

آزمون شناسایی مواد نیروزا به روش ردیاب پراکندگی رامان بهبودیافته سطحی به وسیله نانوذرات در بدنسازان حرفه‌ای مرد

رقیه فخرپور*^۱ - کریم صالح‌زاده^۲ - کبری صحبتی داودخانی^۳

۱. استادیار گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

۲. استادیار گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز-ایران

۳. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی، گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی

آذربایجان، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۵، تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۰۵/۲۴)

چکیده

هدف از این تحقیق آزمون روش ردیاب پراکندگی رامان ارتفاع یافته سطحی در شناسایی مواد نیروزای دوپینگ در بدنسازان حرفه‌ای مرد بود که مواد ناندرولون، تستوسترون و دگزامتازون را مصرف کرده بودند. در این پژوهش نیمه تجربی ۳۶ نفر از مردان بدنساز ۲۰ - ۳۵ سال که حداقل سه سال سابقه ورزش حرفه‌ای داشتند، انتخاب و به دو گروه مصرف‌کننده مواد نیروزا و گروه کنترل تقسیم شدند و پس از یک دوره یک‌ماهه مصرف مواد نیروزای تستوسترون، ناندرولون و دگزامتازون، نمونه خونی آنها در آزمایشگاه با استفاده از روش پراکندگی رامان بهبود یافته با دقت بسیار زیاد ردیابی و تجزیه و تحلیل شد. برای تجزیه و تحلیل آماری پژوهش برای مقایسه ویژگی‌های بین دو گروه تمرین و گروه کنترل از آزمون تی مستقل استفاده شد. همچنین طیف‌های حاصل رامان با استفاده از نرم‌افزار **Origin pro 2018** بررسی و تحلیل شد. نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد مواد مورد نظر بعد از آزمایش توسط **SERS**، افزایش معناداری داشتند و مقایسه طیف رامان ارتقا یافته با طیف ثبت شده به صورت طیف رامان عادی اولیه، افزایش داشته و افزایش شدت اوج رامان از لحاظ آماری، در سطح $P < 0.05$ تفاوت معناداری دارند و مواد نیروزای مصرفی تستوسترون، ناندرولون و دگزامتازون خون ورزشکاران مرد بدنساز با استفاده از روش ردیاب پراکندگی رامان بهبود یافته سطحی با جزئیات ریز شناسایی شدند. نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج، طیف‌سنجی رامان ابزار تشخیصی قدرتمندی است که با دقت بسیار زیادی جزئیات و مولکول‌های ریز مواد را با توانایی بسیاری شناسایی می‌کند. از این روش استفاده از طیف‌سنجی رامان از اهمیت و مزایای فوق‌العاده‌ای برخوردار است و پیشنهاد می‌شود که برای صرفه‌جویی در هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان، از این روش برای تشخیص دوپینگ به عنوان یک روش تست دوپینگ در مسابقات داخلی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی

بدنسازان حرفه‌ای، ردیاب پراکندگی رامان بهبود یافته سطحی، مواد نیروزا.

مقدمه

دوپینگ به‌عنوان مصرف یا تجویز مواد خارجی یا افزایش مواد فیزیولوژیک بدن به مقدار غیرعادی و یا استعمال غیرطبیعی مواد، توسط ورزشکاران به‌منظور به‌دست آوردن کارایی و توانایی بیش از اندازه در مسابقات و رقابت‌های ورزشی تعریف شده است (۱). سالانه هزینه گزافی صرف پاک‌نگه‌داشتن ورزش از مصرف نابجای داروها، ردیابی داروها در بدن و کنترل دوپینگ می‌شود (۲). متأسفانه به‌رغم تلاش فدراسیون‌های ورزشی در حفظ حیثیت ورزشی قهرمانان، به‌دلیل رشد فزاینده باشگاه‌های ورزشی برای پرورش اندام، سوءاستفاده‌های دارویی، شکل خاص و خطرناکی به خود گرفته است (۳). از این رو قوانین مربوط، مربیان و پزشکان ورزشی را موظف به مراقبت، نظارت، تشخیص و پیشگیری از مصرف داروهای غیرمجاز توسط ورزشکاران کرده است (۱). در میان ورزشکاران ایرانی پرمصرف‌ترین داروهای غیرمجاز، استروئیدهای آنابولیک آندروژنیک هستند و بیشتر در رشته‌های پرورش اندام و وزنه‌برداری استفاده می‌شود (۴) و گزارش‌ها حاکی از آن است که فراوانی نسبی موارد مثبت در آزمون‌های دوپینگ ورزشکاران کشور، حتی نسبت به بسیاری از کشورها بالاتر است (۵، ۶).

در حال حاضر، انجام تست‌های تشخیص دوپینگ در بیشتر مسابقات جهانی یکی از ارکان اصلی محسوب می‌شود. کمیته بین‌المللی المپیک برای اطمینان از کنترل دوپینگ آزمایش‌های متعددی بر روی ورزشکاران در رقابت‌های رسمی انجام می‌دهد (۷). این تست‌ها از لحاظ تکنیکی روی نمونه خون، بیوپسی بافت یا روی هریک از تولیدات بدن مانند مدفوع، مایع منی یا مو قابل انجام

هستند (۸). البته سازمان جهانی ضد دوپینگ پروتکل خاصی را برای تأیید دوپینگ تصویب کرده است. بر اساس این پروتکل، نمونه ادرار و در موارد خاصی نمونه خون فرد ورزشکار بلافاصله پس از اتمام مسابقه بررسی می‌شود (۹). امروزه شیوه‌هایی که در آزمایشگاه‌های مورد تأیید برای تشخیص دوپینگ به‌کار برده می‌شوند عبارت از رنگ‌نگاری گازی^۳، رنگ‌نگاری مایع با فشار بالا^۴، طیف‌سنج جرمی^۵، ایمونواسی^۶ و کروماتوگرافی^۷ هستند (۱۰). از جمله تحقیقات اولیه در زمینه آزمایش‌های دوپینگ توسط بدود^۸ و همکاران در مورد جنبه‌های تحلیلی در کنترل دوپینگ انجام گرفت، ایشان بیان کردند اگر قرار است مواد دوپینگ پیشرفته‌تر و پیچیده‌تری آزمایش شود، ابزار کروماتوگرافی، برای غربالگری و تأیید مواد با وزن مولکولی کم، گزینه مناسب‌تری هستند (برای ماکرومولکول‌ها روش‌های ایمونوئید یا روش الکتروفورز استفاده می‌شود) (۱۱). بیان این مطلب نشان از اهمیت زیاد این بخش در صنعت ورزش دارد.

