



## The effect of vitamin D supplementation on muscle soreness and recovery after exercise: A systematic review and meta-analysis

Fatemeh Kazeminasab <sup>1\*</sup>, Ali Bahrami Kerchi <sup>2</sup>, Fatemeh Sharafifard <sup>1</sup>, Nafiseh Hasanpour <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Physical Education and Sports Science, Faculty of Humanities, University of Kashan, Kashan, Iran

<sup>2</sup> Department of Sports Physiology, Faculty of Sports Science, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

\*Corresponding author: Fatemeh Kazeminasab, Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Humanities, University of Kashan, Kashan, Iran  
Email: fkazeminasab@kashanu.ac.ir

Received: 29 April 2024 Revised: 29 September 2024 Accepted: 29 September 2024

### Abstract

**Background and Aim:** Vitamin D has been shown to reduce exercise-induced muscle damage and muscle soreness; however, further research is needed to establish definitive conclusions. The aim of this study was to investigate the effect of vitamin D supplementation on muscle soreness and recovery after exercise.

**Methods:** A systematic review and meta-analysis was conducted to evaluate the effects of vitamin D intake on muscle soreness and biochemical markers of muscle damage, including myoglobin (MB), creatine kinase (CK), lactate dehydrogenase (LDH), and inflammatory factors such as TNF $\alpha$  and IL-6. Data were sourced from PubMed, Scopus, and Web of Science databases up to February 2024. Analyses were performed to compare vitamin D with placebo, and weighted mean differences (WMD) were calculated.

**Results:** A total of 11 studies involving 358 athletes and non-athletes were examined. Changes in muscle soreness immediately after exercise due to vitamin D intake were not statistically significant [P=0.70, WMD=-0.07]. However, vitamin D significantly reduced muscle soreness 24 hours after exercise [P=0.04, WMD=-0.40]. No significant changes were observed in CK [P=0.30, WMD=-3.22 U/L], LDH [P=0.30, WMD=-11.86 U/L], or MB [P=0.50, WMD=10.66 ng/ml] immediately after exercise.

**Conclusion:** Vitamin D may be effective in reducing muscle soreness 24 hours post-exercise, but it does not appear to significantly affect markers of muscle damage, including CK, MB, and LDH, in the timeframes studied. Further research in this area is recommended.

**Keywords:** Muscle Soreness, Exercise, Vitamin D, Creatine Kinase



## اثر مکمل ویتامین D بر درد عضلانی و ریکاوری پس از ورزش: یک مرور نظام‌مند و فراتحلیل

فاطمه کاظمی نسب<sup>۱\*</sup>، علی بهرامی کرچی<sup>۲</sup>، فاطمه شرفی فرد<sup>۱</sup>، نفیسه حسن پور<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران  
<sup>۲</sup> گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی (واحد خوراسگان)، اصفهان، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰ اصلاح مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۸ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۸

### چکیده

**زمینه و هدف:** ویتامین D سبب کاهش آسیب عضلانی ناشی از ورزش و درد عضلانی می‌شود، اما برای رسیدن به نتایج قطعی، نیاز به تحقیقات بیشتری است. هدف این پژوهش بررسی اثر مکمل ویتامین D بر درد عضلانی و ریکاوری پس از ورزش بود.  
**روش‌ها:** برای ارزیابی تأثیرات مصرف ویتامین D بر درد عضلانی و/یا نشانگرهای بیوشیمیایی آسیب عضلانی (میوگلوبین، کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز) و فاکتورهای التهابی (TNF $\alpha$  و IL-6)، یک مرور نظام‌مند و فراتحلیل انجام شد. جستجوی اطلاعات از پایگاه‌های PubMed، Scopus و Web of Science تا فوریه ۲۰۲۴ انجام گردید. تحلیل‌ها برای مقایسه ویتامین D با دارونما انجام شد و تفاوت‌های میانگین وزنی (WMD) محاسبه گردید.

**یافته‌ها:** در کل ۱۱ مطالعه شامل ۳۵۸ ورزشکار و غیرورزشکار مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات درد عضلانی بلافاصله پس از ورزش در اثر مصرف ویتامین D معنادار نشد [WMD = -۰/۰۷، P = ۰/۷۰]. ویتامین D سبب تغییر معنادار کراتین کیناز [WMD = -۳/۲۲ U/L، P = ۰/۳]، لاکتات دهیدروژناز [WMD = -۱۱/۸۶ U/L، P = ۰/۳]، میوگلوبین [WMD = ۱۰/۶۶ ng/ml، P = ۰/۵] در زمان بلافاصله پس از ورزش نشد.

**نتیجه‌گیری:** ویتامین D در کاهش درد عضلانی در زمان ۲۴ ساعت پس از ورزش ممکن است موثر باشد اما احتمالاً در کاهش مارکرهای آسیب عضلانی از جمله میوگلوبین، کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز در طیف‌های زمانی پس از ورزش تأثیرگذار نیست. با این حال، انجام مطالعات پژوهشی بیشتر در این زمینه توصیه می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** درد عضلانی، تمرین ورزشی، ویتامین D، کراتین کیناز

D با سلامت استخوان‌ها مرتبط است و می‌تواند ظرفیت بازسازی ماهیچه‌ها را پس از ورزش کاهش دهد، عملکرد سیستم ایمنی را مختل کند و خطر عفونت‌های دستگاه تنفسی فوقانی را افزایش دهد [۲۷]، که می‌تواند ظرفیت بازسازی عضله بعد از ورزش را کاهش دهد [۲۸]، و با تخریب عملکرد ایمنی، خطر عفونت دستگاه تنفسی فوقانی را افزایش دهد [۲۹]. در جریانی دیگر ساختار عضلات آسیب دیده (تارچه‌های عضلانی و سارکومرها) مقدار زیادی از ترکیباتی همچون میوگلوبین، کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز را در داخل جریان خون ترشح می‌کنند. غلظت خون این ترکیبات مانند زنجیره سنگین میوزین، پروتئین متصل به اسید چرب، و ایزوفرم تروپونین ۱ بطور گسترده بعنوان شاخص های آسیب عضلات اسکلتی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳۰-۳۲]. بر همین مبنا مطالعاتی وجود دارد که اثرگذاری مکمل ویتامین D بر میزان آسیب تارهای عضلانی ناشی از ورزش را نشان می‌دهند [۳۳-۳۹]. سطوح بهینه ویتامین D، واکنش های التهابی را از طریق حفظ سطوح کافی سایتوکین‌های ضد التهابی مناسب (به طور عمده فاکتور نکروز آلفا و اینترلوکین ۱۰) سرکوب می‌کند [۴۰]. علاوه بر این، از طریق فعال کردن گیرنده‌های داخل سلولی، موجب افزایش مقدار پروتئین سلولی، افزایش قدرت و استقامت عضلانی (نگهداری سطوح ATP کافی) [۴۱،۴۲]، محافظت از نابودی تارهای عضلانی [۴۳]، و تاخیر در شروع خستگی و درد عضلانی می‌شود [۳۴]. همچنین در یک مطالعه حیوانی بلافاصله بعد از کوفتگی عضلانی، مصرف یک دوز بالای ویتامین D ( $3 \text{ IU/kg}$ ,  $33200 \text{ mg/kg}$ ) باعث بهبود نرخ ریکاوری عملکردی شد [۲۴]، و در مطالعه ای دیگر ویتامین D پایین، بازیابی قدرت را بعد از عمل جراحی رباط صلیبی قدامی مختل کرد [۲۲]. در همین راستا مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۱ به صورت سیستماتیک و فراتحلیل به بررسی نقش ویتامین D در بهبود بهبود شاخص‌های بدنی و ریکاوری پس از تمرین ورزشی پرداخت و نقش این مکمل را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد [۴۴]. در مطالعه سیستماتیک و فراتحلیل حاضر نیز اثرگذاری این مکمل پس از تمرین ورزشی ارزیابی شد.

## روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع مطالعات مرور نظام‌مند و فراتحلیل است که بر اساس دستورالعمل کاکرین و PRISMA انجام شد.

### روش بررسی مطالعات

برای استخراج مقالات، جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی Scopus، Web of Science و PubMed تا فوریه سال ۲۰۲۴ (بدون محدود کردن سال انتشار) برای مقالات انگلیسی با استفاده از کلمات کلیدی زیر انجام شد.

("Exercise" or ("Vitamin D" or "calciferol") AND "training" or "Exercise training" or "Physical Activity" or "eccentric exercise" or "strength

بر اساس مطالعات پیشین، در ابتدای یک برنامه تمرینی خاص، به خصوص در اشخاص تمرین نکرده، آسیب سلول‌های کبدی و عضلات اسکلتی ناشی از حجم بالایی از تمرینات غیرمعمول گزارش شده است [۱،۲]. التهاب، آسیب و درد عضلانی از مشکلات رایج در بین ورزشکاران محسوب می‌شوند [۳،۴]. از این رو، در حالیکه تمرینات شدید نتایج سودمند برای سلامتی ورزشکاران در پی دارد، در همین حین می‌تواند منجر به تخلیه انرژی، التهاب، استرس اکسیداتیو و آسیب عضلانی شوند که ممکن است اثرات معکوس بر برخی ارگان‌های بدن و تاثیرات منفی بر سلامت عمومی را موجب شود [۵، ۶، ۷]. در پژوهشی در پاسخ به یک وهله تمرین مقاومتی شدید، سطح کراتین کیناز افزایش داشته، ترشح سایتوکین‌های پیش التهابی همچون فاکتور تومور نکروز آلفا و اینترلوکین ۱ تحریک شده بود [۸]. در حال حاضر داروهای ضدالتهاب، مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی، دوره‌های بی‌حرکتی، و اولتراساوند تراپی اغلب برای تسکین آسیب‌هایی که اشاره شد استفاده می‌شوند [۹،۱۰]. هرچند استراتژی‌های دیگری برای شتاب بخشیدن به روند ریکاوری از جمله تغذیه فردی، همچون مصرف مکمل‌های خاص وجود دارد [۱۱].

در مطالعات پیشین گزارش شده که ویتامین D سطح پلاسمای مایوکالین ضد التهابی اینترلوکین ۶ (IL-6) در طول تمرین شدید و طولانی مدت را افزایش می‌دهد [۱۲] و به حفظ هموستاز گلوکز و لیپولیز ناشی از ورزش کمک می‌کند [۱۲]. ویتامین D گروهی از ویتامین‌های محلول در چربی مسئول در افزایش جذب روده‌ای کلسیم، منیزیم و فسفات و چندین اثر بیولوژیکی دیگر همچون آنتی‌اکسیدانی و ضد التهاب است [۱۳]. تعدادی از مطالعات اخیر گزارش کرده‌اند که گیرنده‌های ویتامین D در عضلات اسکلتی حضور دارند و همچنین متوجه شده‌اند که درمان افراد دچار نقصان ویتامین D، قدرت عضلانی و حجم تار عضلانی نوع ۲ را بهبود می‌بخشد [۱۷-۱۴].

ویتامین D نقش کلیدی در تنظیم هموستاز کلسیم و فسفات دارد و از این منظر برای سلامت استخوان حیاتی است [۱۸]. علاوه بر اهمیت آن، بخصوص ۲۵هیدروکسی ویتامین D سرمی در تنظیم متابولیسم استخوان‌ها و هموستاز کلسیم، در عملکرد عضلات اسکلتی، در روند التهاب ناشی از ورزش، عملکرد عصبی و سلامت قلبی عروقی نقش دارد [۲۱-۱۹]. از این رو نقصان ویتامین D موجب افزایش خطر ریزش عضلات، خستگی و ضعف عضلانی ناشی از تخریب ساختار پل عرضی می‌شود [۲۴-۲۲]. در حال حاضر هیچ اجماع قطعی مبنی بر غلظت سرمی ایمن ۲۵هیدروکسی ویتامین D وجود ندارد. هرچند غلظت ۲۵هیدروکسی ویتامین دی ۳۰ نانوگرم به‌عنوان کافی، بین ۲۹-۲۱ به‌عنوان ناکافی، و ۲۰ را به‌عنوان نقصان ویتامین D معرفی شده است [۲۵، ۲۶]. در این ارتباط در ورزشکاران، سطوح پایین ویتامین

سن، جنسیت، پروتکل تمرینی مختلف (نوع مداخله، طول مداخله، تعداد جلسات در هفته و شدت تمرین) و مداخله یا عدم مداخله رژیم غذایی استخراج شد. در صورت نبود وجود داده‌های کافی برای انجام فراتحلیل، از طریق ایمیل با نویسنده مسئول مکاتبه صورت گرفت و داده‌های مورد نیاز مطالعه فراتحلیل حاضر دریافت شد. همچنین، در صورت عدم پاسخگویی یا عدم دریافت از سوی نویسنده مقاله، استخراج داده‌ها از نمودار مقالات با استفاده از getdata یا تخمین انحراف استاندارد (SD) Standard deviation از خطای استاندارد میانگین (SEM) Standard Error of the Mean صورت گرفت.

