانیه مطابق با وزن‌های فرکانسی موجود در استاندارد بین‌المللی ISO 5349 در فرکانس‌های مختلف  $16-250$  هرتز مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان قرار گرفتن در معرض ارتعاش با فرکانس‌های  $250-31/5$  هرتز باعث کاهش بیشتر در جریان خون انگشت دست نسبت به ارتعاش  $16$  هرتز شد. همچنین در این مطالعه بیان شده است، وزن‌های فرکانسی در نظر گرفته شده در استاندارد ISO 5349-1:2001 نمی‌تواند منعکس‌کننده‌ی خوبی برای

مقدار ثابت نیروی فشاری دست و وضعیت ثابت پوسچری در سناریوهای مواجهه اشاره کرد. با توجه به اینکه عوامل بیودینامیک مختلف مانند وضعیت بدن، نیروهای تماسی و فشاری در حین کار با ابزارهای دستی مرتعش در محیط‌های کار واقعی متغیر می‌باشد پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آینده این عوامل بیودینامیکی در شرایط متغیر در ایجاد اثرات مختلف ارتعاش دست- بازو مورد مطالعه قرار گیرد.

### نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان‌دهنده‌ی آن بود که مواجهه با ارتعاش دست- بازو می‌تواند خطر ابتلا به بیماری‌های عروقی دست را افزایش دهد. فرکانس مواجهه با ارتعاش دست- بازو همانند شتاب مواجهه یافته در ایجاد عوارض عروقی از اهمیت بسیاری برخوردار است. در شرایط یکسان مواجهه از نظر شدت شتاب ارتعاش هر چقدر میزان فرکانس ارتعاش بیشتر باشد عوارض عروقی در انگشتان دست بیشتر می‌گردد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله منتج از پایان‌نامه‌ی مقطع دکتری تخصصی رشته‌ی مهندسی بهداشت حرفه‌ای به شماره‌ی ۱۴۰۱۰۱۴۸۴۹۵ با پشتیبانی مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام یافته است که بدین‌وسیله نهایت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

تغییرات همودینامیکی دست در مواجهه با ارتعاش منتقله به دست باشد. وزن فرکانس ارائه شده در استاندارد ISO 5349-1:2001 تمایل دارد انقباض عروق مرتبط با مواجهه حاد با فرکانس‌های ارتعاشی در حدود ۱۶ هرتز را بیش از حد تخمین بزند (۱۸) که این نتایج در راستای نتایج مطالعه‌ی حاضر بوده است.

به‌طوری کلی مکانیسم احتمالی نتایج مشاهده در این مطالعه را بنا بر مطالعات پیشین می‌توان این‌گونه بیان نمود که مواجهه با ارتعاش دست- بازو می‌تواند مقاومت عروقی را افزایش دهد و انقباض موقت عروق در انگشتان پس از قرار گرفتن در معرض ارتعاش رخ می‌دهد که باعث انسداد شریان‌های فرد مواجهه یافته شود. وقتی که انسداد شریانی وجود داشته باشد، تحریکات انقباضی عروقی که در حالت طبیعی باعث بروز تظاهرات بالینی نمی‌شوند، منجر به کاهش خیلی شدید جریان خون شده و سبب ایجاد بیماری عروقی در فرد مواجهه یافته می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که میزان پاسخ گردش خون دیجیتال ایجاد شده به بزرگی و فرکانس قرار گرفتن در معرض ارتعاش بستگی دارد که این انقباضات عروقی در اندام‌های تحتانی بدن در طی مواجهه‌های حاد با ارتعاش دست- بازو می‌تواند اتفاق بیفتد و قرار گرفتن در معرض ارتعاش ۱۲۵ هرتز بیشترین تأثیر را دارد (۸، ۱۳، ۱۴، ۱۹). در نتیجه باید مواجهه با ارتعاشات منتقله به دست را تا جای ممکن کاهش داد تا بتوان از ایجاد عوارض عروقی و تشدید اثرات عروقی جلوگیری کرد. از جمله محدودیت‌های مطالعه‌ی حاضر می‌توان به در نظر گرفتن

### References

- Lai SK, Chui J, Tong L, Sun JQ. A human-based study of hand-arm vibration exposure limits for construction workers. *J Vib Eng Technol* 2019; 7(4): 379-88.
- Aarhus L, Veiersted KB, Nordby KC, Bast-Pettersen R. Neurosensory component of hand-arm vibration syndrome: a 22-year follow-up study. *J Occup Med* 2019; 69(3): 215-8.
- Soltani A, Aliabadi M, Golmohammadi R, Motamedzade M. Experimental study of the level of manual performance disability caused by exposure to hand-arm vibration among automobile casting workers [in Persian]. *J Ergon* 2018; 6(1): 40-9.
- European Agency for Safety and Health at Work. Workplace exposure to vibration in Europe: an expert review [Online] [2008]. Available from: <https://www.europeansources.info/record/workplace-exposure-to-vibration-in-europe-an-expert-review/>
- Dong RG, Wu JZ, Xu XS, Welcome DE, Krajnak K. A review of hand-arm vibration studies conducted by US NIOSH since 2000. *Vibration* 2021; 4(2): 482-528.
- Yanxia J, Maosheng Y, Hanjun Z, Danying Z, Bin X. Effects of hand-transmitted vibration on upper limbs of workers: A meta-analysis. *J Environ Occupa Med* 2022; 39(4): 426-33.
- Khajavi S, Jourgholami M, Majnounian Garagiz B, Moradpour P. Ergonomic evaluation of the effect of chainsaw on Vibration White Finger disease (VWF) in the operator [in Persian]. *Forest and Wood Products* 2020; 72(4): 289-99.
- Nilsson T, Wahlström J, Burström L. Hand-arm vibration and the risk of vascular and neurological diseases—A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2017; 12(7): e0180795.
- Dong RG, Schopper AW, McDowell T, Welcome DE, Wu J, Smutz WP, et al. Vibration energy absorption (VEA) in human fingers-hand-arm system. *Med Eng Phys* 2004; 26(6): 483-92.
- Welcome DE, Dong RG, Xu XS, Warren C, McDowell TW, Wu JZ. An examination of the vibration transmissibility of the hand-arm system in three orthogonal directions. *Int J Ind Ergon* 2015; 45: 21-34.
- Qamruddin AA, Husain NRN, Sidek MY, Hanafi MH, Ripin ZM. Factors associated with vascular and neurological complications of hand-arm vibration syndrome among tire shop workers in Kelantan, Malaysia. *J Occup Health* 2021; 63(1): e12220.
- Qin D. Hand-arm Vibration Exposure Monitoring with Skin Temperature and Photoplethysmography. [Thesis]. Cleveland, OH, Case Western Reserve University; 2017.
- Krajnak K, Miller GR, Waugh S, Johnson C, Li S, Kashon ML. Characterization of frequency-dependent