یکی از مدل‌های جدید روش طیف‌سنجی، استفاده از روش پراکندگی رامان بهبودیافته سطحی^۹ است، این روش تکنیکی است که در آن طیف رامان برای شناسایی مولکول‌هایی که بر روی سطح فلزات جذب سطحی شده‌اند، به‌کار می‌رود (۱۲). مزیت عمده این روش شدت افزایش‌یافته پیک‌های رامان است و به همین علت حتی برای شناسایی یک مولکول منفرد هم به‌کار می‌رود (۱۳). طیف‌سنجی رامان از دقیق‌ترین روش‌های تشخیص ارتعاشات مولکولی است و برای شناسایی مولکول‌های مختلف استفاده می‌شود. روش SERS نسبت به روش‌های قبلی بسیار دقیق و کم‌هزینه است (۱۴). روش پراکندگی

6. Immunoscience

7. chromatography

8. Bedoud

9. Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS)

1. Anabolic- Aandrogenic Steroids (AAS)

2. International Olympic Committee (IOC)

3. Gas coloring

4. High pressure liquid inkjet

5. Mass spectrometer

- ۶۸ درصد از ترکیبات بیش از ۷۰٪ و برای ۸۳ - ۸۷ درصد از مواد مورد آزمایش بیش از ۵۰٪ بازده داشته است و کل زمان صرف شده در این روش ۸ دقیقه بود (۱۸).
گوا^۴ و همکاران (۲۰۱۴) نیز با هدف تعیین خودکار و حساس چهار استروئید آندروژنی آنابولیک در ادرار، از طریق جریان متلاطم و جریان جامد استخراجی با کروماتوگرافی مایع، همراه با طیف‌سنجی جرمی، مطالعه‌ای را انجام دادند که در این تحقیق تجزیه و تحلیل بر روی نمونه‌های ادراری جمع‌آوری شده از ۲۴ ورزشکار مرد و ۱۵ بیمار مبتلا به سرطان پروستات انجام گرفت (۱۹).

پراکندگی رامان با جذب سطحی آنالیت یا مولکول هدف بر روی یک سوبسترای فلزی به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. این اثر در فلز نقره بسیار قوی است. اگرچه در فلزات طلا و مس نیز قابل مشاهده است، اما در فلزات دیگر ناچیز است. هم‌اکنون از روش‌هایی مانند کروماتوگرافی مایع در آزمایشگاه‌ها استفاده می‌شود که توانایی تشخیص ذرات با اندازه ۲ میکرومتر را دارا هستند (۲۰). در حالی که روش SERS توانایی زیادی در شناسایی ذرات ریزتر حتی به اندازه 10^{-9} را دارد و همچنین روش‌هایی مانند کروماتوگرافی گازی همراه با طیف‌سنجی جرمی ساده می‌تواند در ۸ دقیقه این آنالیز را انجام دهد. اما در روش SERS زمان آنالیز در حدود ۶۰ ثانیه است که این موضوع برتری دیگر روش مورد نظر را بیان می‌کند. بنابراین با توجه به برتری‌های روش SERS نسبت به دیگر آنالیزهای مرسوم مانند توانایی طیف‌نگاری نمونه‌هایی با غلظت پایین، مولکول‌های زیستی بسیار ریز، سرعت و همچنین دقت زیاد آن، کاربرد این روش در حوزه‌های مختلف علوم و فنون، گسترش یافته است. از جمله می‌توان به کاربرد طیف‌بینی رامان در داروسازی، مطالعات

رامان بهبود یافته به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از اسپکتروسکوپی ارتعاشی در نظر گرفته می‌شود و قادر به تولید طیف رامان منحصربه‌فرد برای مواد مختلف است که برای شناسایی مولکول‌هایی که روی سطح فلزات جذب سطحی شده‌اند، مفید است (۱۵). وانگ و همکاران (۲۰۱۷) بر روی یک روش تشخیص فلورسانس جدید و حساس به رنگ‌سنجی و نسبت‌سنجی برای تشخیص ید در ادرار بر اساس واکنش کاتالاز مانند یون‌های ید، نیتروژن و بلورهای کربنی تحقیق کردند که نتایج نشان داد این روش می‌تواند به‌طور انتخابی از چندین کاتیون و آنیون عادی شناسایی و برای شناسایی ید در ادرار انسان استفاده شود (۱۶). اینو^۱ و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیق خود از تکنیک کروماتوگرافی گازی همراه با طیف‌سنجی جرمی سه‌بعدی چهارگانه برای تشخیص طیف گسترده‌ای از عوامل دوپینگ‌ساز استفاده کردند و در این روش پروتئین استروئید، سالیوتامول، تتراهیدروکانابینول، کربوکسیلیک اسید، نوراندروسترون و ۱۴۲ داروی دوپینگی به‌طور کیفی شناسایی تأیید شد و از هیدروژن به‌عنوان گاز حامل استفاده شد. کل زمان صرف شده در این روش ۸ دقیقه بود و نشان داده شد که ترکیبی از فناوری سه‌بعدی چهارگانه و تزریق حجم زیاد می‌تواند قابلیت تشخیص مواد هدف در ماتریس‌های پیچیده به‌عنوان مایع‌های بیولوژیکی بهبود بخشد (۱۷). همچنین لوسی نواکوا^۳ و همکاران (۲۰۱۶) تحقیقی را با هدف ارزیابی پتانسیل کروماتوگرافی مایع فوق‌اشباع با فشار بالا همراه با طیف‌سنجی جرمی به‌عنوان جایگزینی برای راهبردهای تحلیلی برای تعیین ۱۰۰ ترکیب مواد دوپینگی در ادرار انجام دادند که در این روش ۱۰۰ مواد دوپینگی در نمونه ادرار تشخیص داده شد که سطوح غلظت آزمایش شده در حدود ۰.۰۵، ۱ و ۵ نانوگرم در میلی‌لیتر بود که برای ۴۸

3. Louci Nowakowa

4. Gova

1. Inou

2. Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC-MS/MS)

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی است و جامعه آماری مورد بررسی، بدنسازان مرد ۲۰ تا ۳۵ ساله هیأت‌های بدنسازی استان آذربایجان شرقی بودند، که از بین این تعداد، ۳۶ نفر که حداقل سه سال سابقه بدنسازی حرفه‌ای داشتند و در تمرینات بدنسازی به صورت حرفه‌ای و قهرمانی شرکت کرده بودند به عنوان نمونه آماری انتخاب شدند که ۲۴ نفر از آنها ورزشکارانی بودند که مواد نیروزا مصرف می‌کردند و به عنوان گروه تجربی انتخاب شدند و ۱۲ نفر دیگر از بدنسازانی بودند که در طول مدت فعالیت و سابقه ورزش قهرمانی از مکمل یا مواد نیروزای خاصی استفاده نمی‌کردند به عنوان گروه کنترل انتخاب شدند و در پژوهش شرکت کردند. معیارهای ورود آزمودنی‌ها، مواردی شامل داشتن حداقل سه سال سابقه بدنسازی حرفه‌ای، عدم استعمال سیگار و الکل، عدم ابتلا به بیماری خاص مانند بیماری‌های قلبی-عروقی، کبدی و دیابت بود. در صورتی که آزمودنی‌ها از دستورالعمل محقق در مورد مصرف مواد نیروزا پیروی نمی‌کردند، از فرایند تحقیق خارج می‌شدند. روش نمونه‌گیری بر اساس روش خوشه‌ای هدفمند انجام گرفت. بدین صورت که از بین تمام باشگاه‌های بدنسازی در سطح استان، پنج شهر بزرگ استان آذربایجان شرقی (تبریز، میانه، مرند، مراغه و بناب)، باشگاه‌هایی را که به صورت حرفه‌ای و قهرمانی کار می‌کردند و از بین باشگاه‌های موردنظر ورزشکاران باشگاه‌هایی که بیشتر از مواد نیروزا در حین تمرین استفاده می‌کردند، شناسایی شدند و از بین آنها کسانی که سه سال سابقه شرکت در مسابقات را داشتند و بر اساس گزارش‌دهی مربیان و ورزشکاران مواد نیروزای ناندربولون، دگزامتازون و تستوسترون مصرف می‌کردند براساس نمونه‌گیری هدفمند به عنوان گروه تجربی انتخاب شدند و در همان باشگاه‌ها، بدنسازانی که سابقه مصرف مواد نیروزا را نداشتند، ولی سایر