### بررسی کیفیت مقالات

بررسی کیفیت مقالات نیز توسط دو نویسنده به‌طور مستقل انجام شد. ارزیابی کیفیت مطالعات با استفاده از چک لیست ۹ سوالی Pedro انجام شد [۴۵]. معیارهای ارزیابی شامل موارد زیر بود: ۱- مشخص بودن ضوابط واجد شرایط بودن آزمودنی‌ها، ۲- اختصاص شرکت کنندگان به‌طور تصادفی به گروه‌های مختلف، ۳- بلایند بودن شرکت کنندگان نسبت به گروه‌بندی‌ها، ۴- یکسان بودن آزمودنی‌ها از نظر وزن بدن در گروه‌های مختلف مطالعه، ۵- وجود ارزیابی یکسو کور برای متغیر اصلی پژوهش (Blinding of all assessors)، ۶- خروج کمتر از ۱۵ درصد شرکت کنندگان از پژوهش، ۷- انجام تجزیه و تحلیل به‌صورت Intention to treat (ITT)، ۸- وجود گزارش تفاوت آماری بین گروهی برای متغیر اصلی پژوهش، ۹- وجود گزارش میانگین، انحراف معیار و میزان معناداری (P).

به تمام سوالات چک لیست Pedro، با دو گزینه بله یا خیر پاسخ داده شد. امتیاز حداقل ۰ و حداکثر ۹ بود که در آن ارزش عددی بالاتر، نمایانگر کیفیت بالاتر مطالعه بود.

### فراتحلیل

مطالعه فراتحلیل حاضر برای اثر مکمل کراتین بر ریکاوری پس از ورزش انجام شد. در این مطالعه، برای انجام تجزیه و تحلیل آماری از میانگین، انحراف استاندارد و حجم نمونه استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل اثر تصادفی انجام گرفت. برای تفاوت بین گروه مداخله و کنترل از تفاوت میانگین وزنی Weighted mean difference (WMD) و فاصله اطمینان (CI) Confidence interval با ۹۵ درصد استفاده شد. لازم به ذکر است نظر به اینکه واحدهای اندازه گیری تمام متغیرها در تمام مطالعات یکسان بوده است، از روش WMD برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. برای تعیین عدم تجانس (ناهمگونی) Heterogeneity مطالعات، از شاخص  $I^2$  استفاده شد که طبق دستورالعمل کوکران مقدار ناهمگونی به صورت کمتر از ۲۵٪=ناهمگونی خیلی کم، ۲۵-۵۰٪=ناهمگونی کم، ۵۰-۷۵٪=ناهمگونی متوسط و بیشتر از ۷۵٪=ناهمگونی زیاد تفسیر شد [۴۶، ۴۷]. در صورت وجود ناهمگونی، تحلیل حساسیت

"training" or "resistance training" or "endurance training" or "strenuous exercise" or "exercise performance" or "muscle performance" or "sports performance" or "muscle recovery" or "sports fatigue" or "athletes") AND ("Muscle soreness" or "delayed-onset muscle soreness" or "range of motion" or "perceived soreness" or "rate of perceived exertion" or "maximum voluntary contraction" or "creatine kinase" or "myoglobin" or "troponin" or "lactate dehydrogenase" or "blood urea nitrogen" or "serum creatinine" or "alanine aminotransferase" or "serum glutamic-pyruvic transaminase" or "aspartate aminotransferase" or "serum glutamic-oxaloacetic transaminase" or "recovery" or "injury\*" or "muscle\*" or "perform\*" or "recover\*")

لازم به ذکر است که جستجو برای هر کلیدواژه به‌صورت نام کامل و اختصاری به‌صورت جداگانه و ترکیبی با کلیدواژه‌های دوم یا سوم انجام شد.

همچنین جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی Magiran و SID برای مقالات فارسی تا اسفند ۱۴۰۲ با استفاده از کلمات کلیدی "ویتامین D"، "ویتامین D"، "فعالیت بدنی"، "تمرینات ورزشی"، "کراتین کیناز"، "درد عضلانی"، "لاکتات دهیدروژناز" و "میوگلوبین" انجام شد. جستجو به روش دستی در Google scholar نیز انجام گرفت. جستجوی پایگاه‌های اطلاعاتی به‌صورت مستقل توسط دو محقق انجام شد.

### معیارهای ورود و خروج از مطالعه

مقالات با مشخصات زیر وارد مطالعه شدند: ۱- مطالعات منتشر شده به زبان انگلیسی و فارسی؛ ۲- مطالعات انجام شده در افراد ورزشکار و غیرورزشکار؛ ۳- مطالعاتی که تاثیر مکمل ویتامین D بر گروه‌های مداخله (تمرین ورزشی و ویتامین D) یا گروه کنترل (تمرین ورزشی به تنهایی) بررسی و مقایسه کرده‌اند؛ ۴- مطالعاتی که انواع تمرینات ورزشی را مورد بررسی قرار داده‌اند؛ ۵- مطالعاتی که متغیرهای کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز، میوگلوبین و درد عضلانی (muscle soreness) را بررسی کرده‌اند؛ ۶- مطالعات کارآزمایی بالینی تصادفی شده (RCT) و مطالعات متقاطع (crossover). معیارهای خروج شامل مطالعات حیوانی، پایان‌نامه، همایش و مطالعاتی که بر روی سالمندان (بالاتر از ۷۰ سال) انجام شده بود. مطالعاتی که فاقد گروه کنترل بودند. علاوه بر این، مطالعات با عدم داده‌های کافی برای انجام فراتحلیل از تحقیق حاضر خارج شدند.

### استخراج داده‌ها

پس از بررسی کامل تمام مقالات، داده‌های کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز، میوگلوبین و درد عضلانی و فاکتورهای التهابی (IL-6 و TNF $\alpha$ ) توسط دو نویسنده به‌طور مستقل استخراج شد و هرگونه اختلاف نظر با محقق سوم مجدد مورد بررسی قرار گرفت و در انتها تصمیم نهایی بین سه محقق انجام شد. اطلاعات مربوط به نوع مطالعه، نویسنده اول، سال انتشار، تصادفی یا غیرتصادفی بودن، تعداد نمونه، کیفیت مطالعه؛ ویژگی‌های آزمون‌ها شامل:

شروع مداخله، قبل از ورزش، بلافاصله و ۱ ساعت بعد از ورزش، ۲۴ ساعت، ۴۸ ساعت، ۷۲ ساعت و یک هفته پس از ورزش، اندازه گیری شده بود.

### کیفیت مطالعات

نتایج بررسی کیفیت مقالات با استفاده از Pedro نشان داد که حداقل امتیاز کیفیت مقالات ۵ [۵۷، ۵۰] و حداکثر امتیاز ۸ [۲۹، ۳۷، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۵، ۵۸] بود (جدول ۲).

### تغییرات درد عضلانی بلافاصله پس از ورزش

نتایج فراتحلیل برای ۶ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار درد عضلانی [P=۰/۷۰، (۰/۰۵- الی ۰/۳۶-)] -۰/۰۷ WMD= در زمان بلافاصله پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۲). با استفاده از شاخص I<sup>2</sup> ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد (P=۰/۹، I<sup>2</sup>=۰/۰۰). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده عدم وجود سوگیری انتشار برای درد عضلانی در زمان بلافاصله پس از ورزش (P=۰/۵۰) بود.

### تغییرات درد عضلانی در زمان ۲۴ ساعت پس از ورزش

نتایج فراتحلیل برای ۷ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب کاهش معنادار درد عضلانی [P=۰/۰۴، (۰/۸۰- الی ۰/۰۴-)] -۰/۴۰ WMD= در زمان ۲۴ ساعت پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل شد (شکل ۲). با استفاده از شاخص I<sup>2</sup> ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد (P=۰/۴، I<sup>2</sup>=۰/۰۰). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده عدم وجود سوگیری انتشار برای درد عضلانی در زمان ۲۴ ساعت پس از ورزش (P=۰/۱۲) بود.

### تغییرات درد عضلانی در زمان ۴۸ ساعت پس از ورزش

نتایج فراتحلیل برای ۶ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار درد عضلانی [P=۰/۵۰، (۰/۴۵- الی ۰/۸۰-)] -۰/۱۷ WMD= در زمان ۴۸ ساعت پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۲). با استفاده از شاخص I<sup>2</sup> ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود دارد (P=۰/۰۴، I<sup>2</sup>=۵۵/۶۷). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده وجود سوگیری انتشار معنی دار برای درد عضلانی در زمان ۴۸ ساعت پس از ورزش (P=۰/۰۲) بود.

### تغییرات درد عضلانی در زمان ۷۲ ساعت پس از ورزش

نتایج فراتحلیل برای ۶ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار درد عضلانی [P=۰/۱۳، (۰/۷۲- الی ۰/۰۹-)] -۰/۳۱ WMD= در زمان ۷۲ ساعت پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۲). با استفاده از شاخص I<sup>2</sup> ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد (P=۰/۰۶، I<sup>2</sup>=۰/۰۰). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده وجود سوگیری انتشار معنی دار برای درد عضلانی در زمان ۷۲ ساعت پس از ورزش (P=۰/۰۳) بود.

### تغییرات کراتین کیناز بلافاصله پس از ورزش

Sensitivity analysis از طریق روش خارج کردن یک به یک مطالعات Leave one-out method انجام شد. سوگیری انتشار نیز با استفاده از تفسیر بصری از فونل پلات بررسی شد که در صورت مشاهده سوگیری، تست Egger به عنوان یک تست تعیین کننده ثانویه استفاده شد که در آن سطح معناداری برابر با ۰/۱ به عنوان وجود سوگیری انتشار معنی دار در نظر گرفته شد [۴۸، ۴۹].

### نتایج

بر اساس جستجو در پایگاه‌های اطلاعات علمی تا اسفند ۱۴۰۲، ۶۳۹۷ مقاله یافت شد. پس از حذف مقالات تکراری (۱۸۲۶ مقاله)، در نهایت ۴۵۷۱ مقاله برای ارزیابی اولیه، مورد بررسی قرار گرفتند پس از بررسی عناوین و چکیده مقالات، در نهایت ۶۵ مقاله برای ارزیابی متن کامل انتخاب شدند که پس از بررسی متن کامل مقالات، ۵۴ مقاله از مطالعه حاضر خارج شدند. در نهایت، ۱۱ مطالعه وارد فراتحلیل حاضر شدند (شکل ۱، جدول ۱). برای همه زمان‌های اندازه گیری، ۲۵ مداخله برای متغیر درد عضلانی، ۴۸ مداخله برای کراتین کیناز، ۲۰ مداخله برای لاکتات دهیدروژناز، ۱۵ مداخله برای میوگلوبین، ۵ مداخله برای IL-6 و ۵ مداخله برای TNF $\alpha$  وجود داشت.

### ویژگی آزمودنی‌ها

۳۵۸ آزمودنی (۱۲۳ نفر ورزشکار و ۲۳۵ نفر غیرورزشکار) با رده سنی ۱۵/۹-۳۵ سال وارد فراتحلیل شدند. ۱۸۲ آزمودنی با رده سنی ۱۶-۳۳ سال و میانگین BMI ۲۲-۲۷ کیلوگرم بر مترمربع در گروه مکمل ویتامین D و ۱۷۶ آزمودنی با میانگین سنی ۱۵/۹-۳۵ سال و میانگین BMI ۲۶-۲۲ کیلوگرم بر مترمربع در گروه کنترل بودند. همه شرکت کنندگان پیش از شروع پروتکل ورزشی غیرفعال بودند (جدول ۱). تعداد آزمودنی‌های هر مطالعه در محدوده ۱۴ [۵۰] و ۶۰ نفر [۵۱] بود.

