Journal of Sport and Exercise Physiology
2026, 19(3)

Original Article

The effect of eight weeks of aerobic exercise and vitamin D intake on lipid profile and body composition in children with type 1 diabetes

Maryam Shirmasti[1], Worya Tahmasebi[1], Mohammad Azizi[1], Mahmoud Ghasemi[2]

1. Faculty of Sport Science, Department of Exercise Physiology, Razi University, Kermanshah, Iran

2. Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran.

Abstract

Background and Purpose: Type 1 diabetes (T1D) is a chronic metabolic disorder that may be associated with adverse alterations in body composition and lipid profile. Regular physical activity and vitamin D supplementation are among the interventions that may positively influence metabolic parameters and body composition in individuals with T1D. This study aimed to investigate the effects of eight weeks of aerobic exercise and vitamin D supplementation on body composition indices and lipid profile in children with type 1 diabetes.

Materials and Methods: This randomized controlled clinical trial was conducted among 48 children with type 1 diabetes residing in Kermanshah, aged 9–11 years. Participants were randomly assigned to four groups (n=12 per group): aerobic exercise combined with vitamin D supplementation (VitD+T), vitamin D supplementation alone (VitD), aerobic exercise combined with placebo (P+T), and placebo (P). The vitamin D groups received one capsule containing 1,000 IU of vitamin D daily for eight weeks. The exercise groups participated in moderate-intensity aerobic exercise three sessions per week during the same period. Body composition indices and lipid profile parameters were assessed before and after the intervention using standardized methods and instruments. Data were analyzed using IBM SPSS Statistics version 22, and a significance level of 0.05 was considered.

Results: No significant between-group differences were observed in total cholesterol, triglycerides, or HDL-C (P=0.132, P=0.425, and P=0.157, respectively). In contrast, a significant between-group difference was observed in changes in LDL-C (P=0.004). Mean LDL-C decreased from 68.42 to 61.42 mg/dL in the VitD+T group, from 60.25 to 57.17 mg/dL in the VitD group, and from 61.75 to 59.08 mg/dL in the P+T group, whereas it increased from 42.33 to 49.42 mg/dL in the placebo group. Post hoc comparisons also indicated significant differences in LDL-C between the intervention groups and the placebo group (P<0.05). Moreover, a significant difference was observed between the VitD and VitD+T groups (P=0.003). Regarding body composition, only the time × group interaction for body fat percentage was statistically significant. Within-group analyses demonstrated a significant reduction in body fat percentage in both the VitD+T and P+T groups (P<0.05).

Conclusion: The findings indicate that eight weeks of moderate-intensity aerobic exercise combined with daily vitamin D supplementation may improve selected lipid profile parameters and body composition indices in children with type 1 diabetes and vitamin D deficiency. In particular, the combined intervention was associated with a reduction in LDL-C and body fat percentage. Therefore, integrating regular physical activity with vitamin D supplementation may be considered a complementary approach to supporting metabolic health in children with type 1 diabetes.

Keywords: Type 1 Diabetes, Vitamin D Supplementation, Aerobic Exercise, Lipid Profile, Body Composition

How to cite this article: Shirmasti, M., Tahmasebi, W., Azizi, M., Ghasemi, M. The effect of eight weeks of aerobic exercise and vitamin D intake on lipid profile and body composition in children with type 1 diabetes. J Sport Exerc Physiol. 2026;19(3):?-?.
*Corresponding Author's E-mail: W.tahmasebi@razi.mail.ir

https://doi.org/ 10.48308/joeppa.2026.243912.1476

Received: 00/00/2025 Revised: 00/00/2025 Accepted: 00/00/2025

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نسخه پیش انتشار

نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی

۱۴۰۵، دورهٔ ۱۹، شمارهٔ ۳، صفحه‌های ؟-؟

مقالهٔ پژوهشی

تأثیر هشت هفته تمرین هوازی و مصرف ویتامین D بر نیم رخ لیپیدی و ترکیب بدن در کودکان مبتلا به دیابت نوع ۱

مریم شیرمستی[۱]، وریا طهماسبی[۱]، محمد عزیزی[۱]، محمود قاسمی[۲]

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲. دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه،کرمانشاه، ایران