زیست‌محیطی، بررسی آثار هنری و باستانی، زمین‌شناسی، مطالعه و بررسی مواد آلی و غیره اشاره کرد (۱۷). ولی هنوز کاربرد آن در حیطة ورزش و ردیابی داروها در بدن و تشخیص دوپینگ ورزشکاران، رواج چندانی نیافته است. در کنار سایر روش‌های شناسایی مواد مانند روش‌های شیمیایی، اشعه X و یا کروماتوگرافی استفاده از طیف‌سنجی رامان از اهمیت و مزایای فوق‌العاده برخوردار است. برای نمونه روش‌های شناسایی شیمیایی نیاز به نمونه‌گیری‌های فراوان دارد و از نظر زمانی نیز بسیار زمان‌بر است حال آنکه روشی مانند رامان بسیار سریع و کم‌هزینه است. از سوی دیگر روش‌های دیگر مانند اشعه X و یا کروماتوگرافی نیاز به تجهیزات بسیار گران‌قیمت، حجیم و سنگین‌وزن دارد، اما دستگاهی که بر مبنای اثر رامان برای شناسایی ارائه شده است، قابل حمل و بسیار سبک است (۲۱).

در این پژوهش محقق درصدد آزمایش و به‌کارگیری یک روش مدرن ارزیابی است که مواد نیروزایی مانند تستوسترون، ناندربولون و دگزامتازون را که توسط ورزشکاران به‌خصوص بدنسازان مصرف می‌شود، شناسایی کند و به دنبال یافتن روشی جدید در تشخیص دقیق و سریع مواد دوپینگی با استفاده از پراکندگی رامان بهبودیافته سطحی است که مشکلات روش‌های سنتی و مدرن قبلی را نداشته و در کشور خودمان قابل انجام باشد. با توجه به اینکه تحقیقات انجام‌گرفته داخلی در این مورد تقریباً جایگاهی نداشته و نادیده گرفته شده و اگر هم بوده غیرورزشی بوده است و همچنین به‌منظور کاهش هزینه‌های کلان و جلوگیری از هدررفت زمان بیشتر برای تشخیص نتایج آزمایش‌های دوپینگ ورزشکاران به‌وسیله روش‌های مرسوم، محقق را برآن داشت به دنبال این مسئله باشد که بتواند با استفاده از روش ردیاب پراکندگی رامان ارتفاع‌یافته سطحی به‌عنوان ردیاب در شناسایی دوپینگ تحقیق و آزمایش کند.

آزمایشگاهی ۲۴ درجه سلسیوس به وسیله دستگاه رامان با طول موج ۶۳۲/۸ نانومتر طیف مربوط به داروهای مصرفی در این پژوهش تهیه شد و طول موج مشخصه این ماده با استفاده از نرم افزار ۲۰۱۸ Origin pro شناسایی و بررسی و تحلیل شد و طیف رامان^۱ مربوط به مواد نیروزای ناندرولون، تستوسترون و دگزامتازون مشخص شد. پس از بررسی و مشخص کردن پیک‌های مربوط به هر کدام از داروهای مصرفی در این پژوهش، طیف رامان از نمونه‌های خون ورزشکاران در این پژوهش جهت آنالیز و بررسی شدت پیک‌های مربوط به این نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رامان مذکور تهیه شد و طیف‌های حاصل با استفاده از نرم افزار ۲۰۱۸ Origin pro بررسی و تحلیل شد و با طیف‌های حاصل از آنالیز رامان مربوط به داروهای خالص مقایسه و وجود داروهای مصرفی در نمونه‌های خون ورزشکاران ردیابی شد. نتایج تحلیل مطابق با شکل‌هایی است که در ادامه نمایش داده شده‌اند. محلول حاوی نانوذرات طلا در تمام محلول‌های آزمایش شده در پاراگراف قبل حل شد و سپس از تمام نمونه‌ها مجدداً آنالیز رامان تهیه شد که این همان تکنیک SERS است (۲۲).

برای تجزیه و تحلیل آماری پژوهش، ابتدا از آزمون شاپیروویلک برای اطمینان از طبیعی بودن توزیع داده‌های مربوط به آزمودنی‌ها استفاده شد. همچنین برای مقایسه ویژگی‌های بین دو گروه مصرف کننده مواد نیروزا و گروه کنترل از تحلیل واریانس تکراهه و برای مقایسه داده‌های بین دو گروه از آزمون تی مستقل استفاده شد. تمام تحلیل‌های آماری از طریق نرم افزار SPSS^{۲۳} در سطح معناداری $P < 0.05$ انجام گرفت. همچنین طیف‌های حاصل رامان با استفاده از نرم افزار Origin pro 2018 بررسی و تحلیل شد.

معیارهای پژوهش حاضر را دارا بودند، با قبول تمامی شرایط شرکت در پژوهش، به صورت داوطلبانه به عنوان گروه کنترل انتخاب شدند. پس از انتخاب آزمودنی‌های حائز شرایط و ارائه توضیحات دقیق درباره اهداف و رویکرد مطالعه همه آزمودنی‌ها فرم رضایت‌نامه کتبی آگاهانه را تکمیل کردند. همچنین پروپوزال تحقیق حاضر در کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی تبریز با کد IR.TBZMED.REC.1399 تأیید شد.