### ویژگی پروتکل‌های تمرین

۱۱ مطالعه وارد فراتحلیل شدند. در میان مطالعات وارد شده، ۸ مطالعه از تمرینات [۲۹، ۳۷، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۴، ۵۵]، ۳ مطالعه از تمرینات هوازی [۳۹، ۵۶، ۵۷]. تنها یک مطالعه شدت تمرین مقاومتی (۱۲۰ درصد یک تکرار بیشینه) را گزارش کرده بود [۵۱].

### ویژگی مطالعات

تمام مطالعات وارد شده (۱۱ مطالعه) از نوع کارآزمایی بالینی بودند. میزان مکمل ویتامین D مصرفی از IU۶۰۰ در روز [۵۵] تا IU۸۰۰۰ [۵۴] در روز بود. مدت زمان دریافت مکمل از ۴ هفته [۵۰] تا ۱۲ هفته [۵۴، ۵۷] بود.

بر اساس بررسی و مرور مطالعات وارد شده، زمان اندازه گیری متغیرها متفاوت بود. برای مثال، درد عضلانی در زمان‌های قبل از شروع مداخله، قبل از ورزش، بلافاصله و ۱ ساعت و ۲ ساعت بعد از ورزش، ۲۴ ساعت، ۴۸ ساعت و ۷۲ ساعت و یک هفته پس از ورزش، کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز و میوگلوبین در زمان‌های قبل از

سوگیری انتشار برای کراتین کیناز در زمان ۷۲ ساعت پس از ورزش ( $P=0/77$ ) بود.

#### تغییرات لاکتات دهیدروژناز در زمان بلافاصله پس از ورزش

نتایج این فراتحلیل برای ۵ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار لاکتات دهیدروژناز [ $P=0/3$ ،  $(-34/48)$  الی  $(10/76)$  U/L] در زمان بلافاصله پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۴). با استفاده از شاخص  $I^2$  ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود دارد ( $P=0/01$ ،  $I^2=77/55$ ). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده عدم وجود سوگیری انتشار برای لاکتات دهیدروژناز در زمان بلافاصله پس از ورزش ( $P=0/46$ ) بود.

#### تغییرات لاکتات دهیدروژناز در زمان ۱-۲ ساعت پس از ورزش

نتایج این فراتحلیل برای ۶ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار لاکتات دهیدروژناز [ $P=0/9$ ،  $(-18/95)$  الی  $(20/91)$  U/L] در زمان ۱-۲ ساعت پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۴). با استفاده از شاخص  $I^2$  ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد ( $P=0/98$ ،  $I^2=0/00$ ). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده وجود سوگیری انتشار برای لاکتات دهیدروژناز در زمان ۱-۲ ساعت پس از ورزش ( $P=0/05$ ) بود.

#### تغییرات لاکتات دهیدروژناز در زمان ۲۴ ساعت پس از ورزش

نتایج فراتحلیل حاضر برای ۷ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار لاکتات دهیدروژناز [ $P=0/8$ ،  $(-10/97)$  الی  $(12/55)$  U/L] در زمان ۲۴ ساعت پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۴). با استفاده از شاخص  $I^2$  ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد ( $P=0/94$ ،  $I^2=0/00$ ). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده وجود سوگیری انتشار برای لاکتات دهیدروژناز در زمان ۱-۲ ساعت پس از ورزش ( $P=0/37$ ) بود.

#### تغییرات لاکتات دهیدروژناز در زمان ۴۸ ساعت پس از ورزش

نتایج فراتحلیل حاضر برای ۲ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار لاکتات دهیدروژناز [ $P=0/3$ ،  $(-32/84)$  الی  $(10/39)$  U/L] در زمان ۴۸ ساعت پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۴). با استفاده از شاخص  $I^2$  ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد ( $P=0/08$ ،  $I^2=67/04$ ). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده عدم وجود سوگیری انتشار برای لاکتات دهیدروژناز در زمان ۱-۲ ساعت پس از ورزش ( $P=0/2$ ) بود.

#### تغییرات میوگلوبین در زمان بلافاصله پس از ورزش

نتایج این فراتحلیل برای ۷ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار کراتین کیناز [ $P=0/3$ ،  $(-9/75)$  الی  $(3/30)$  U/L] در زمان بلافاصله پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۳). با استفاده از شاخص  $I^2$  ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد ( $P=0/91$ ،  $I^2=0/00$ ). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده عدم وجود سوگیری انتشار برای کراتین کیناز در زمان بلافاصله پس از ورزش ( $P=0/18$ ) بود.

#### تغییرات کراتین کیناز در زمان ۱-۲ ساعت پس از ورزش

نتایج این فراتحلیل برای ۲۷ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار کراتین کیناز [ $P=0/4$ ،  $(-49/11)$  الی  $(28/14)$  U/L] در زمان ۱-۲ ساعت پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۳). با استفاده از شاخص  $I^2$  ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد ( $P=0/81$ ،  $I^2=0/00$ ). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده عدم وجود سوگیری انتشار برای کراتین کیناز در زمان ۱-۲ ساعت پس از ورزش ( $P=0/33$ ) بود.

#### تغییرات کراتین کیناز در زمان ۲۴ ساعت پس از ورزش

نتایج این فراتحلیل برای ۸ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار کراتین کیناز [ $P=0/9$ ،  $(-64/92)$  الی  $(60/49)$  U/L] در زمان ۲۴ ساعت پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۳). با استفاده از شاخص  $I^2$  ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد ( $P=0/25$ ،  $I^2=21/44$ ). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده عدم وجود سوگیری انتشار برای کراتین کیناز در زمان ۲۴ ساعت پس از ورزش ( $P=0/40$ ) بود.

#### تغییرات کراتین کیناز در زمان ۴۸ ساعت پس از ورزش

نتایج این فراتحلیل برای ۳ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار کراتین کیناز [ $P=0/5$ ،  $(-64/41)$  الی  $(115/18)$  U/L] در زمان ۴۸ ساعت پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۳). با استفاده از شاخص  $I^2$  ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد ( $P=0/00$ ،  $I^2=87/00$ ). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده عدم وجود سوگیری انتشار برای کراتین کیناز در زمان ۴۸ ساعت پس از ورزش ( $P=0/53$ ) بود.

#### تغییرات کراتین کیناز در زمان ۷۲ ساعت پس از ورزش

نتایج این فراتحلیل برای ۳ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار کراتین کیناز [ $P=0/5$ ،  $(-60/26)$  الی  $(32/42)$  U/L] در زمان ۷۲ ساعت پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۳). با استفاده از شاخص  $I^2$  ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود دارد ( $P=0/01$ ،  $I^2=76/19$ ). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده عدم وجود

هدف از انجام فراتحلیل حاضر اثر مکمل ویتامین D بر درد عضلانی و ریکاوری پس از تمرین بود. بخش اول نتایج فراتحلیل حاضر نشان داد که مصرف ویتامین D منجر به تغییر معنادار درد عضلانی در طیف زمانی بلافاصله پس از تمرین، ۴۸ ساعت و ۷۲ ساعت پس از تمرین نسبت به گروه کنترل نمی‌شود. با این وجود، نشان داده شد که مصرف ویتامین D در بازه زمانی ۲۴ ساعت پس از تمرین سبب کاهش معنادار درد عضلانی نسبت به گروه کنترل [WMD=-۰/۴۰، P=۰/۰۴] می‌شود. اساساً درد عضلانی زمانی رخ می‌دهد که فرد به‌طور مکرر در معرض ورزش‌های ناآشنا یا بیش از حد قرار گیرد که علائم آن گاهی اوقات پس از ورزش غیرعادی افزایش می‌یابد و ۴۸-۲۴ ساعت پس از ورزش به اوج خود می‌رسد و ۷-۴ روز پس از ورزش فروکش می‌کند که معمولاً به آن درد عضلانی تاخیری (Delayed Onset Muscle (DOMS) Soreness گفته می‌شود [۵۱]. افزون بر این، ثابت شده که درد عضلانی تاخیری، کاهش قدرت، التهاب و اختلال در دامنه حرکتی از پیامدهای بالینی اختلال در سلول‌های عضلانی و متعاقب آن انتشار پروتئین‌های عضلانی داخل سلولی در خون می‌باشد که با نام آسیب عضلانی ناشی از ورزش (Exercise- Induced Muscle Damage (EIMD) شناخته می‌شود [۵۹]. از ۵ مطالعه‌ای که درد عضلانی را اندازه‌گیری کردند، Shanely و همکاران، مقادیر قابل توجهی مبنی بر اینکه مکمل ویتامین D باعث کاهش درد عضلانی شد را در گروه تجربی مشاهده نکردند [۵۵]. آنها از دوز ۶۰۰ واحد بین المللی در روز استفاده کردند که مقدار بسیار کمی ویتامین D در مقایسه با سایر مطالعات است که به طور بالقوه توضیح می‌دهد که چرا آنها به نتایج مورد انتظار دست نیافته‌اند. همچنین Barker و همکاران، در پژوهش خود نشان دادند مکمل ویتامین D افزایش فوری و تأخیری (۴۸ ساعت، ۷۲ ساعت یا ۱۶۸ ساعت) بیومارکرهای در گردش معرف آسیب عضلانی (ALT یا AST) را بدون بهبود درد عضلانی کاهش می‌دهد [۶۰]. دو مطالعه دیگر، سطوح کمتری از درد عضلانی را در گروه تجربی به دست آوردند که نشان می‌دهد مکمل‌های ویتامین D درد عضلانی را کاهش می‌دهد [۵۱]. بدین ترتیب که وکیلی و همکاران، اثرات ریزمغذی ویتامین D و ارتعاش درمانی بر درد عضلانی تاخیری را بررسی نمودند و به این یافته رسیدند که ارتعاش درمانی و مکمل ویتامین D، اثراتی بر درد عضلانی تاخیری ناشی از ورزش غیرعادی در دانش‌آموزان دختر دارد، با وجود این یافته آنها توأم با احتیاط تفسیر گردید [۵۱]. همچنین عابدین و همکاران، بیان داشتند مکمل ویتامین D همراه با ورزش هوازی علاوه بر یک رژیم کم کالری متعادل می‌تواند پروتکل جدیدی برای بهبود درد اسکلتی عضلانی غیراختصاصی، ظرفیت عملکردی و کیفیت زندگی در زنان چاق مبتلا به میالژی درک شده ارائه دهد [۶۱].

نتایج این فراتحلیل برای ۳ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار میوگلوبین [P=۰/۵، (۲۷/۸۱- الی ۴۹/۱۳) ng/ml] در زمان بلافاصله پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۵). با استفاده از شاخص I<sup>2</sup> ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد (P=۰/۰۱، I<sup>2</sup>=۷۶/۸۹). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده عدم وجود سوگیری انتشار برای میوگلوبین در زمان بلافاصله پس از ورزش (P=۰/۶۰) بود.

#### تغییرات میوگلوبین در زمان ۱-۲ ساعت پس از ورزش

نتایج این فراتحلیل برای ۵ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار میوگلوبین [P=۰/۰۹، (۲۴/۵۸- الی ۲۴/۹۴) ng/ml] در زمان ۱-۲ ساعت پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۵). با استفاده از شاخص I<sup>2</sup> ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد (P=۰/۷۲، I<sup>2</sup>=۰/۰۰). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده عدم وجود سوگیری انتشار برای میوگلوبین در زمان ۱-۲ ساعت پس از ورزش (P=۰/۰۹) بود.

#### تغییرات میوگلوبین در زمان ۲۴ ساعت پس از ورزش

نتایج این فراتحلیل برای ۷ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار میوگلوبین [P=۰/۵، (۱۵/۱۱- الی ۷۷/۱) ng/ml] در زمان ۲۴ ساعت پس از ورزش، نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۵). با استفاده از شاخص I<sup>2</sup> ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد (P=۰/۲۸، I<sup>2</sup>=۱۸/۸۶). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده عدم وجود سوگیری انتشار برای میوگلوبین در زمان ۲۴ ساعت پس از ورزش (P=۰/۳۵) بود.

#### تغییرات IL-6 پس از ورزش

نتایج این فراتحلیل برای ۵ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار IL-6 [P=۰/۵، (۰/۱۱- الی ۰/۲۲) pg/ml] نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۶). با استفاده از شاخص I<sup>2</sup> ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد (P=۰/۳۶، I<sup>2</sup>=۷/۱۰). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده وجود سوگیری انتشار برای IL-6 (P=۰/۰۳) بود.