- responses of the vascular system to repetitive vibration. *Occup Environ Med* 2010; 52(6): 584-94.
14. Ye Y, Griffin MJ. Effects of temperature on reductions in finger blood flow induced by vibration. *Int Arch Occup Environ Health* 2011; 84(3): 315-23.
  15. Bovenzi M. New international criteria for evaluating vascular hand-arm vibration risk and staging and-arm vibration syndrome. *G Ital Med Lav Ergon* 2019; 41(4): 268-73.
  16. Bovenzi M, Pinto I, Picciolo F. Risk assessment of vascular disorders by a supplementary hand-arm vascular weighting of hand-transmitted vibration. *Int Arch Occup Environ Health* 2019; 92(1): 129-39.
  17. Bovenzi M, Tarabini M. Relation of digital arterial dysfunction to alternative frequency weightings of hand-transmitted vibration. *Ind Health* 2024; 62(1): 32-8.
  18. Bovenzi M, Lindsell CJ, Griffin MJ. Acute vascular responses to the frequency of vibration transmitted to the hand. *Occup Environ Med* 2000; 57(6): 422-30.
  19. Gao S, Ye Y. Acute vascular response of hand to force and vibration. *Vibration* 2022; 5(1): 153-64.

## Investigating the Effect of Different Scenarios of Hand-Arm Vibration on the Vascular Response of the Hand

Mohsen Aliabadi <sup>1</sup>, Seyed Hojat Mousavi Kordmiri <sup>2</sup>, Rostam Golmohammadi <sup>3</sup>,  
Massimo Bovenzi <sup>4</sup>, Maryam Farhadian <sup>5</sup>

### Original Article

#### Abstract

**Background:** The increasing use of manual vibrating equipment for various construction works has exposed the workers of this industry to hand-arm vibration. The present study investigates the effect and frequency of hand-arm vibration on the vascular response of the hand in construction workers.

**Methods:** The present study was conducted on 40 workers in the construction industry in the laboratory phase. Using the hand-arm vibration simulator, the participants were exposed to 4 different scenarios of hand-arm vibration 5 m/s<sup>2</sup> (125Hz), 5 m/s<sup>2</sup> (63Hz), 5 m/s<sup>2</sup> (31.5Hz), and 10 m/s<sup>2</sup> (31.5Hz). Before and after each scenario, the hand's vascular response was analyzed to detect the degree of vascular obstruction using the Nexus-4 device along with the BVP sensor.

**Findings:** The results of the present study showed that the relative blood flow of the finger decreased in all scenarios of exposure to hand-arm vibration and had statistically significant changes. The mean difference of the relative blood flow of the finger in the exposure to hand-arm vibration 10 m/s<sup>2</sup> (31.5Hz) was more than other scenarios. Examining the scenarios with the same vibration acceleration of 5 m/s<sup>2</sup> and different frequencies of 125, 63, and 31.5 Hz showed that with increasing frequency, the amount of relative blood flow decreased.

**Conclusion:** The frequency of exposure to hand-arm vibration, like the acceleration encountered, is fundamental very important in causing vascular complications. The higher the frequency of hand-arm vibration, the more vascular disorders in the fingers.

**Keywords:** Hand-arm vibration syndrome; Regional blood flow; Construction industry

**Citation:** Aliabadi M, Mousavi Kordmiri SH, Golmohammadi R, Bovenzi M, Farhadian M. **Investigating the Effect of Different Scenarios of Hand-Arm Vibration on the Vascular Response of the Hand.** J Isfahan Med Sch 2024; 42(763): 280-7.

1- Professor, Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Public Health and Occupational Health and Safety Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Occupational Health and Safety Engineering, Esfarayen Faculty of Medical Sciences, Esfarayen, Iran

3- Professor, Center of Excellence for Occupational Health, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

4- Professor, Clinical Unit of Occupational Medicine, Department of Medical Sciences, University of Trieste, Trieste, Italy

5- Associate Professor, Department of Biostatistics, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

**Corresponding Author:** Seyed Hojat Mousavi Kordmiri, Assistant Professor, Department of Occupational Health and Safety Engineering, Esfarayen Faculty of Medical Sciences, Esfarayen, Iran; Email: hojatmk66@yahoo.com