آزمودنی‌های گروه تجربی بر اساس نوع مصرف مواد به سه گروه هشت نفره به صورت تصادفی تقسیم شدند که هر گروه در یک دوره یک ماهه، در هر ده روز دوز یکسان (۲۵۰ میلی گرم) از مواد نیروزای ناندرولون، تستوسترون و دگزامتازون را تزریق می‌کردند و گروه کنترل در این مدت هیچ گونه موادی مصرف نمی‌کردند. پس از آخرین دوز مصرفی نمونه خونی از آزمودنی‌های گروه تجربی و گروه کنترل گرفته شد و پس از سانتریفیوژ و جداسازی سرم خون برای تجزیه و تحلیل، به آزمایشگاه طیف‌سنجی رامان تهران ارسال شد. در آزمایشگاه، نمونه‌ها با استفاده روش ردیاب پراکندگی رامان ارتفاع یافته سطحی ارزیابی و تشخیص داده شد. محلول مورد نیاز برای طیف‌سنجی رامان و SERS، از نمونه‌های خون تهیه شده از ورزشکاران برای امکان‌سنجی طیف رامان، ۵/۰ سی سی (نیم سی سی) از هر نمونه در ۵ سی سی آب مقطر یونیزه شده، حل شد و برای امکان‌سنجی طیف SERS نمونه‌ها با ۱ سی سی از محلول حاوی نانوذرات طلا ترکیب شدند. محلول حاوی نانوذرات طلا مورد استفاده در طیف‌سنجی SERS دارای قطر میانگین ۶۰-۷۰ نانومتر بود که توسط شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شده بود. در ابتدا نمونه داروی خام (خالص) ناندرولون، تستوسترون و دگزامتازون تهیه شده از داروخانه به طور مایع آماده شد و سپس در دمای

یافته‌های پژوهش

مبنای نتایج، به لحاظ آماری تفاوت معناداری بین سطوح پایه آزمودنی‌ها در متغیرهای سن، قد، وزن و سابقه ورزش بدنسازان مشاهده نمی‌شود ($P > 0.05$).

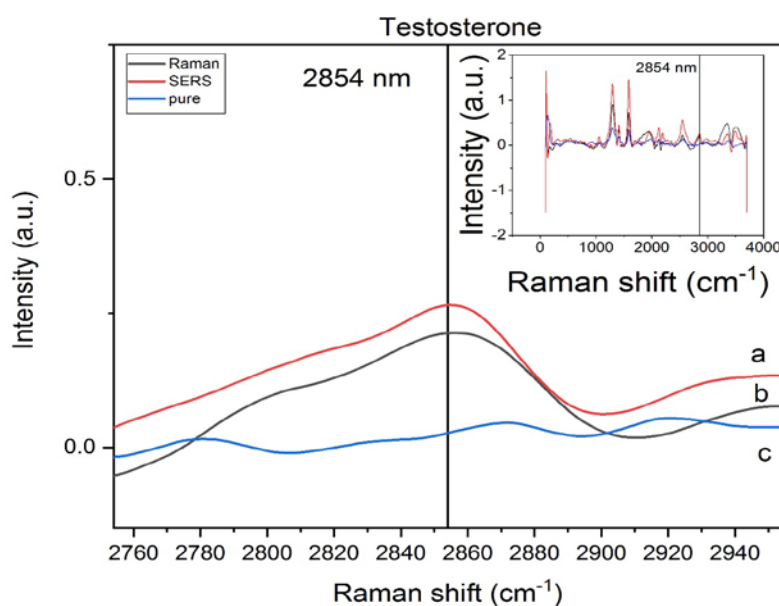
ویژگی‌های آزمودنی‌ها با استفاده از آمار توصیفی به صورت میانگین و انحراف و نتایج مربوط به تحلیل واریانس تکراره استاندارد در جدول ۱ ارائه شده است. بر

جدول ۱. نتایج مربوط به تحلیل واریانس تکراره در رابطه با متغیرهای گروه‌های مصرف‌کننده و کنترل

نتایج تحلیل واریانس Sig	گروه کنترل	گروه مصرف‌کننده			شاخص
		ناندرلون	دگزامتازون	تستوسترون	
۰/۴۲۳	۲۶/۸۳ ± ۴/۶۹	۲۷/۲۵ ± ۵/۴۰	۲۷/۱۳ ± ۳/۳۶	۲۶/۷۲ ± ۴/۹۰	سن (سال)
۰/۵۶۶	۱۷۷/۵۰۰ ± ۵/۱۲	۱۷۶/۵۰ ± ۴/۷۱	۱۷۸/۲۲ ± ۴/۶۷	۱۷۹/۵۰ ± ۵/۱۷	قد (سانتی‌متر)
۰/۴۹۷	۸۱/۵۸ ± ۸/۹۱	۸۱/۳۴ ± ۷/۵۶	۸۲/۷۷ ± ۸/۲۲	۸۳/۳۷ ± ۷/۶۰	وزن (کیلوگرم)
۰/۶۹۲	۵/۷۵ ± ۱/۶۰	۵/۱۹ ± ۱/۷۸	۵/۰۲ ± ۱/۶۸	۵/۷۹ ± ۱/۸۸	سابقه ورزش (سال)

نمونه پاک و ماده مورد استفاده در دوپینگ انتخاب شده‌اند. در نمودار ارائه‌شده، پیک مشخصه در رامان نمونه حاوی ماده دیده شده است و علاوه بر آن افزایش سطح زیر پیک در طیف SERS در مقایسه با رامان عادی مشهود است، که این امر به معنا موفقیت‌آمیز بودن روش SERS در این زمینه است.

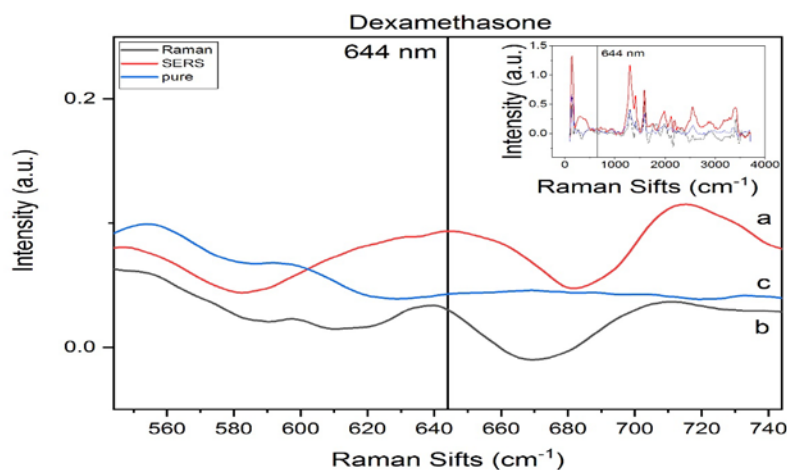
طیف حاصل از رامان نمونه‌های خون ورزشکارانی که مواد نیروزا مصرف نکرده بودند و ورزشکارانی که مواد مذکور را مصرف کرده بودند، با طیف حاصل از SERS نمونه حاوی مواد، مقایسه و طیف‌های حاصل در نمودارهای ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است. نمودار کوچک کل طیف و نمودار بزرگ پیک مشخصه ماده مصرفی را نشان می‌دهد. پیک مشخصه بزرگ‌نمایی‌شده در این شکل با مقایسه رامان مربوط به



نمودار ۱. منحنی a، b و c به ترتیب طیف SERS و رامان نمونه‌های حاوی تستوسترون و نمونه پاک

حاصل از روش SERS سطح زیر پیک (با شدت ۰/۲۶۴۹۸۶۱۹) در مقایسه با طیف رامان عادی و همچنین طیف نمونه پاک کاملاً مشهود است.