چکیده

زمینه و هدف: دیابت نوع ۱ (T1D) یک اختلال متابولیک مزمن است که می‌تواند با تغییرات نامطلوب در ترکیب بدن و نیم‌رخ لیپیدی همراه باشد. فعالیت بدنی منظم و مکمل‌یاری ویتامین D از جمله مداخلاتی هستند که ممکن است بر شاخص‌های متابولیک و ترکیب بدن این بیماران تأثیرگذار باشند. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر هشت هفته تمرین هوازی و مکمل‌یاری ویتامین D بر شاخص‌های ترکیب بدنی و نیم‌رخ لیپیدی کودکان مبتلا به دیابت نوع ۱ انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش یک کارآزمایی بالینی تصادفی‌شده بود که بر روی ۴۸ کودک مبتلا T1D، ساکن شهر کرمانشاه، در دامنه سنی ۹ تا ۱۱ سال، انجام شد. شرکت‌کنندگان به‌صورت تصادفی در چهار گروه ۱۲ نفره شامل گروه تمرین هوازی همراه با ویتامین D (VitD+T)، گروه ویتامین D (VitD) ، گروه تمرین هوازی همراه با دارونما (P+T) و گروه دارونما (P) قرار گرفتند. گروه‌های دریافت‌کننده ویتامین D به مدت هشت هفته، روزانه یک کپسول حاوی ۱۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D دریافت کردند. گروه‌های تمرینی نیز طی همین دوره، سه جلسه در هفته تمرین هوازی با شدت متوسط انجام دادند. شاخص‌های ترکیب بدنی و نیم‌رخ لیپیدی در پیش‌آزمون و پس‌آزمون، با استفاده از روش‌ها و ابزارهای استاندارد اندازه‌گیری شدند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statisticsنسخه ۲۲ تحلیل شدند و سطح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج: نتایج مقایسه چهار گروه نشان داد که در کلسترول تام، تری‌گلیسرید و HDL-C تفاوت معناداری بین گروه‌ها مشاهده نشد (به‌ترتیب P=۰/۱۳۲، P=۰/۴۲۵، و P=۰/۱۵۷). در مقابل، تغییرات LDL-C بین چهار گروه معنادار بود (P=۰/۰۰۴). میانگین LDL-C در گروه VitD+Tاز ۶۸/۴۲ به ۶۱/۴۲ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر، در گروه VitD از ۶۰/۲۵ به ۵۷/۱۷ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر و در گروه P+T از ۶۱/۷۵ به ۵۹/۰۸ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر کاهش یافت؛ در حالی که در گروه دارونما از ۴۲/۳۳ به ۴۹/۴۲ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر افزایش یافت. همچنین، نتایج مقایسه‌های پس‌آزمون نشان داد که میزان LDL-C در گروه‌های مداخله با گروه دارونما تفاوت معناداری داشت (P<۰/۰۵). علاوه بر این، بین دو گروه VitD و VitD+T نیز تفاوت معناداری در LDL-C مشاهده شد (P<۰/۰۵). در شاخص‌های ترکیب بدنی، تنها اثر متقابل زمان × گروه برای درصد چربی بدن معنادار بود و درصد چربی بدن در گروه‌های VitD+T و P+T در مقایسه درون‌گروهی کاهش معناداری نشان داد (P<۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان داد که هشت هفته تمرین هوازی با شدت متوسط و مکمل‌یاری روزانه ویتامین D، به‌ویژه در ترکیب با یکدیگر، می‌تواند با بهبود برخی شاخص‌های نیم‌رخ لیپیدی و ترکیب بدنی در کودکان مبتلا به دیابت نوع ۱ و دارای کمبود ویتامین D همراه باشد. به‌طور مشخص، مداخله ترکیبی با کاهش LDL-C و درصد چربی بدن همراه بود. بنابراین، ترکیب فعالیت بدنی منظم و مکمل‌یاری ویتامین D می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد مکمل در راستای حمایت از سلامت متابولیک کودکان مبتلا به دیابت نوع ۱ مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: دیابت نوع ۱، مکمل‌یاری ویتامین -D ، تمرینات هوازی، نیم رخ لیپیدی، ترکیب بدنی

نحوه استناد به این مقاله: شیرمستی م، طهماسبی و، عزیزی م، محمودی ق. تأثیر هشت هفته تمرین هوازی و مصرف ویتامین D بر نیم رخ لیپیدی و ترکیب بدن در کودکان مبتلا به دیابت نوع ۱. نشریه فیزیولوژی ورزشی و فعالیت بدنی. ۱۴۰۵: ۱۹ (۳): ۳-؟.