#### تغییرات TNFα پس از ورزش

نتایج این فراتحلیل برای ۵ مداخله نشان داد که ویتامین D سبب تغییر معنادار TNFα [P=۰/۰۹، (۰/۱۳- الی ۰/۱۴) pg/ml] نسبت به گروه کنترل نشد (شکل ۷). با استفاده از شاخص I<sup>2</sup> ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی وجود ندارد (P=۰/۷۷، I<sup>2</sup>=۰/۰۰). نتیجه آزمون Egger نشان دهنده عدم وجود سوگیری انتشار برای TNFα (P=۰/۳۴) بود.

نتایج تحلیل حساسیت نشان داد، با استفاده از حذف تک به تک مطالعات، میزان اندازه اثر مکمل ویتامین D بر درد عضلانی و ریکاوری پس از ورزش، جهت اندازه اثر و P تغییری نکرد.

#### بحث

جدول ۱. ویژگی مطالعات و آزمودنی‌ها

نویسنده، سال	نوع مطالعه	تعداد و ویژگی‌های آزمودنی‌ها	سن	BMI	گروه‌ها	متغیرها و زمان اندازه گیری	نوع مکمل و دوز مصرف	زمان مصرف مکمل	نوع تمرین شدت و مدت زمان تمرین	تعداد جلسات تمرین در هفته
اشتری- لارکی ۲۰۲۰ [۵۰]	Cross-Over	۱۴ مرد تمرین کرده	ورزش + ویتامین D: ۲۵/۱±۱/۴ ورزش + دارونما: ۲۴/۳±۲/۴	ورزش + ویتامین D: ۲۴/۳±۲/۴	گروه ۱: ورزش + ویتامین D گروه ۲: ورزش + دارونما	کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز، (قبل از ورزش، بلافاصله و یک ساعت پس از ورزش) IL-6 و TNFα	ویتامین D ۳۰۰۰۰ IU به صورت تک دوز و تزیقی × ۴ هفته	بعد از ظهر ها	تمرین مقاومتی: شامل ۳ ست با ۸ تکرار با ۱ دقیقه استراحت بین ست ها و حرکات	-
بارکر ۲۰۱۳ [۲۲]	RCT	۲۸ نفر مرد	ویتامین D + ورزش: ۳۰±۶ ویتامین D: ۳۱±۵	ویتامین D + ورزش: ۲۷/۶±۵/۶ ویتامین D: ۲۶/۹±۴/۲	گروه ۱: ویتامین D + ورزش (۱۵ نفر) گروه ۲: ویتامین D (۱۳ نفر)	درد عضلانی (قبل از شروع مداخله، قبل، بلافاصله، یک ساعت، یک روز، دو روز، سه روز و یک هفته بعد پس از ورزش)	ویتامین D ۴۰۰۰ IU روزانه × ۵ هفته	همراه غذا	تمرین مقاومتی: ۱۰ ست با ۱۰ تکرار پرش درونگرا و برونگرا در ۷۵٪ توده بدنی با ۲۰ ثانیه استراحت بین هر ست	-
کالوندی ۲۰۲۱ [۵۳]	RCT	۴۰ نفر مرد سالم	ورزش + ویتامین D: ۲۲/۴±۱/۲ ورزش: ۲۱/۱±۲/۱ ویتامین D: ۲۲/۱±۱/۱ کنترل: ۲۲/۵±۲/۴	-	گروه ۱: ورزش + ویتامین D (۱۰ نفر) گروه ۲: ورزش (۱۰ نفر) گروه ۳: ویتامین D (۱۰ نفر) گروه ۴: کنترل (۱۰ نفر)	کراتین کیناز (قبل از هر مداخله، ۷۲ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرین)	ویتامین D ۴۰۰۰ IU هر دو هفته یک عدد × ۸ هفته	بعد از صبحانه	تمرین مقاومتی کشسانی: ۸ حرکت در ۳ ست ۱۰- ۱۵ تکراری. همراه با ۱۰ دقیقه گرم کردن ۱۰ دقیقه سرد کردن	۳ جلسه در هفته
ماستالی ۲۰۲۲ [۵۶]	RCT	۲۴ نفر مرد سالم غیر ورزشکار	ورزش + ویتامین D: ۲۴/۳۳±۲/۷ ورزش + دارونما: ۲۵/۸۳±۳/۱۸	ورزش + ویتامین D: ۲۵/۸±۲/۹۳ ورزش + دارونما: ۲۵/۹۱±۱/۸۸	گروه ۱: ورزش + ویتامین D (۱۲ نفر) گروه ۲: ورزش + دارونما (۱۲ نفر)	کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز (شروع مداخله، قبل و بلافاصله بعد از اولین تمرین، ۶ هفته بعد قبل و بلافاصله بعد از پروتکل تمرین دوم)	ویتامین D ۲۰۰۰ IU روزانه × ۶ هفته	-	تمرین هوازی با شدت متوسط	-
نیمن ۲۰۱۳ [۳۷]	RCT	۲۸ نفر ورزشکار اتوموبیلرانی استوک	ورزش + ویتامین D: ۲۷/۱±۱/۵ ورزش + دارونما: ۲۷/۳±۰/۹	-	گروه ۱: ورزش + ویتامین D (۱۳ نفر) گروه ۲: ورزش + دارونما (۱۵ نفر)	کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز میوگلوبین (قبل از شروع مطالعه، بعد از ۶ هفته قبل از ورزش، بلافاصله، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از ورزش)، درد عضلانی (قبل ورزش، بلافاصله، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از ورزش)	ویتامین D ۳۸۰۰ IU روزانه × ۶ هفته	همراه صبحانه	تمرین مقاومتی: ۹۰ دقیقه تمرینات برونگرا شامل ۱۷ حرکت ۲-۳ ست	-
پیلچ ۲۰۲۰ [۵۷]	RCT	۴۴ نفر مرد جوان	گروه ۱: ۲۴/۱±۱۰/۶۲ گروه ۲: ۲۳/۰۳±۹/۲۶ گروه ۳: ۲۳/۸±۵/۲۲	-	گروه ۱: ورزش + ویتامین D (سرم) ویتامین D کمتر از ۳۰ نانوگرم/میلی لیتر) - گروه ۲: ورزش + دارونما (سرم ویتامین D کمتر از ۳۰ نانوگرم/میلی لیتر) ۱۱ نفر	کراتین کیناز لاکتات دهیدروژناز میوگلوبین (یک ساعت قبل، یک ساعت و ۲۴ ساعت پس از ورزش)	ویتامین D محاسبه شده بر اساس وزن بدن و میزان ویتامین D هر فرد × ۱۲ هفته	همراه وعده غذایی پرچرب	تست تمرین افزایشی تا خستگی ارادی روی تردمیل با ۶۰ درصد Vo2 peak و شیب ۱۰ درجه	-