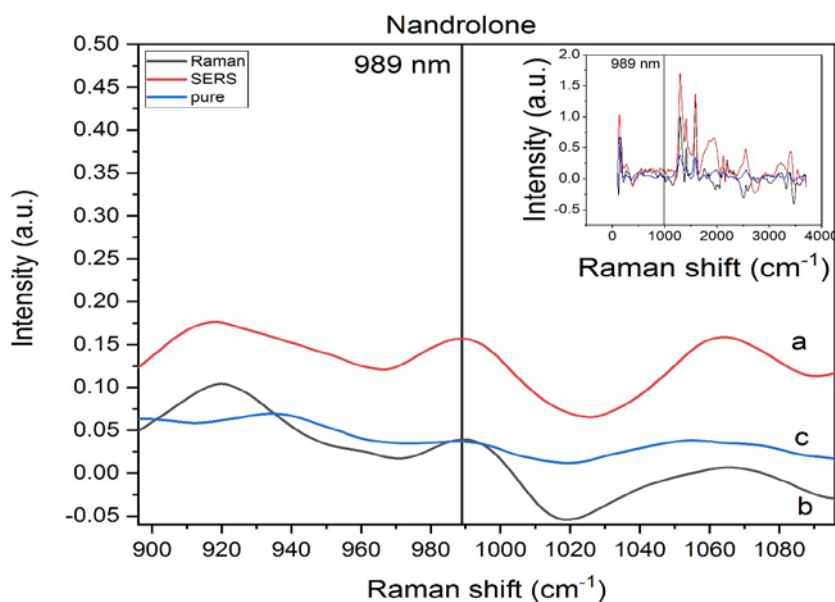
مطابق با نمودار ۱ و بررسی طیف حاصل از طیف‌سنجی رامان، پیک مشخصه در رامان نمونه حاوی ماده تستوسترون در رامان شیفت پیک مشخصه ۲۸۵۴ با شدت ۰/۲۴۴۶۸۵۴ قابل مشاهده است و همچنین در طیف



نمودار ۲. منحنی a, b و c به ترتیب طیف SERS و رامان نمونه‌های حاوی دگزامتازون و نمونه پاک

(۰/۱۱۰۶۵۶۳) مشاهده می‌شود. همچنین در طیف حاصل از روش SERS سطح زیر پیک با شدت ۰/۰۹۳۵۴۹۲۹ در مقایسه با طیف رامان عادی و طیف نمونه پاک کاملاً مشهود است که بیانگر موفقیت آمیز بودن روش SERS در این آزمون است.

با توجه به نمودار ۲ و تحلیل طیف حاصل از طیف‌سنجی رامان و همچنین مقایسه با طیف نمونه پاک، پیک مشخصه در رامان نمونه حاوی ماده دگزامتازون با رامان شیفت ۶۴۴ در قیاس با شدت نمونه پاک



نمودار ۳. منحنی a, b و c به ترتیب طیف SERS و رامان نمونه‌های حاوی ناندرون و نمونه پاک

در روش SERS مواد نیروزای تستوسترون، دگزامتازون و ناندرولون با دقت (۱۰^{-۹}) آنالیز شده و نشان داده است که تستوسترون، دگزامتازون و ناندرولون خون ورزشکاران مرد بدنساز با استفاده از روش ردیاب پراکندگی رامان بهبودیافته سطحی (SERS) قابل شناسایی است. همچنین نتایج آزمون t مستقل داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تفاوت معناداری در داده‌های گروه کنترل با گروه مصرف‌کننده وجود دارد (P < ۰/۰۵).

مطابق با نمودار ۳ و بررسی طیف حاصل از طیف‌سنجی رامان، پیک مشخصه در رامان نمونه حاوی ماده ناندرولون با رامان شیفیت پیک مشخصه ۹۸۹ قابل مشاهده است. همچنین در طیف حاصل از روش SERS سطح زیر پیک با شدت ۰/۱۵۶۹۴۹۸ در مقایسه با طیف رامان عادی و همچنین طیف نمونه پاک با شدت ۰/۱۰۶۲۰۶۱ کاملاً مشهود است که بیانگر موفقیت‌آمیز بودن روش SERS در این آزمون است.

جدول ۲. نتایج مربوط به آزمون شاپیروویلیک و آزمون تی مستقل بین نمونه‌های پاک و نمونه آلوده به دگزامتازون، ناندرولون و تستوسترون

متغیر	گروه	میانگین و انحراف استاندارد	آزمون شاپیرو ویلیک			آزمون تی مستقل		
			Sig	Df	t	Sig		
دگزامتازون	مصرف‌کننده	۰/۰۴ ± ۰/۰۹۳۸۷۰۳۸۱۳	۰/۱۴۸	۱۴	۲/۶۶	۰/۰۳۲*		
	کنترل	۰/۰۶ ± ۰/۰۵۲۱۷۹۰۹۷۵	۰/۸۷					
ناندرولون	مصرف‌کننده	۰/۰۸ ± ۰/۱۶۸۲۵۸۹۳۷۵	۰/۱۲۳	۱۴	۳/۵۳	۰/۰۰۳*		
	کنترل	۰/۲۸ ± ۰/۲۰۴۲۲۵۵۰۰	۰/۹۲					
تستوسترون	مصرف‌کننده	۰/۰۳ ± ۰/۳۱۶۴۰۳۷۸۷۵	۰/۱۱۲	۱۴	۱۸/۲۴	۰/۰۰۱*		
	کنترل	۰/۰۲ ± ۰/۰۴۷۵۸۴۸۵۰۰	۰/۵۶					

بحث

رامان عادی در مقایسه با شدت ۰/۲۶۴۹۸۶۱۹ در طیف حاصل از SERS ردیابی شده است. همچنین ماده ناندرولون که در پیک ۹۸۹ نمایان شده است، در طیف عادی با شدت ۰/۱۰۶۲۰۶۱ و با شدت ۰/۱۵۶۹۴۹۸ در طیف حاصل از SERS ردیابی شد و ماده دگزامتازون در پیک ۶۴۴ نمایان شد که شدت طیف رامان عادی در مقایسه با شدت طیف رامان SERS، کمتر بوده است (۰/۰۱۱۰۶۵۶۳ در مقابل ۰/۰۹۳۵۴۹۲۹). پیک‌های مشخصه بزرگ‌نمایی شده در این پژوهش با مقایسه رامان مربوط به نمونه پاک و ماده مورد استفاده در دوپینگ انتخاب شده‌اند و پیک مشخصه در رامان نمونه حاوی ماده تستوسترون، دیده شد و علاوه بر آن افزایش سطح زیر پیک در طیف SERS در مقایسه با رامان عادی مشهود است.