*رایانامه نویسنده مسئول : W.tahmasebi@razi.mail.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۰/۰۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۰/۰۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۰/۰۰

مقدمه

دیابت شیرین نوع یک (T1DM) به عنوان یک اختلال متابولیک مزمن ناشی از تخریب خودایمنی سلول‌های بتا، یکی از چالش‌برانگیزترین بیماری‌های دوران کودکی است که مستلزم مدیریت دقیق برای پیشگیری از عوارض ثانویه است (۱, ۲). علی‌رغم پیشرفت‌های نوین در کنترل گلیسمیک، کودکان مبتلا به T1DM به دلیل تغییرات ناشی از فقدان انسولین اندوژن و درمان‌های جایگزین، همچنان در معرض خطر بالای دیس‌لیپیدمی و تغییرات نامطلوب در ترکیب بدنی قرار دارند که این عوامل، پیش‌درآمدی بر آترواسکلروز زودرس و نارسایی‌های قلبی-عروقی در بزرگسالی محسوب می‌شوند (۳-۵).

کودکان و نوجوانان مبتلا به دیابت نوع ۱ در مقایسه با همسالان سالم، فعالیت بدنی کمتری دارند، کم‌تحرک‌تر و نشسته‌تر هستند و همچنین آمادگی قلبی‌تنفسی پایین‌تری دارند (۶). بر اساس داده‌های تجمیع‌شده، میزان فعالیت بدنی متوسط تا شدید روزانه کمتر، زمان نشستن بیشتر، و احتمال رسیدن به توصیه‌های بین‌المللی فعالیت بدنی نیز پایین‌تر بود (۷). این یافته‌ها نشان می‌دهد که بی‌تحرکی یک مشکل مهم در جمعیت جوان مبتلا به T1DM است و می‌تواند پیامدهای منفی متابولیک و جسمانی به همراه داشته باشد (۶, ۷). اختلال در نیمرخ لیپیدی، شامل سطوح بالای لیپوپروتئین با چگالی کم (LDL-C) و تری‌گلیسرید(TG) ، به همراه افزایش توده چربی بدن، در جمعیت کودکان مبتلا به T1DM گزارش شده است(۸). این وضعیت با مکانیسم‌های پیچیده‌ای از جمله افزایش لیپولیز و تغییر در فعالیت آنزیم‌های لیپاز لیپوپروتئینی مرتبط است که در نهایت منجر به پیش‌روی اختلالات قلبی-عروقی می‌شود (۹). از سوی دیگر، تحقیقات اپیدمیولوژیک نشان داده‌اند که کودکان مبتلا به T1DM با نرخ بالاتری از کمبود ویتامین D مواجه هستند (۱۰). ویتامین D نه تنها در متابولیسم کلسیم، بلکه به عنوان یک تعدیل‌کننده ایمنی و متابولیک عمل کرده و با تأثیر بر مسیرهای PPAR-γ ، می‌تواند فرآیندهای لیپوژنز و التهاب سیستمیک را تحت تأثیر قرار دهد (۱۱).

در رویکردهای غیردارویی، تمرینات هوازی به‌عنوان یک مداخله استاندارد برای ارتقای سلامت قلبی-متابولیک در بیماران دیابتی شناخته می‌شوند. سازوکارهای فیزیولوژیک تمرینات هوازی، از جمله افزایش بیان پروتئین‌های حامل گلوکز (GLUT-4) و بهبود اکسیداسیون اسیدهای چرب، نقش بسزایی در اصلاح نیمرخ لیپیدی و بهینه‌سازی ترکیب بدنی (کاهش توده چربی احشایی و حفظ توده بدون چربی) ایفا می‌کنند (۵, ۱۲, ۱۳). با این وجود، شواهدی وجود دارد که پاسخ‌های متابولیک به تمرین ممکن است تحت تأثیر وضعیت ویتامین Dقرار گیرد؛ به نحوی که کمبود این ویتامین می‌تواند مانع از بهره‌مندی کامل از مزایای فیزیولوژیک فعالیت بدنی گردد (۱۴, ۱۵).