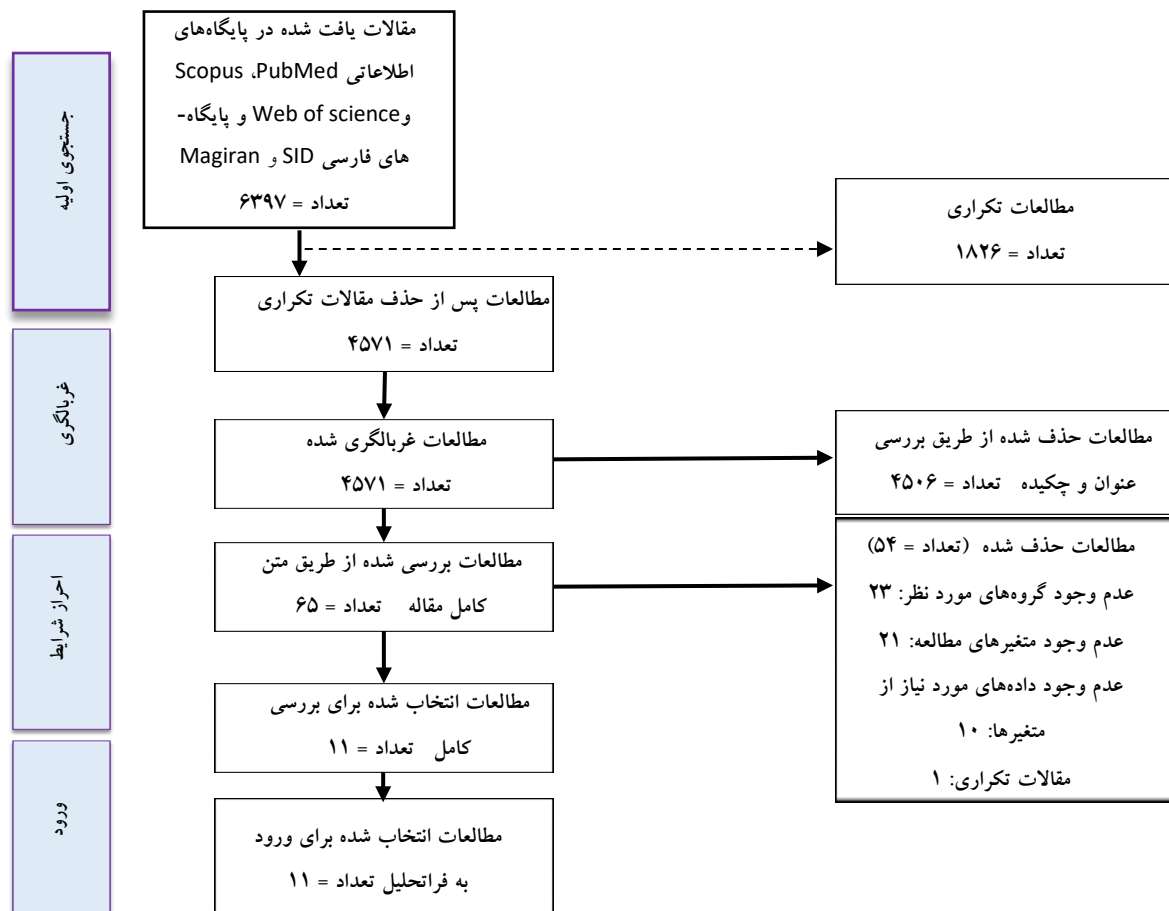


					گروه ۴: ورزش + ویتامین D (سرم) ویتامین D بیشتر از ۳۰ نانوگرم/میلی (لیتر) ۱۱ نفر - گروه ۴: ورزش + دارونما (سرم ویتامین D بیشتر از ۳۰ نانوگرم/میلی لیتر) ۱۰ نفر	گروه ۴: ۲۶/۴۷±۳/۳۱				
ساولانین [۲۰۲۱] ۵۴	RCT	۳۹ نفر مرد با نقصان ویتامین D	ورزش + ویتامین D: ۲۳/۹±۲/۷ ورزش + دارونما: ۲۳/۳±۲/۳	ورزش + ویتامین D: ۲۴±۲/۶	گروه ۱: ورزش + ویتامین D (۲۱ نفر) گروه ۲: ورزش + دارونما (۱۸ نفر)	کراتین کیناز (قبل از شروع مرحله آماده سازی، بعد از پایان مرحله آماده سازی، و بعد از هفته های ۱۲ و ۱۴ در طول مرحله اصلی)	ویتامین D ۸۰۰۰ IU روانه × ۱۲ هفته	تمرین مقاومتی: ۷ حرکت ۳-۲ جلسه در ۳-۱ تا ۲۰-۸ تکرار هفته		
شنلی [۲۰۱۴] ۵۵	RCT	۳۳ نفر مرد دانش آموز ورزشکار	ورزش + ویتامین D: ۲۴/۷±۴/۰۷ ورزش + دارونما: ۲۳/۴±۵/۰۸	ورزش + ویتامین D: ۱۶/۶±۰/۹۴ ورزش + دارونما: ۱۵/۹±۱/۱۹	گروه ۱: ورزش + ویتامین D (۱۷ نفر) گروه ۲: ورزش + دارونما (۱۶ نفر)	کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز میوگلوبین (قبل از شروع مطالعه، قبل از ورزش، بلافاصله، ۲۴ و ۷۲ ساعت پس از ورزش)	کپسول ویتامین D ۶۰۰ IU روزانه × ۶ هفته شام	تست ورزشی قبل و بعد از ۶ هفته: تست پرس و دلیفت		
استویانوویچ [۲۰۲۲] ۲۹	RCT	۲۴ نفر زن ورزشکار با نقصان ویتامین D	ورزش + ویتامین D: ۱۹/۴±۱/۹ ورزش + دارونما: ۱۹/۸±۴/۶	-	گروه ۱: ورزش + ویتامین D (۱۲ نفر) گروه ۲: ورزش + دارونما (۱۲ نفر)	کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز (قبل از مداخله و بعد از مداخله)	ویتامین D ۴۰۰۰ IU روانه × ۶ هفته صبح	تمرین مقاومتی: بین ۶- ۱۲ ساعت و ۲-۱ مسابقه بسکتبال در هفته		
وکیلی [۲۰۲۰] ۵۱	RCT	۶۰ نفر زن	ویتامین D + ویریشن: ۲۴/۲۶±۱/۱۶ ویتامین D: ۲۴/۷۳±۱/۵۷ کنترل: ۲۴/۵۳±۱/۵۹	ویتامین D + ویریشن: ۲۲/۹۲±۱/۲۱ ویتامین D: ۲۲/۰۵±۱/۲۸ کنترل: ۲۲/۵۳±۱/۳	گروه ۱: ویتامین D + ویریشن (۱۵ نفر) گروه ۲: ویریشن (۱۵ نفر) گروه ۳: ویتامین D (۱۵ نفر) گروه ۴: کنترل (۱۵ نفر)	کراتین کیناز (قبل از شروع مداخله، بعد از ۷ روز مداخله، بعد از ۲۴ و ۴۸ و ۷۲ ساعت از تمرین استنریک) درد عضلانی (قبل از شروع مداخله، بعد از ۷ روز مداخله، بعد از ۲۴ و ۴۸ و ۷۲ ساعت از تمرین استنریک)	ویتامین D ۳۸۰۰ IU روانه × ۷ روز	تمرین مقاومتی: تمرین استنریک عضله چهارسر ران در ۵ ست ۴ تکرار با شدت ۱۲۰٪ یک تکرار بیشینه	قبل تمرین و بلافاصله بعد از تمرین	هر روز
زبروسکا [۲۰۲۰] ۵۸	RCT	۲۴ نفر دونه ماراتن	ورزش + ویتامین D: ۳۳/۷±۷/۵ ورزش + دارونما: ۳۵/۹±۵/۳	ورزش + ویتامین D: ۲۳/۸±۲/۲ گروه ۲: ۲۳/۷±۲/۱	گروه ۱: ورزش + ویتامین D (۱۲ نفر) گروه ۲: ورزش + دارونما (۱۲ نفر)	کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز میوگلوبین (قبل از ورزش، بلافاصله، یک ساعت و ۲۴ ساعت پس از ورزش)، TNFα و IL-6	ویتامین D ۲۰۰۰ IU روانه × ۳ هفته غذا	تست دویدن ۳۰ دقیقه ای در سراسیمه با ۷۰ درصد Vo2peak	دو بار در روز همراه غذا	-

RCT: Randomised controlled trial

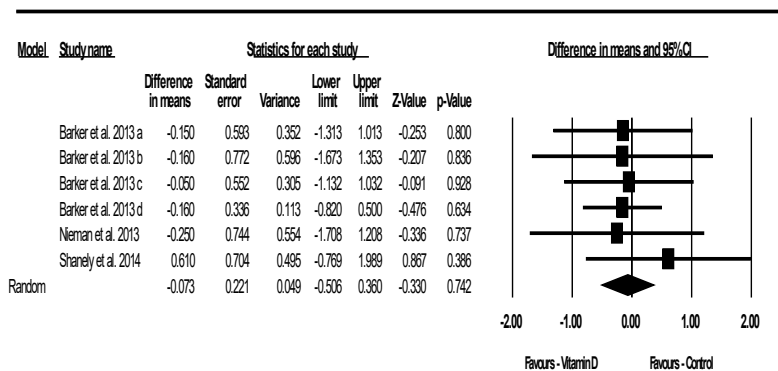
جدول ۲. ارزیابی کیفیت مطالعات

نویسندگان و سال انتشار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	جمع امتیاز
اشتری-لارکی ۲۰۲۰	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	۵
بارکر ۲۰۱۳	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	۸
کالوندی ۲۰۲۱	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	۸
ماستالی ۲۰۲۲	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	۷
نیمن ۲۰۱۳	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	۸
پیلچ ۲۰۲۰	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	۵
ساولاین ۲۰۲۱	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	۷
شنلی ۲۰۱۴	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	۸
استویانویچ ۲۰۲۲	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	۸
وکیلی ۲۰۲۰	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	۸
زبروسکا ۲۰۲۰	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	۸

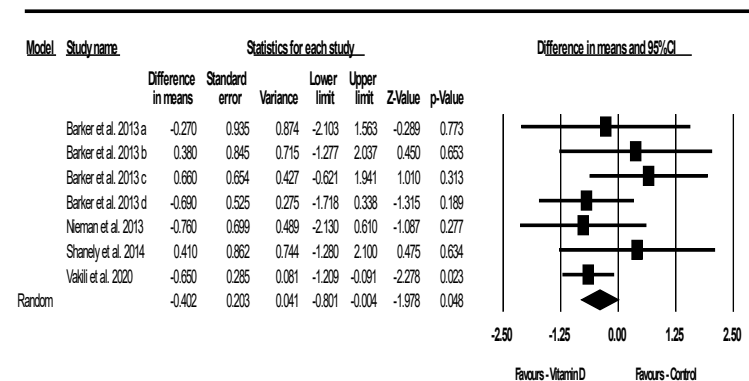


شکل ۱. فلوچارت PRISMA

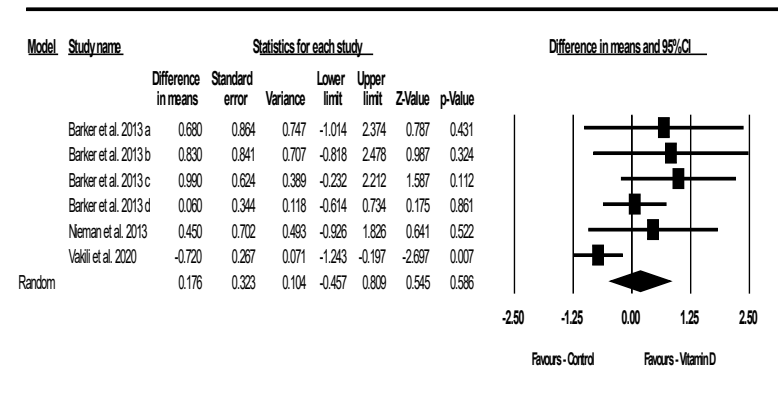
A



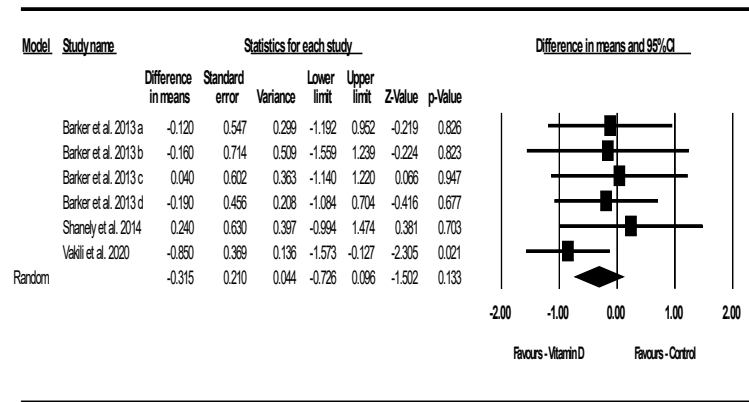
B



C

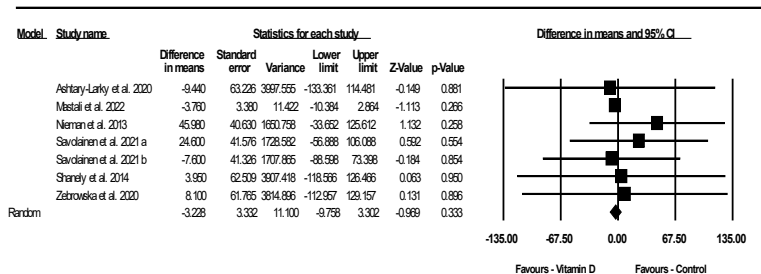


D

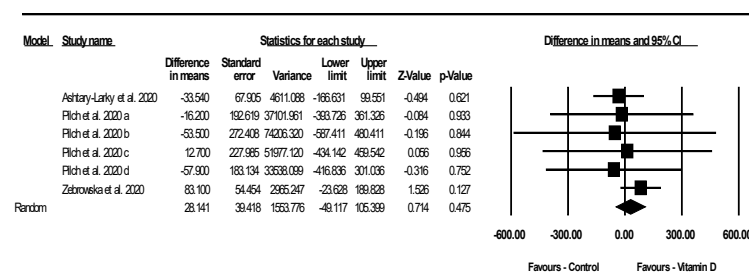


شکل ۲. نمودار فارست پلات (Forrest plot). اثر ویتامین D بر درد عضلانی پس از تمرین ورزشی. (A) زمان بلافاصله پس از تمرین، (B) زمان ۲۴ ساعت پس از تمرین، (C) زمان ۴۸ ساعت پس از تمرین و (D) زمان ۷۲ ساعت پس از تمرین

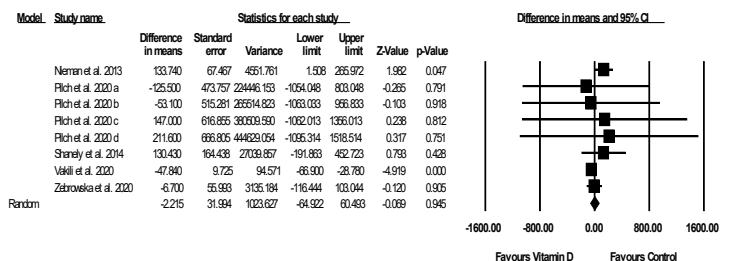
A



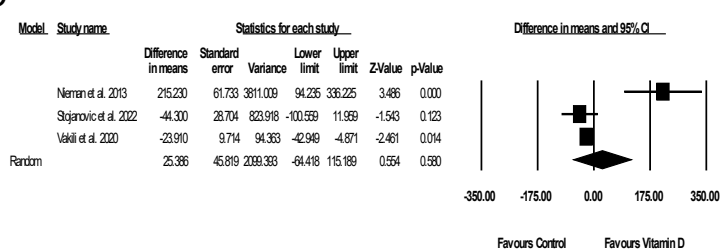
B



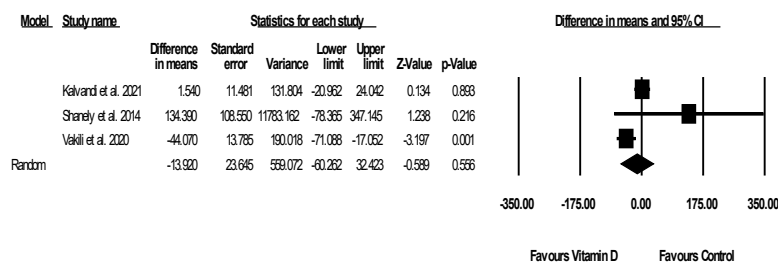
C



D

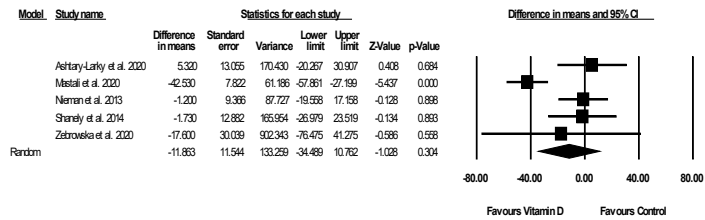


E

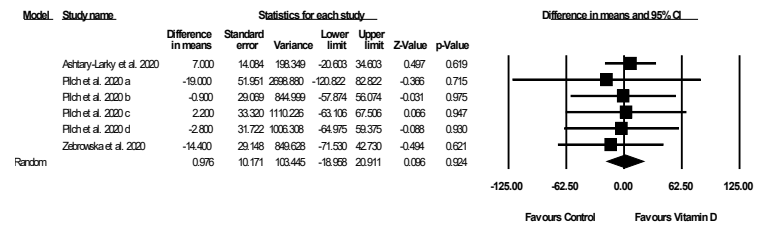


شکل ۳. نمودار فارست پلات (Forrest plot). اثر ویتامین D بر کراتینین کیناز پس از تمرین ورزشی. (A) زمان بلافاصله پس از تمرین، (B) زمان ۱-۲ ساعت پس از تمرین، (C) زمان ۲۴ ساعت پس از تمرین، (D) زمان ۴۸ ساعت پس از تمرین و (E) زمان ۷۲ ساعت پس از ورزش