هدف این پژوهش تشخیص مصرف دگزامتازون، تستوسترون و ناندرولون با استفاده از نمونه‌های خون ورزشکاران، با روش طیف‌سنجی رامان و SERS است، به این صورت که طیف رامان نمونه‌های خون ورزشکاران مصرف‌کننده مواد ذکر شده با ورزشکارانی که مصرف نمی‌کردند، با طیف SERS نمونه حاوی مواد مقایسه شد. نتایج حاصل از داده‌ها نشان داد که افزایش معناداری بین درصد حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های گروه تجربی و گروه کنترل وجود دارد و این افزایش نشان‌دهنده وجود مواد نیروزای مورد نظر در نمونه خون آزمودنی‌های گروه تجربی است. بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌ها و نمودار حاصل از طیف‌سنجی رامان ماده تستوسترون در پیک ۲۸۵۴ نمایان شد که این مقدار با شدت ۰/۲۴۴۶۸۵۴ در طیف

الکتروشیمیایی برگشت پذیر تگ‌های رامان کاتکول-p تیول که توسط آنالیت tyrosi nase کاتالیز می‌شود، طراحی کردند (۲۵). همچنین دینگ و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که چارچوب‌های آلی کلونیدی nanorods@meta طلا (MOFs) می‌توانند به‌عنوان زیر لایه SERS برای تشخیص مستقیم مولکول‌های کوچک در خون کامل استفاده شوند (۲۶).

در تحقیق همسوی دیگری زو و همکاران (۲۰۱۶) از روش SERS برای اندازه‌گیری میزان کراتینین سرم انسان استفاده کردند. غلظت کراتینین سرم اندازه‌گیری شده با این روش با مقادیر به‌دست‌آمده از کروماتوگرافی گازی / طیف‌سنجی جرمی بر روی همان سرم تفاوت ۳ درصد داشت (۲۷). هوسو و همکاران (۲۰۱۶) از طیف‌سنجی رامان (SERS) با واسطه نانوذرات کلونیدی نقره برای شناسایی سریع و کمی کردن اسید لاکتیک با توجه به اهمیت تشخیص سریع و حساس اسید لاکتیک در تشخیص بالینی، استفاده کردند (۲۸). همچنین در این زمینه یک مطالعه امکان‌سنجی برای تشخیص دیابت بر اساس یک طیف‌سنج رامان قابل حمل کم‌هزینه و طیف‌سنجی رامان با سطح ادرار انجام گرفته است. در این پژوهش از ۴۱ نمونه ادرار (۲۰ بیمار دیابتی و ۲۱ داوطلب سالم) مخلوط با نانوذرات نقره توسط یک طیف‌سنج رامان قابل حمل که توسط لیزر دایود ۷۸۵ نانومتری تحریک می‌شد و با محدوده طیف ۲۰۰-۲۷۰ cm-1 و وضوح ۶ (FWHM) اندازه‌گیری شد (۲۷).

پژوهش روح‌بخش و همکاران (۲۰۱۶) با طیف‌سنجی رامان ارتقایافته سطحی سرم خون با تکنیک انباشت قطره‌ای، نشان داد که شدت باندهای طیف رامان تا ۳۰ برابر نسبت به طیف رامان معمولی سرم خون تقویت شده است که این یافته‌ها با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد (۱۷). نتایج تحقیق تاویس و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که با

تحلیل نتایج نشان داد که طیف‌سنجی رامان برای شناسایی ساختار مولکولی بسیار مناسب است و با این روش تعیین فرکانس‌های چرخشی و ارتعاشی مولکول، ارزیابی هندسی و حتی تقارن مولکول‌ها امکان‌پذیر است. در برخی موارد که امکان تعیین ساختار مولکولی وجود ندارد، می‌توان با تکیه بر فرکانس‌های ثبت‌شده، قرار گرفتن اتم‌ها در یک مولکول را بررسی کرد. اطلاعاتی که توسط طیف‌سنجی مادون‌قرمز و رامان به‌دست می‌آید، بسیار مشابه هستند. ساختار پیچیده مولکول‌های زیستی با طیف‌سنجی رامان قابل تعیین است. طیف رامان اطلاعات بالارزی را نیز در زمینه فیزیک حالت جامد ارائه می‌کند (۲۱).

پژوهش کنونی در زمره اولین پژوهش‌ها در بررسی اثر ردیابی و تشخیص مواد نیروزای تستوسترون، ناندرولون و دگزامتازون دریافتی ورزشکاران مرد بدنساز با استفاده از روش ردیاب پراکندگی رامان بهبودیافته سطحی است، اطلاعات قبلی که بتوانیم در نتیجه‌گیری تحقیق حاضر بر آنها استناد و یافته‌ها را مقایسه کنیم، در حوزه دوپینگ و ورزش نیستند یا بسیار محدودند. نتایج تحقیقات همسو با پژوهش حاضر نشان می‌دهند که با استفاده از روش پراکندگی رامان بهبودیافته سطحی می‌توان بسیاری از مواد و مولکول‌های ریز را شناسایی کرد. در این زمینه مسترسون و همکاران (۲۰۲۱) با روش SERS به تشخیص مواد مخدر قوی مانند کوکائین و هروئین در نمونه پلاسمای ۱۰ بیمار بخش اورژانس سوء مصرف دارو و تجزیه و تحلیل مخلوط باینری پرداختند (۲۳). همچنین دویانگ و همکاران (۲۰۲۰) میکروذرات Fe₃O₄.TiO₂.Ag را به‌عنوان بسترهای SERS قابل بازیافت برای تشخیص مستقیم آنتی‌ژن در سرم انسانی طراحی کردند (۲۴). وانگ و همکاران (۲۰۱۹) یک حسگر SERS برای تشخیص کمی یک نشانگر زیستی تیروزیناز در سرم بر اساس واکنش

استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با فشار بالا همراه با طیف‌سنجی جرمی تست دوپینگ ورزشکاران در تشخیص ذرات ریز به اندازه ۲ میکرومتر به دلیل صرف زمان کمتر برای آزمایش، برای تشخیص هورمون‌های پپتیدی و وضوح بهبود یافته آنالیت‌های هدف نسبت به روش کروماتوگراف معمولی بسیار مناسب است (۲۰). توسعه روش‌هایی که امکان تعیین سطوح حتی بسیار پایین مواد دوپینگ را در نمونه‌های مختلف خون انسان فراهم می‌کند، یک چالش خاص است، تعیین مواد نیروزا به طور معمول با استفاده از روش آنزیمی و به دنبال آن تشخیص رنگ سنجی یا فلورمتری انجام می‌گیرد. با این حال، محدودیت‌های این روش‌ها به تنظیمات پیچیده و الزامات سختگیرانه در مورد خلوص نمونه مربوط می‌شود. در این تحقیق، یک رویکرد جدید مبتنی بر طیف‌سنجی رامان ارائه می‌کنیم که از بستر فلزی نانوذرات طلا و یک فاکتور افزایش کارآمد SERS استفاده می‌کند. در مقایسه با بسیاری از روش‌های ساندویچی که اخیراً توسعه یافته‌اند، استفاده از نانوکامپوزیت‌های منفرد مزایای زیادی از جمله سادگی استفاده، کنترل مستقیم فرایند تحلیلی و حذف خطاهای ناشی از برهم‌کنش‌های غیراختصاصی را نشان می‌دهد (۲۸).