اگرچه تأثیرات مثبت تمرینات هوازی و مکمل‌یاری ویتامین D به‌صورت مستقل بر سلامت متابولیک اثبات شده است (۲)، اما «شکاف پژوهشی قابل‌توجهی در زمینه اثرات تعاملی این دو مداخله بر شاخص‌های نیمرخ لیپیدی و ترکیب بدنی در کودکان مبتلا به T1DM وجود دارد. اکثر مطالعات پیشین یا بر مداخلات تغذیه‌ای متمرکز بوده‌اند یا تأثیر تمرینات را بدون در نظر گرفتن وضعیت ویتامین D

ارزیابی کرده‌اند. این در حالی است که تبیین اثرات هم‌افزای ترکیب مداخله تمرینی و مکمل‌یاری ویتامین D می‌تواند به تدوین پروتکل‌های بهینه‌سازی شده در مدیریت عوارض متابولیک T1DM کمک شایانی نماید.

با توجه به ضرورت کاهش ریسک‌های قلبی-عروقی در کودکان مبتلا به T1DM، مطالعه حاضر با هدف پاسخ به این پرسش کلیدی طراحی شده است که آیا هشت هفته تمرین هوازی هم‌زمان با مکمل‌یاری ویتامین D، تأثیر بیشتری بر شاخص‌های لیپیدی و ترکیب بدنی نسبت به هر یک از مداخلات به‌تنهایی دارد؟ یافته‌های حاصل از این پژوهش احتمالا می‌تواند با ارائه شواهد بالینی، مسیرهای جدیدی را برای مداخلات حمایتی در کودکان مبتلا به این بیماری مزمن هموار سازد.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: شرکت کنندگان در پژوهش حاضر شامل ۴۸ نفر دختر و پسر دارای دیابت نوع یک با دامنه سنی ۱۱-۹ سال شهر کرمانشاه بودند، که نمونه‌ها به‌صورت هدفمند از میان مراجعین به بیمارستان دکتر محمد کرمانشاهی انتخاب شدند. معیارهای ورود به مطالعه شامل تمایل کودک و والدین به شرکت در پژوهش و ارائه رضایت آگاهانه، سطح ویتامین D کمتر یا مساوی ۳۰ نانومول بر لیتر، تشخیص قطعی دیابت نوع ۱ بر اساس نظر پزشک و مدارک پزشکی، نداشتن سابقه بیماری‌های قلبی‌عروقی یا سایر بیماری‌ها، و نداشتن فعالیت بدنی منظم بود. مشخصات عمومی، سوابق بیماری همه آزمودنی‌ها از طریق پرسشنامه جمع آوری شد. تمامی آزمودنی‌ها در یک جلسه توجیهی همراه والدین شرکت کرده و چگونگی انجام کار برای آنها توضیح داده شد و رضایت‌نامه کتبی جهت شرکت در پژوهش از آنها و والدین اخذ گردید. لازم به ذکر است معیارهای خروج از مطالعه شامل عدم تمایل شرکت‌کننده به ادامه همکاری، نقص در داده‌های ضروری جهت تحلیل‌های آماری، عدم مشارکت منظم در جلسات تمرینی (حداقل دو جلسه متوالی) و همچنین فراموشی یا عدم مصرف منظم مکمل ویتامین D بود. در صورت بروز هریک از این موارد، نمونه از فرآیند پژوهش کنار گذاشته شد.

روش اجرای پژوهش: پس از غربالگری نهایی، نمونه‌ها با استفاده از وب‌سایت www.randomization.com و با بهره‌گیری از روش بلوک‌بندی تصادفی، در چهار گروه مداخله‌ای قرار گرفتند: ۱) گروه تمرینات هوازی و مکمل ویتامین (VitD+T)، ۲) گروه مکمل ویتامین D به‌تنهایی (VitD)، ۳) گروه تمرینات هوازی و دارونما (T+P) ، و ۴) گروه کنترل (P) که تنها دارونما دریافت کردند. استفاده از دارونما در گروه کنترل با هدف حفظ کورسازی مطالعه، کاهش اثر انتظار شرکت‌کنندگان و کنترل سوگیری احتمالی ناشی از دریافت مکمل طراحی شد؛ بنابراین گروه کنترل نیز همانند سایر گروه‌ها از نظر نحوه دریافت کپسول شرایط یکسانی داشت و تنها ماده مؤثره ویتامین D در دارونما وجود نداشت. به‌منظور کاهش اثر عوامل مخدوش‌کننده، از تمامی شرکت‌کنندگان و والدین آنان درخواست شد در طول هشت هفته مطالعه، الگوی معمول تغذیه، میزان فعالیت‌های روزمره خارج از برنامه تمرینی و برنامه درمانی شامل دوز انسولین تجویزشده را بدون تغییر حفظ کنند. همچنین مصرف هرگونه مکمل غذایی یا داروی جدید که می‌توانست بر متغیرهای مورد بررسی اثر بگذارد، در طول دوره مطالعه ممنوع بود. جزئیات پژوهش و روند اجرای آن در کمیته اخلاق پژوهش دانشگاه رازی کرمانشاه با کد IR.RAZI.REC.1402.067 تصویب شد.