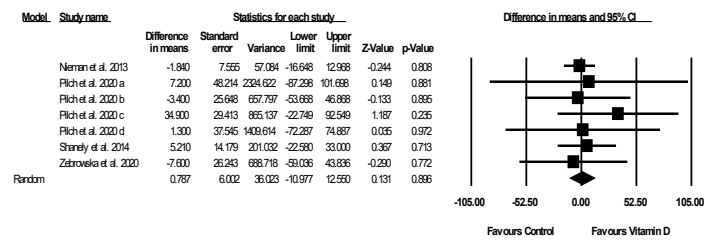
**A**



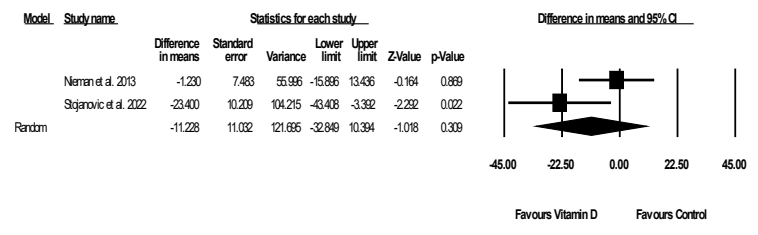
**B**



**C**

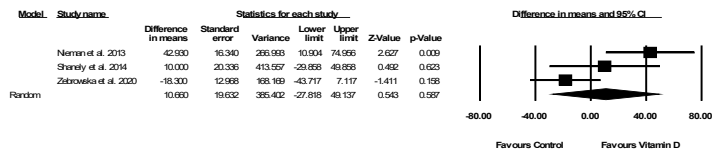


**D**

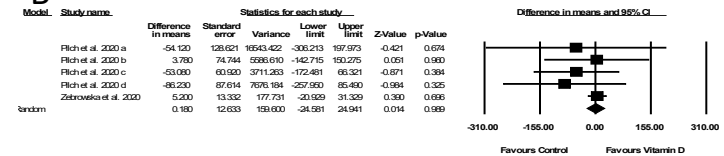


شکل ۴. نمودار فارست پلات (Forrest plot). اثر ویتامین D بر لاکتات دهیدروژناز پس از تمرین ورزشی. (A) زمان بلافاصله پس از تمرین، (B) زمان ۱-۲ ساعت پس از تمرین، (C) زمان ۲۴ ساعت پس از تمرین و (D) زمان ۴۸ ساعت پس از تمرین

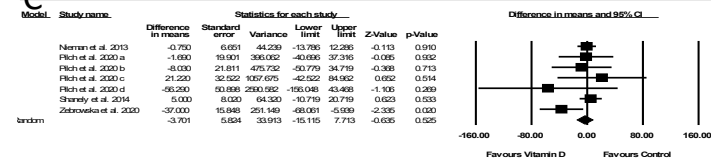
**A**



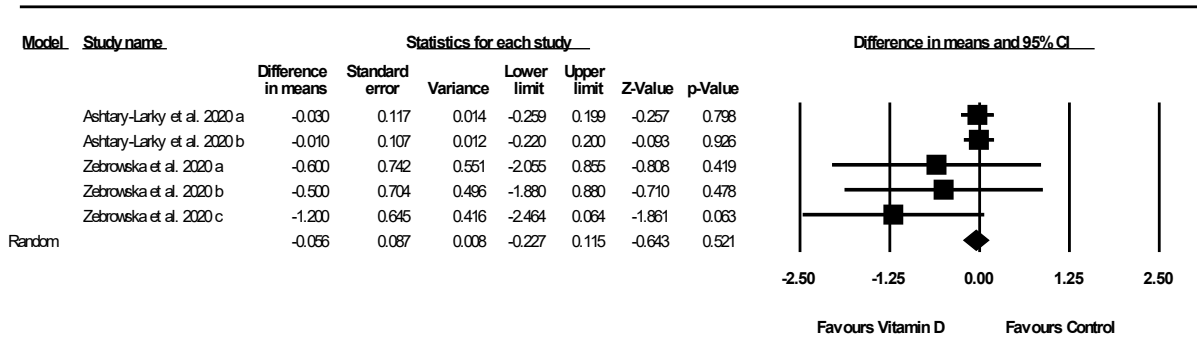
**B**



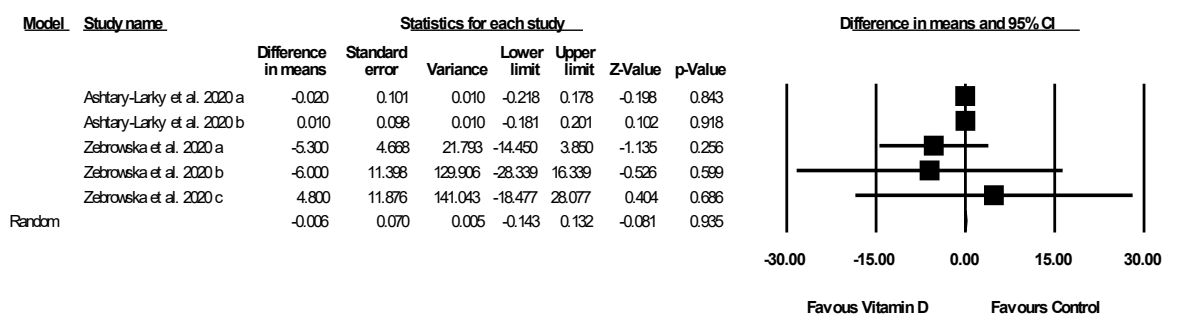
**C**



شکل ۵. نمودار فارست پلات (Forrest plot). اثر ویتامین D بر میوگلوبین پس از تمرین ورزشی. (A) زمان بلافاصله پس از تمرین، (B) زمان ۱-۲ ساعت پس از تمرین و (C) زمان ۲۴ ساعت پس از تمرین



شکل ۶. نمودار فارست پلات (Forrest plot). اثر ویتامین D بر IL-6 پس از تمرین ورزشی



شکل ۷. نمودار فارست پلات (Forrest plot). اثر ویتامین D بر TNF $\alpha$  پس از تمرین ورزشی

دارد [۵۱، ۶۵، ۶۶]. با این حال، تکرار یک مسابقه مشابه از تمرینات غیرعادی در یک هفته پس از تمرین اولیه نشان داده که عملکرد عضلانی را کاهش می‌دهد که ممکن است به ویژه بر عملکرد ورزشی در طول فصل مسابقه تأثیر بگذارد [۳۲، ۵۱]. با این همه، با توجه به تعداد کمی از مطالعات انجام شده و به دلیل اینکه همه مطالعات نتایج مثبتی به دست نیاوردند، مطالعات جدیدی برای تایید اثربخشی مکمل ویتامین D مورد نیاز است.

افزوده بر این، بیان شده که EIMD ناشی از اختلال در میوسیت‌های اسکلتی و متعاقب آن آزاد شدن پروتئین‌های عضلانی داخل سلولی در خون است و کراتین کیناز (کراتین کیناز)، میوگلوبین (میوگلوبین) و لاکتات دهیدروژناز (لاکتات دهیدروژناز) شاخص‌ترین نشانگرهای زیستی آسیب عضلانی هستند [۵۹]. مطالعات مختلف نشان داده که پس از ورزش شدید، تغییراتی در سطح سرمی آنزیم‌ها و ایزوآنزیم‌های عضلانی لاکتات دهیدروژناز و کراتین کیناز در ورزشکاران و افراد عادی مشاهده می‌شود [۵۰، ۶۷، ۶۸]. در این زمینه، یافته‌های مبهم در مورد تأثیر مکمل ویتامین D بر نشانگرهای گردشی آسیب عضلانی در ورزشکاران نیز گزارش شده است. در این راستا Zebrowska و همکاران، اثرات ۳ هفته‌ای مکمل ویتامین D3 بر سطوح سرمی همکاران، ۲۵ (OH) D و بیومارکرهای ماهیچه اسکلتی (مانند تروپونین، میوگلوبین، کراتین کیناز و لاکتیک دهیدروژناز) را بررسی نمودند

علاوه بر این، نویسندگان حتی تفاوتی بین گروه‌ها در سطوح سرمی ویتامین D پس از یک دوره مکمل‌سازی ۷ هفته‌ای پیدا نکردند. به نظر می‌رسد که مکمل ویتامین D با ۴۰۰۰ واحد بین المللی در روز یا بیشتر برای بیش از ۷ روز می‌تواند بهبود اقدامات عملکردی را تسریع کند و درد عضلانی را پس از EIMD کاهش دهد [۶۲]. یافته‌های اخیر نشان می‌دهد که مکمل ویتامین D3 آسیب عضلانی ناشی از ورزش را در موش‌ها کاهش می‌دهد [۵۰، ۶۳]. علاوه بر این، مکمل ویتامین D منجر به بهبود مقاومت و حساسیت به انسولین در جمعیت‌های مختلف شد [۵۰، ۶۴]. مکانیسم دقیق درد عضلانی تاخیری مشخص نیست. با این حال، چندین مطالعه نشان داده‌اند که برخی مکانیسم‌ها مانند التهاب و استرس اکسیداتیو ممکن است باعث ایجاد درد عضلانی تاخیری شوند [۵۱]. به لحاظ تئوریک، ویتامین D با فعال کردن گیرنده‌های درون سلولی، سنتز پروتئین سلول‌های عضلانی، ظرفیت فیزیکی، قدرت عضلانی، توده و استقامت را با حفظ سطح مناسب ATP افزایش داده و درد عضلانی تاخیری را کاهش می‌دهد [۵۷]. همچنین گزارش شده که از فیبرهای عضلانی نوع II (تند انقباض) محافظت می‌کند و زمان ریکاوری پس از ورزش را کوتاه می‌نماید [۵۷]. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که آسیب پروتئین‌های انقباضی ناشی از ورزش غیرعادی، هیپرتروفی فیبرهای عضلانی و در نتیجه افزایش تحمل در عضله را به دنبال

استخوان، عواقب کمبود ویتامین D نیز به صورت درد و ضعف عضلانی ظاهر می‌شود [۲۹] و همان‌طور که پیش‌تر بدان اشاره گردید در حالی که نقش ویتامین D در کاهش نشانگرهای آسیب عضلانی بررسی شده است، تعدادی از تحقیقات به نتایج موثر رسیده و تعدادی نیز خلاف آن را نشان دادند. بنابراین با توجه به سازوکار عمل و بررسی ادبیات می‌توان چنین بیان داشت که نقش ویتامین D به عنوان عاملی در کنترل و کاهش آسیب سلول‌های عضلانی ناشی از ورزش غیرعادی، تایید می‌شود اما این یافته قطعی نیست و نیاز به تفسیری احتیاط آمیز دارد.