یکی از محدودیت‌های تحقیق حاضر عدم مقایسه نتایج روش طیف‌سنجی با داده‌های حاصل از روش الیزاست. بنابراین پیشنهاد می‌شود که پژوهش مشابهی انجام گیرد و همبستگی روش SERS با داده‌های به دست آمده از کیت‌های تجاری ELISA مقایسه شود. همچنین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی در تکنیک SERS از نانوذرات یا نانو ساختارها با مواد مختلف مثل پلاتین یا نقره و غیره استفاده شود، چون با توجه به خواص پلاسمونی نانو ساختارهای مختلف می‌توان نتایج شایان توجهی در ردیابی داروهای مختلف در بدن به دست آورد.

به دلیل توانایی بالای روش SERS در شناسایی پیچیده مولکول‌های زیستی و با توجه به نتایج مقالات مرتبط، و همچنین توانایی این روش در نمایش پیک‌های رامان با شدت و دقت بالاتر و از آنجایی که این روش می‌تواند هم به طور کلی و هم به صورت مجزا مولکول‌های بسیار ریز را شناسایی کند و جزئیات را تفکیک کند، می‌تواند مواد مورد نظر در خون را با اعتبار و وضوح بالایی شناسایی و تفکیک کند (۲۹). از طرفی طیف‌سنجی پراکندگی رامان نسبت به دیگر روش‌های طیف‌سنجی مزایای برجسته‌ای دارد که از آن جمله پدیده رامان تکنیکی ایده آل برای مطالعات بیولوژیکی است، چراکه آب یک پخش‌کننده رامان ضعیف به شمار می‌رود و در نتیجه تأثیر آن در ایجاد خطا بسیار اندک است. این مسئله به خصوص در مورد نمونه‌های خون و ادرار که بخش اعظمی از مواد آنها را آب تشکیل می‌دهد، اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. علاوه بر این قطر اشعه لیزری که به عنوان منبع نوردهی در دستگاه طیف‌سنج رامان استفاده می‌شود، در حدود ۰/۲ تا ۲ میلی‌متر است. به عبارت دیگر می‌توان با نمونه‌های بسیار ریز و با حجم کم نیز کار کرد (۲۰). علاوه بر آن، حساسیت بالا، زمان کوتاه آزمایش، عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه و غیرمخرب بودن این تکنیک، نوآوری و مزایای دیگری هستند که بر جذابیت و اولویت استفاده از طیف‌سنجی پراکندگی رامان افزوده است (۲۷). با این توصیف، تکنیک رامان، روشی رو به رشد است و هر روز ابعاد جدیدی از کاربردهای آن برای محققان روشن می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تجزیه و تحلیل نمونه خون ورزشکاران بدنسازی که مواد نیروزا مصرف می‌کردند و گروهی که مواد نیروزا مصرف نمی‌کردند، ارزیابی شد که مقایسه طیف رامان ارتقا یافته با طیف ثبت شده به صورت طیف رامان عادی

دوپینگ وجود دارد که در نتیجه آن به راحتی می توان در مسابقات بین المللی و حتی داخلی و دوستانه هم از دستگاه مذکور با انجام آزمایش خون، افراد خاطی را شناسایی و از حضورشان در میداين ورزشی جلوگیری کرد.

تعارض منافع

در این مقاله هیچ گونه تعارض منافی بین نویسندگان وجود ندارد.

تقدیر و تشکر

از تمامی کسانی که در این طرح شرکت داشتند و ما را در انجام این طرح یاری کردند، سپاسگزاریم.

اولیه، نشان داد که افزایش شدت اوج رامان از لحاظ آماری تفاوت معناداری داشتند و همه این نتایج نشان از توانایی بالای روش SERS در تشخیص مواد بسیار ریز دارد که این امر به معنای موفقیت آمیز بودن روش SERS در این آزمون است. شایان ذکر است امکان بهبود نتایج با استفاده از بسترهای متفاوت فلزی وجود دارد و این امر قابل بررسی است. همچنین با توجه به یافته های این پژوهش به نظر می رسد روش SERS روشی مطمئن برای جلوگیری از تقلب در نمونه های مورد آنالیز است. به عنوان نکته پیشنهادی با توسعه این روش، امکان ساخت دستگاه کوچک و قابل حمل به عنوان یک طیف سنج و ردیاب

References

1. Barkoukis V, Brooke L, Ntoumanis N, Smith B, Gucciardi DF. The role of the athletes' entourage on attitudes to doping. *Journal of sports sciences*. 2019 Nov 2;37(21):2483-91
2. Petróczi A. Attitudes and doping: a structural equation analysis of the relationship between athletes' attitudes, sport orientation and doping behaviour. *Substance abuse treatment, prevention, and policy*. 2007 Dec;2(1):1-5.
3. Bloodworth AJ, Petróczi A, Bailey R, Pearce G, McNamee MJ. Doping and supplementation: the attitudes of talented young athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2012 Apr;22(2):293-301.
4. Rajendran, S., *Drug information*. A textbook of clinical pharmacy, 2004. 1.
5. Pasharavesh L, Ramandi M, Khoshboo S, Rezaee M, Rezvani SA, Abbasi MR, Mikaeeli A. Prevalence of doping agents' abuse and male bodybuilders' knowledge about their side effects in Kermanshah gymnasiums (2004). *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences*. 2008 Mar 20;11(4).
6. Kabiri S, Cochran JK, Stewart BJ, Sharepour M, Rahmati MM, Shadmanfaat SM. Doping among professional athletes in Iran: A test of Akers's social learning theory. *International journal of offender therapy and comparative criminology*. 2018 Apr;62(5):1384-410.
7. Agency, W.A.-D., *World anti-doping code*. 2003: World Anti-Doping Agency.
8. Dimeo, P., *A history of drug use in sport: 1876-1976: Beyond good and evil*. 2008: Routledge.
9. Garthe, I. and R.J. Maughan, *Athletes and supplements: prevalence and perspectives*. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 2018. 28(2): p. 126-138.
10. Choi K, Boyacı E, Kim J, Seale B, Barrera-Arbelaes L, Pawliszyn J, Wheeler AR. A digital microfluidic interface between solid-phase microextraction and liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 2016 Apr 29;1444:1-7.

11. Badoud F, Guillarme D, Boccard J, Grata E, Saugy M, Rudaz S, Veuthey JL. Analytical aspects in doping control: challenges and perspectives. *Forensic Science International*. 2011 Dec 10;213(1-3):49-61.
12. Kwok WH, Choi TL, Tsoi YY, Leung GN, Wan TS. Screening of over 100 drugs in horse urine using automated on-line solid-phase extraction coupled to liquid chromatography-high resolution mass spectrometry for doping control. *Journal of Chromatography A*. 2017 Mar 24;1490:89-101.
13. Hassanain, W.A., F.L. Theiss, and E.L. Izake, *Label-free identification of Erythropoietin isoforms by surface enhanced Raman spectroscopy*. *Talanta*, 2022. **236**: p. 122879.
14. Li C, Huang Y, Li X, Zhang Y, Chen Q, Ye Z, Alqarni Z, Bell SE, Xu Y. Towards practical and sustainable SERS: A review of recent developments in the construction of multifunctional enhancing substrates. *Journal of Materials Chemistry C*. 2021;9(35):11517-52.
15. Caillaud J, De Bleye C, Dumont E, Sacré PY, Netchacovitch L, Gut Y, Boiret M, Ginot YM, Hubert P, Ziemons E. Critical review of surface-enhanced Raman spectroscopy applications in the pharmaceutical field. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*. 2018 Jan 5;147:458-72.
16. Wang H, Lu Q, Liu Y, Li H, Zhang Y, Yao S. A dual-signal readout sensor for highly sensitive detection of iodide ions in urine based on catalase-like reaction of iodide ions and N-doped C-dots. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2017 Oct 1;250:429-35.
17. Roohbakhsh H, Ahmadi S, Jafari M, Farkhari N, Esmailzadeh aghdam M. Surface enhanced Raman spectroscopy of blood serum by drop coating deposition technique. *ICOP & ICPET _ INPC _ ICOFS 2016*; 22 :564-567
18. Nováková L, Desfontaine V, Ponzetto F, Nicoli R, Saugy M, Veuthey JL, Guillarme D. Fast and sensitive supercritical fluid chromatography–tandem mass spectrometry multi-class screening method for the determination of doping agents in urine. *Analytica chimica acta*. 2016 Apr 7;915:102-10.
19. Guo F, Shao J, Liu Q, Shi JB, Jiang GB. Automated and sensitive determination of four anabolic androgenic steroids in urine by online turbulent flow solid-phase extraction coupled with liquid chromatography–tandem mass spectrometry: A novel approach for clinical monitoring and doping control. *Talanta*. 2014 Jul 1;125:432-8.
20. Thevis M, Thomas A, Pop V, Schänzer W. Ultrahigh pressure liquid chromatography–(tandem) mass spectrometry in human sports drug testing: Possibilities and limitations. *Journal of Chromatography A*. 2013 May 31;1292:38-50.
21. Muntean CM, Dina NE, Bratu I, Fălămaș A, Nițu S, Halmagyi A, Coste A. Effects of femtosecond UV laser pulses on the structure and surface dynamics of medicinal plants DNA, monitored by surface-enhanced Raman spectroscopy. *Journal of Molecular Structure*. 2021 Sep 5;1239:130482.

22. Izquierdo-Lorenzo I, Sánchez-Cortés S, García-Ramos JV. Adsorption of beta-adrenergic agonists used in sport doping on metal nanoparticles: a detection study based on surface-enhanced Raman scattering. *Langmuir*. 2010 Sep 21;26(18):14663-70.
23. Masterson AN, Hati S, Ren G, Liyanage T, Manicke NE, Goodpaster JV, Sardar R. Enhancing nonfouling and sensitivity of surface-enhanced Raman scattering substrates for potent drug analysis in blood plasma via fabrication of a flexible plasmonic patch. *Analytical Chemistry*. 2021 Jan 12;93(4):2578-88.
24. Du Y, Liu H, Chen Y, Tian Y, Zhang X, Gu C, Jiang T, Zhou J. Recyclable label-free SERS-based immunoassay of PSA in human serum mediated by enhanced photocatalysis arising from Ag nanoparticles and external magnetic field. *Applied Surface Science*. 2020 Oct 30;528:146953.
25. Wang L, Gan ZF, Guo D, Xia HL, Patrice FT, Hafez ME, Li DW. Electrochemistry-regulated recyclable SERS sensor for sensitive and selective detection of tyrosinase activity. *Analytical chemistry*. 2019 Mar 27;91(10):6507-13.
26. Ding Q, Wang J, Chen X, Liu H, Li Q, Wang Y, Yang S. Quantitative and sensitive SERS platform with analyte enrichment and filtration function. *Nano Letters*. 2020 Aug 31;20(10):7304-12.
27. Zou Y, Huang M, Wang K, Song B, Wang Y, Chen J, Liu X, Li X, Lin L, Huang G. Urine surface-enhanced Raman spectroscopy for non-invasive diabetic detection based on a portable Raman spectrometer. *Laser Physics Letters*. 2016 May 12;13(6):065604.
28. Hsu PH, Chiang HK. Surface-enhanced Raman spectroscopy for quantitative measurement of lactic acid at physiological concentration in human serum. *Journal of Raman Spectroscopy*. 2010 Dec;41(12):1610-4.
29. Virkler K, Lednev IK. Raman spectroscopic signature of blood and its potential application to forensic body fluid identification. *Analytical and bioanalytical chemistry*. 2010 Jan;396:525-34.

Detection of Ergogenic Substances by Surface Enhanced Raman Spectroscopy Method by Nanoparticles in Professional Male Bodybuilders

Roghaieh Fakhrpour^{*1} - karim Salehzadeh² - kobra Sohbati davodkhani³

1. Assistant Professor, Department of Sport Sciences, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

2. Assistant Professor, Department of Sport Sciences, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

3. MSc in Exercise Physiology, Department of Sport Sciences, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

(Received:2022/05/26;Accepted:2022/08/15)

Abstract

The aim of this study was to test the Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) method to identify doping in professional male bodybuilders who had used nandrolone, testosterone and dexamethasone. In this quasi-experimental study, 36 bodybuilder men aged from 20 to 35 years who had at least three years of professional exercise experience were selected and divided in ergogenic substance users and the control groups. After a one-month period of testosterone, nandrolone and dexamethasone injection, their blood samples were tracked and analyzed in the laboratory using the Surface Enhanced Raman Spectroscopy method with very high accuracy. Independent T-test was used to compare the ergogenic substances levels among training and control groups. Also Raman Spectra were analyzed by using origin pro 2018 software. Results showed that the substances had a significant increase in comparison to the recorded spectrum as the initial improved normal Raman spectrum after using SERS analysis. Raman spectrum statistically increased the intensity of Raman peaks at the level of ($P<0.05$). Testosterone, nandrolone and dexamethasone ergogenic substances were identified in details in the blood of male bodybuilders using fine-grained Surface Enhanced Raman Spectroscopy method. Results: Raman spectroscopy is a powerful diagnostic method which detects details and molecules of small materials with a very high accuracy. Along with other methods of identifying materials, the usage of Raman spectroscopy is important and beneficial. It is suggested to use this method in order to identify doping, as a method of doping testing in domestic competitions to save costs and time.

Keywords

Ergogenic Substances, Surface Enhanced Raman Spectroscopy, Professional Bodybuilders

*Corresponding Author: r.fakhrpour@yahoo.com