بخش دیگر یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که ویتامین D منجر به تغییر معنادار  $TNF\alpha$  و  $IL-6$  نسبت به گروه کنترل نشد. نشان داده شده که در پاسخ به تمرین ورزشی مقاومتی، سطح کراتین کیناز (کراتین کیناز) افزایش می‌یابد و باعث آزادسازی سایتوکاین‌های التهابی مانند  $TNF\alpha$  و  $IL-1$  می‌شود و سطح پلاسمایی مایوکاین ضدالتهابی  $IL-6$  نیز در طی ورزش شدید یا طولانی مدت افزایش می‌یابد [۵۰]. مطابق با این یافته‌های ما، یک مداخله ۸ هفته‌ای تمرین هوازی همراه با مکمل ویتامین D در موش‌ها هیچ تغییری در سطوح سرمی  $IL-6$  و  $TNF\alpha$  ایجاد نکرد. اگرچه سایر اثرات ضد التهابی مانند کاهش فسفوریلاسیون مسیر پروتئین کیناز فعال شده با AMP (MAPK)، پروتئین‌ها ( $p38$ , AMPK)، پروتئین کینازهای ۱ و ۲ با سیگنال تنظیم شده خارج سلولی،  $I\kappa B$  و  $I\kappa B$  کیناز) و بیان  $IL6$  و  $TNF\alpha$  نشان داده شد [۶۳]. اشتراکی و همکاران تاثیر یک دوز تزریقی ویتامین D3 بر پاسخ‌های التهابی، عضلانی، متابولیک و قلبی عروقی به یک دوره تمرین مقاومتی حاد (RE) در مردان تمرین کرده مقاومتی با کمبود ویتامین D را بررسی نمودند و نشان دادند صرف‌نظر از سطح ویتامین D، یک جلسه RT می‌تواند سطح  $IL-6$  و نسبت  $IL-10$ :  $IL-6$  را افزایش دهد، اما سایر نشانگرهای التهابی بدون تغییر باقی می‌ماند [۵۰]. به طور کلی گفته می‌شود سطوح بهینه ویتامین D با کمک به حفظ سطوح کافی سایتوکاین‌های ضد التهابی مناسب (عمدتاً  $TNF\alpha$  و اینترلوکین-۱۰) و واکنش‌های التهابی را سرکوب می‌کند [۵۶]. علاوه بر این، ویتامین D با فعال کردن گیرنده‌های درون سلولی، محتوای پروتئین سلول‌ها، قدرت و استقامت عضلانی را افزایش می‌دهد (حفظ سطح ATP مناسب)، از تحلیل فیبرهای عضلانی محافظت کرده و شروع درد عضلانی و خستگی را به تأخیر می‌اندازد [۵۶]. سطح بهینه ویتامین D پلازما با کمک به حفظ سطوح مناسب سایتوکاین‌های ضد التهابی (عمدتاً  $TNF\alpha$  و اینترلوکین-۱۰) و در نتیجه سرکوب واکنش‌های التهابی از سیستم عضلانی در طول و بعد از فعالیت بدنی حمایت می‌کند [۵۷]. از سوی دیگر، نظر به اینکه تعداد مطالعات پژوهشی اولیه وارد شده در این فراتحلیل کم بود، نمی‌توان تفسیر دقیقی انجام داد و در مطالعات فراتحلیل آتی، با افزایش تعداد مطالعات اولیه پژوهشی دقیقتر باید بررسی شود.

و نشان دادند که مصرف مکمل ویتامین D در دوندگان تمرین کرده استقامتی تأثیر مثبت داشته و باعث کاهش قابل توجه سطح نشانگرهای زیستی پس از ورزش شد [۳۹]. همچنین Choi و همکاران، اثرات ویتامین D بر تغییرات عضلانی ناشی از ورزش در موش را بررسی نمودند و به این یافته رسیدند که ویتامین D ممکن است از طریق تعدیل MAPK و NF-kB درگیر با VDR، نقش اساسی در آسیب و التهاب عضلانی ناشی از ورزش داشته باشد. آنها نشان دادند فعالیت کراتین کیناز پلازما با درمان ویتامین D3 در گروه ورزش با شدت بالا به همراه ویتامین D در مقایسه با گروه ورزش با شدت بالا به طور قابل توجهی کاهش دارد اما فعالیت لاکتات دهیدروژناز اندکی کاهش یافته است [۶۳]. با این حال، مطالعات حیوانی اغلب پیش‌بینی‌کننده ضعیفی از پیامدهای انسانی هستند [۵۰]. در خلاف جهت‌های تحقیقات اشاره شده، بخش دیگر یافته‌های فراتحلیل حاضر نشان داد ویتامین D سبب تغییر معنادار نشانگرهای آسیب عضلانی کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز و میوگلوبین در هیچ‌یک از طیف‌های زمانی نسبت به گروه کنترل نمی‌گردد. گزارش شده که مکمل ویتامین D در موش‌های مبتلا به آسیب عضلانی ناشی از ورزش هوازی با شدت بالا که می‌تواند فعالیت کراتین کیناز را در مقایسه با گروه کنترل کاهش دهد و میزان آن از نظر آماری به سطحی مشابه با گروه بدون ورزش رسیده است. در توافق با یافته حاضر، می‌توان به فراتحلیل Bello و همکاران اشاره نمود که اثر قابل توجهی از ویتامین D بر سطوح لاکتات دهیدروژناز، کراتین کیناز و میوگلوبین پس از ورزش را گزارش نکردند [۵۹]. از دیدگاه نظری گفته می‌شود که ساختارهای عضلانی آسیب دیده (میوفیلامنت‌ها و سارکومرها) مقادیر زیادی از ترکیباتی مانند میوگلوبین، کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز لاکتات دهیدروژناز را به جریان خون ترشح می‌کنند. غلظت خونی این ترکیبات و همچنین زنجیره‌های سنگین میوزین (MHC)، پروتئین متصل به اسید چرب (H-FABP)، و تروپونین ایزوفرم I (sTnI)، به طور گسترده‌ای به عنوان شاخص آسیب عضله اسکلتی استفاده می‌شود [۵۷]. علاوه بر سلامت استخوان، عواقب کمبود ویتامین D نیز به صورت درد و ضعف عضلانی ظاهر می‌شود [۲۹]. علاوه بر این، انقباضات شدید عضلانی در طول ورزش ممکن است باعث آسیب مکانیکی عضلانی شود، که باعث آزاد شدن آنزیم‌های درون سلولی، از جمله کراتین کیناز (کراتین کیناز) و لاکتات دهیدروژناز (لاکتات دهیدروژناز) در گردش خون می‌شود [۲۹]. در مقابل ویتامین D گروهی از سکوستروئیدهای محلول در چربی است که مسئول افزایش جذب روده ای کلسیم، منیزیم و فسفات و چندین اثر بیولوژیکی دیگر مانند آنتی اکسیدان و ضد التهاب است [۵۳]. ویتامین D در بلوغ سلول‌های عضلانی، رشد، ترمیم و عملکرد میتوکندریایی نقش دارد و آسیب ماهیچه‌های اسکلتی ناشی از ورزش را کاهش می‌دهد [۳۸] و علاوه بر سلامت

## نتیجه گیری

**تشکر و قدردانی:** از همه اساتیدی که در غنای مطالب حاضر یاری رسان بودند، نهایت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

**نقش نویسندگان:** همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می‌پذیرند.

**تضاد منافع:** نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ گونه تضاد منافی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

## منابع

- Hyldahl RD, Hubal MJ. Lengthening our perspective: morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. *Muscle Nerve*. 2014;49(2):155-70. doi:10.1002/mus.24077
- Steinbacher P, Eckl P. Impact of oxidative stress on exercising skeletal muscle. *Biomolecules*. 2015; 5(2):356-77. doi:10.3390/biom5020356
- Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med*. 2011; 39(6):1226-32. doi:10.1177/0363546510395879
- Romagnoli M, Sanchis-Gomar F, Alis R, Riso-Ballester J, Bosio A, Graziani RL, Rampinini E. Changes in muscle damage, inflammation, and fatigue-related parameters in young elite soccer players after a match. *J Sports Med Phys Fitness*. 2016; 56(10): 1198-205.
- Deaton C, Marlin D. Exercise-associated oxidative stress. *Clinical Techniques in Equine Practice*. 2003;2:278-91 doi:10.1053/S1534-7516(03)00070-2
- He CS, Aw Yong XH, Walsh NP, Gleeson M. Is there an optimal vitamin D status for immunity in athletes and military personnel? *Exerc Immunol Rev*. 2016; 22: 42-64.
- Ogura S, Shimosawa T. Oxidative stress and organ damages. *Curr Hypertens Rep*. 2014; 16(8): 452. doi:10.1007/s11906-014-0452-x
- Brunnsgaard H, Galbo H, Halkjaer-Kristensen J, Johansen TL, MacLean DA, Pedersen BK. Exercise-induced increase in serum interleukin-6 in humans is related to muscle damage. *J Physiol*. 1997; 499 (Pt 3)(Pt 3):833-41 doi:10.1113/jphysiol.1997.sp021972
- Almekinders LC. Anti-inflammatory treatment of muscular injuries in sport. An update of recent studies. *Sports Med*. 1999; 28(6):383-8. doi:10.2165/00007256-199928060-00001
- Fernandes TL, Pedrinelli A, Hernandez AJ. muscle injury - physiopathology, diagnosis, treatment and clinical presentation. *Rev Bras Ortop*. 2011;46(3):247-55. doi:10.1590/S0102-36162011000300003
- Beck KL, Thomson JS, Swift RJ, von Hurst PR. Role of nutrition in performance enhancement and postexercise recovery. *Open Access J Sports Med*. 2015; 6: 259-67. doi:10.2147/OAJS.M.S33605
- Petersen AM, Pedersen BK. The anti-inflammatory effect of exercise. *J Appl Physiol* (1985). 2005; 98(4): 1154-62. doi:10.1152/jappphysiol.00164.2004
- Holick MF. Sunlight and vitamin D for bone health and prevention of autoimmune diseases, cancers, and cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr*. 2004; 80(6 Suppl): 1678s-88s. doi:10.1093/ajcn/80.6.1678S
- Bischoff-Ferrari HA. Relevance of vitamin D in muscle health. *Rev Endocr Metab Disord*. 2012; 13(1):71-7. doi:10.1007/s11154-011-9200-6
- Gordon PL, Sakkas GK, Doyle JW, Shubert T, Johansen KL. Relationship between vitamin D and muscle size and strength in patients on hemodialysis. *J Ren Nutr*. 2007;17(6):397-407. doi:10.1053/j.jrn.2007.06.001
- Jones G. Extrarenal vitamin D activation and interactions between vitamin D<sub>2</sub>, vitamin D<sub>3</sub>, and vitamin D analogs. *Annu Rev Nutr*. 2013;33:23-44. doi:10.1146/annurev-nutr-071812-161203
- Sato Y, Iwamoto J, Kanoko T, Satoh K. Low-dose vitamin D prevents muscular atrophy and reduces falls and hip fractures in women after stroke: a randomized controlled trial. *Cerebrovasc Dis*. 2005; 20(3): 187-92. doi:10.1159/000087203
- Todd JJ, Pourshahidi LK, McSorley EM, Madigan SM, Magee PJ. Vitamin D: recent advances and implications for athletes. *Sports Med*. 2015; 45(2): 213-29. doi:10.1007/s40279-014-0266-7
- Beaudart C, Buckinx F, Rabenda V, Gillain S, Cavalier E, Slomian J, et al. The effects of vitamin D on skeletal muscle strength, muscle mass, and muscle power: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Clin Endocrinol Metab*. 2014; 99(11): 4336-45. doi:10.1210/jc.2014-1742
- Bendik I, Friedel A, Roos FF, Weber P, Eggersdorfer M. Vitamin D: a critical and essential micronutrient for human health. *Front Physiol*. 2014; 5: 248. doi:10.3389/fphys.2014.00248
- Willis KS, Smith DT, Broughton KS, Larson-Meyer DE. Vitamin D status and biomarkers of inflammation in runners. *Open Access J Sports Med*. 2012; 3: 35-42. doi:10.2147/OAJS.M.S31022
- Barker T, Schneider ED, Dixon BM, Henriksen VT, Weaver LK. Supplemental vitamin D enhances the recovery in peak isometric force shortly after intense exercise. *Nutr Metab (Lond)*. 2013; 10(1): 69. doi:10.1186/1743-7075-10-69
- Garcia LA, King KK, Ferrini MG, Norris KC, Artaza JN. 1,25(OH)<sub>2</sub>vitamin D<sub>3</sub> stimulates myogenic differentiation by inhibiting cell proliferation and



- modulating the expression of promyogenic growth factors and myostatin in C2C12 skeletal muscle cells. *Endocrinology*. 2011; 152(8): 2976-86. doi:10.1210/en.2011-0159
24. Stratos I, Li Z, Herlyn P, Rotter R, Behrendt AK, Mittlmeier T, Vollmar B. Vitamin D increases cellular turnover and functionally restores the skeletal muscle after crush injury in rats. *Am J Pathol*. 2013; 182(3): 895-904. doi:10.1016/j.ajpath.2012.11.006
25. Holick MF, Binkley NC, Bischoff-Ferrari HA, Gordon CM, Hanley DA, Heaney RP, et al. Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: an Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab*. 2011; 96(7): 1911-30. doi:10.1210/jc.2011-0385
26. Ross AC, Manson JE, Abrams SA, Aloia JF, Brannon PM, Clinton SK, et al. The 2011 report on dietary reference intakes for calcium and vitamin D from the Institute of Medicine: what clinicians need to know. *J Clin Endocrinol Metab*. 2011; 96(1): 53-8. doi:10.1210/jc.2010-2704
27. de la Puente Yagüe M, Collado Yurrita L, Ciudad Cabañas MJ, Cuadrado Cenzual MA. Role of Vitamin D in Athletes and Their Performance: Current Concepts and New Trends. *Nutrients*. 2020; 12(2). doi:10.3390/nu12020579
28. Shuler FD, Wingate MK, Moore GH, Giangarra C. Sports health benefits of vitamin d. *Sports Health*. 2012; 4(6): 496-501. doi:10.1177/1941738112461621
29. Stojanović E, Jakovljević V, Scanlan AT, Dalbo VJ, Radovanović D. Vitamin D3 supplementation reduces serum markers of bone resorption and muscle damage in female basketball players with vitamin D inadequacy. *Eur J Sport Sci*. 2022; 22(10): 1532-42. doi:10.1080/17461391.2021.1953153
30. Brancaccio P, Lippi G, Maffulli N. Biochemical markers of muscular damage. *Clin Chem Lab Med*. 2010; 48(6): 757-67. doi:10.1515/CCLM.2010.179
31. Fernandez-Gonzalo R, Lundberg TR, Alvarez-Alvarez L, de Paz JA. Muscle damage responses and adaptations to eccentric-overload resistance exercise in men and women. *Eur J Appl Physiol*. 2014; 114(5): 1075-84. doi:10.1007/s00421-014-2836-7
32. Hody S, Croisier JL, Bury T, Rogister B, Leprince P. Eccentric Muscle Contractions: Risks and Benefits. *Front Physiol*. 2019; 10: 536. doi:10.3389/fphys.2019.00536
33. Ohlendieck K. Proteomic identification of biomarkers of skeletal muscle disorders. *Biomark Med*. 2013; 7(1): 169-86. doi:10.2217/bmm.12.96
34. Barker T, Martins TB, Hill HR, Kjeldsberg CR, Dixon BM, Schneider ED, et al. Vitamin D sufficiency associates with an increase in anti-inflammatory cytokines after intense exercise in humans. *Cytokine*. 2014; 65(2): 134-7. doi:10.1016/j.cyto.2013.12.004
35. Barker T, Martins TB, Hill HR, Kjeldsberg CR, Henriksen VT, Dixon BM, et al. Different doses of supplemental vitamin D maintain interleukin-5 without altering skeletal muscle strength: a randomized, double-blind, placebo-controlled study in vitamin D sufficient adults. *Nutr Metab (Lond)*. 2012; 9(1): 16. doi:10.1186/1743-7075-9-16
36. Han Q, Li X, Tan Q, Shao J, Yi M. Effects of vitamin D3 supplementation on serum 25(OH)D concentration and strength in athletes: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Int Soc Sports Nutr*. 2019; 16(1): 55. doi:10.1186/s12970-019-0323-6
37. Nieman DC, Gillitt ND, Shanelly RA, Dew D, Meaney MP, Luo B. Vitamin D2 supplementation amplifies eccentric exercise-induced muscle damage in NASCAR pit crew athletes. *Nutrients*. 2013; 6(1): 63-75. doi:10.3390/nu6010063
38. Shanelly RA, Nieman DC, Knab AM, Gillitt ND, Meaney MP, Jin F, et al. Influence of vitamin D mushroom powder supplementation on exercise-induced muscle damage in vitamin D insufficient high school athletes. *J Sports Sci*. 2014; 32(7): 670-9. doi:10.1080/02640414.2013.847279
39. Żebrowska A, Sadowska-Krępa E, Stanula A, Waśkiewicz Z, Łakomy O, Bezuglov E, et al. The effect of vitamin D supplementation on serum total 25(OH) levels and biochemical markers of skeletal muscles in runners. *J Int Soc Sports Nutr*. 2020; 17(1): 18. doi:10.1186/s12970-020-00347-8
40. Mateen S, Moin S, Shahzad S, Khan AQ. Level of inflammatory cytokines in rheumatoid arthritis patients: Correlation with 25-hydroxy vitamin D and reactive oxygen species. *PLoS One*. 2017; 12(6): e0178879. doi:10.1371/journal.pone.0178879
41. McCarthy EK, Kiely M. Vitamin D and muscle strength throughout the life course: a review of epidemiological and intervention studies. *J Hum Nutr Diet*. 2015; 28(6): 636-45. doi:10.1111/jhn.12268
42. Wimalawansa SJ. Non-musculoskeletal benefits of vitamin D. *J Steroid Biochem Mol Biol*. 2018; 175: 60-81. doi:10.1016/j.jsbmb.2016.09.016
43. Iolascon G, Moretti A, Paoletta M, Liguori S, Di Munno O. Muscle Regeneration and Function in Sports: A Focus on Vitamin D. *Medicina (Kaunas)*. 2021; 57(10). doi:10.3390/medicina57101015
44. Bello HJ, Caballero-García A, Pérez-Valdecantos D, Roche E, Noriega DC, Córdova-Martínez A. Effects of Vitamin D in Post-Exercise Muscle Recovery. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. 2021; 13(11). doi:10.3390/nu13114013
45. De Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Aust J Physiother*. 2009; 55(2): 129-33. doi:10.1016/S0004-9514(09)70043-1
46. Higgins JP, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ* 2003; 327(7414): 557-60. doi:10.1136/bmj.327.7414.557
47. Kazemi Nesab F, Zafarmand O. Comparison of the effects of high-intensity intermittent training and moderate-intensity continuous training on cardiometabolic factors in type 2 diabetic patients: a systematic review and meta-analysis. *Feyz Med Sci J*. 2024; 28(1): 96-109.
48. Egger M, Smith GD, Schneider M, Minder C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ*. 1997; 315(7109): 629-34. doi:10.1136/bmj.315.7109.629
49. Kazeminasab F, Sharafifard F, Miraghajani M, Behzadnejad N, Rosenkranz SK. The effects of exercise training on insulin resistance in children and adolescents with overweight or obesity: a systematic review and meta-analysis. *Front Endocrinol*. 2023; 14: 1178376. doi:10.3389/fendo.2023.1178376
50. Ashtary-Larky D, Kheirollah A, Bagheri R, Ghaffari MA, Mard SA, Hashemi SJ, et al. A single injection of vitamin D3 improves insulin sensitivity and  $\beta$ -cell function but not muscle damage or the inflammatory and cardiovascular responses to an acute bout of resistance exercise in vitamin D-deficient resistance-

- trained males. *British J Nutr.* 2020;123(4):394-401. doi:10.1017/S0007114519002770
51. Vakili S, Ghasemi F, Rahmati-Ahmadabad S, Amini H, Iraj R, Seifbarghi T, et al. Effects of vibration therapy and vitamin D supplement on eccentric exercise-induced delayed onset muscle soreness in female students. *Comp Exerc Physiol.* 2020; 16(4): 267-75. doi:10.3920/CEP190062
52. Barker T, Schneider ED, Dixon BM, Henriksen VT, Weaver LK. Supplemental vitamin D enhances the recovery in peak isometric force shortly after intense exercise. *Nutr Metab.* 2013; 10(1): 1-10. doi:10.1186/1743-7075-10-69
53. Kalvandi F, Azarbayjani MA, Azizbeigi R, Azizbeigi K. Elastic resistance training is more effective than vitamin D3 supplementation in reducing oxidative stress and strengthen antioxidant enzymes in healthy men. *Eur J Clin Nutr.* 2022; 76(4): 610-5. doi:10.1038/s41430-021-01000-6
54. Savolainen L, Timpmann S, Mooses M, Mäestu E, Medijainen L, Tõnutare L, et al. Vitamin D supplementation does not enhance resistance training-induced gains in muscle strength and lean body mass in vitamin D deficient young men. *Eur J Appl Physiol.* 2021; 121: 2077-90. doi:10.1007/s00421-021-04674-9
55. Shanely RA, Nieman DC, Knab AM, Gillitt ND, Meaney MP, Jin F, et al. Influence of vitamin D mushroom powder supplementation on exercise-induced muscle damage in vitamin D insufficient high school athletes. *J Sports Sci.* 2014;32(7):670-9. doi:10.1080/02640414.2013.847279
56. Mastali VP, Hoseini R, Azizi M. The short-term effect of vitamin D supplementation on the response to muscle and liver damages indices by exhaustive aerobic exercise in untrained men: a quasi-experimental study. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2022; 14(1):1-7. doi:10.1186/s13102-022-00398-1
57. Pilch W, Kita B, Piotrowska A, Tota Ł, Maciejczyk M, Czerwińska-Ledwig O, et al. The effect of vitamin D supplementation on the muscle damage after eccentric exercise in young men: a randomized, control trial. *J Int Society Sports Nutr.* 2020;17(1):53. doi:10.1186/s12970-020-00386-1
58. Żebrowska A, Sadowska-Krępa E, Stanula A, Waśkiewicz Z, Łakomy O, Bezuglov E, et al. The effect of vitamin D supplementation on serum total 25 (OH) levels and biochemical markers of skeletal muscles in runners. *J Int Society Sports Nutr.* 2020;17(1):18. doi:10.1186/s12970-020-00347-8
59. Bello HJ, Caballero-García A, Pérez-Valdecantos D, Roche E, Noriega DC, Córdova-Martínez A. Effects of vitamin D in post-exercise muscle recovery. A systematic review and meta-analysis. *Nutrients.* 2021;13(11):4013. doi:10.3390/nu13114013
60. Barker T, Schneider ED, Dixon BM, Henriksen VT, Weaver LK. Supplemental vitamin D enhances the recovery in peak isometric force shortly after intense exercise. *Nutr Metab.* 2013; 10: 1-10. doi:10.1186/1743-7075-10-69
61. Abdeen HAA, Rodriguez-Sanz D, Ewidea M, Al-Hamaky DMA, Mohamed MAE-R, Elerian AE. Efficacy of Vitamin D supplementation in addition to aerobic exercise training in obese women with perceived myalgia: a single-blinded randomized controlled clinical trial. *Nutrients.* 2021; 13(6):1819. doi:10.3390/nu13061819
62. Rojano-Ortega D, Berral-de la Rosa FJ. Effects of vitamin D supplementation on muscle function and recovery after exercise-induced muscle damage: A systematic review. *J Hum Nutr Diet.* 2023; 36(3):1068-78. doi:10.1111/jhn.13084
63. Choi M, Park H, Cho S, Lee M. Vitamin D3 supplementation modulates inflammatory responses from the muscle damage induced by high-intensity exercise in SD rats. *Cytokine.* 2013; 63(1):27-35. doi:10.1016/j.cyto.2013.03.018
64. Houmard JA, Tanner CJ, Slentz CA, Duscha BD, McCartney JS, Kraus WE. Effect of the volume and intensity of exercise training on insulin sensitivity. *J Appl Physiol.* 2004;96(1):101-6. doi:10.1152/jappphysiol.00707.2003
65. Friden J, Lieber RL. Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. *Acta Physiol Scand.* 2001;171(3):321-6. doi:10.1046/j.1365-201x.2001.00834.x
66. Langley B, Thomas M, Bishop A, Sharma M, Gilmour S, Kambadur R. Myostatin inhibits myoblast differentiation by down-regulating MyoD expression. *J Biological Chem.* 2002; 277(51) : 49831-40. doi:10.1074/jbc.M204291200
67. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British medical bulletin* 2007; 81(1):209-30. doi:10.1093/bmb/ldm014
68. Priest JB, Oei TO, Moorehead WR. Exercise-induced changes in common laboratory tests. *Am J Clin Pathol.* 1982; 77(3):285-9. doi:10.1093/ajcp/77.3.285

**How to Cite this Article:**

Kazeminasab F, Bahrami Kerchi A, Sharafifard F, Hasanpour N. The effect of vitamin D supplementation on muscle soreness and recovery after exercise: A systematic review and meta-analysis. *Feyz Med Sci J* 2024; 28 (4) :429-446. doi: 10.48307/FMSJ.2024.28.4.429