روش‌های آزمایشگاهی:

پروتکل تمرینات هوازی

برنامه تمرین هوازی به مدت ۸ هفته و با تواتر سه جلسه در هفته اجرا شد. هر جلسه تمرینی حدود ۴۰ دقیقه به طول انجامید و شامل سه بخش گرم کردن، تمرین اصلی و سرد کردن بود. بخش گرم کردن به مدت ۵ دقیقه شامل راه رفتن آرام، دویدن سبک، حرکات کششی پویا و حرکات نرمشی اندام‌های فوقانی و تحتانی بود تا آمادگی لازم برای فعالیت اصلی ایجاد شود (۱۶).

بخش اصلی تمرین به مدت ۳۰ دقیقه انجام شد و شامل دویدن آرام، راه رفتن سریع، بازی‌های حرکتی، عبور از موانع کوتاه، حرکات پرشی سبک و فعالیت‌های هوازی متناسب با سن کودکان بود. شدت تمرین در محدوده ۶۰ تا ۷۰ درصد حداکثر ضربان قلب (تقریباً ۱۳۰ تا ۱۶۰ ضربه در دقیقه) حفظ شد. علاوه بر این، شدت فعالیت با استفاده از معیار کمکی مقیاس درک فشار بورگ (۱۲ تا ۱۴) نیز به‌طور مستمر کنترل شد تا همه آزمودنی‌ها در شدت هدف فعالیت کنند (۱۷). مدت زمان تمرین اصلی بر اساس دستورالعمل‌های فعالیت بدنی کودکان و نوجوانان مبتلا به دیابت نوع یک و با در نظر گرفتن شرایط سنی، وضعیت متابولیک و ملاحظات ایمنی شرکت‌کنندگان انتخاب شد. هدف از انتخاب ۳۰ دقیقه فعالیت هوازی با شدت متوسط، ایجاد محرک تمرینی مؤثر همراه با کاهش احتمال بروز هیپوگلیسمی، خستگی مفرط و کاهش پایبندی به برنامه تمرینی بود. این مدت زمان با توصیه‌های معتبر بین‌المللی برای کودکان مبتلا به دیابت نوع یک همخوانی دارد.

به‌منظور ایجاد اصل اضافه‌بار، حجم و پیچیدگی فعالیت‌ها در طول دوره به‌صورت تدریجی افزایش یافت؛ به‌گونه‌ای که در هفته‌های ابتدایی تأکید بر سازگاری اولیه با فعالیت هوازی بود و در هفته‌های پایانی زمان دویدن پیوسته، تعداد تکرار بازی‌های حرکتی و میزان فعالیت هوازی افزایش یافت، در حالی که شدت تمرین در محدوده تعیین‌شده حفظ گردید.

بخش سرد کردن نیز به مدت ۵ دقیقه شامل راه رفتن آرام، تمرینات تنفسی و حرکات کششی ایستا برای عضلات اصلی اندام فوقانی و تحتانی بود تا بازگشت تدریجی دستگاه قلبی ـ عروقی و عضلانی به شرایط استراحت تسهیل شود.

تمامی جلسات تمرینی زیر نظر پژوهشگر و مربی دارای مدرک تخصصی فیزیولوژی ورزشی برگزار شد و پیش از شروع هر جلسه، وضعیت عمومی، قند خون و آمادگی شرکت‌کنندگان بررسی گردید. همچنین در صورت مشاهده علائم هیپوگلیسمی، خستگی شدید یا هرگونه مشکل پزشکی، ادامه تمرین متوقف و اقدامات لازم مطابق دستورالعمل‌های مراقبتی انجام می‌شد.

پروتکل مکمل‌یاری ویتامین D

مکمل مورد استفاده در این پژوهش، کپسول‌های ۱۰۰۰ واحد ویتامین D3 تولید شرکت داروسازی «هلث اید» (Health Aid) بود که دارای مجوز سازمان غذا و دارو به شماره ثبت ۱۷۶۷۷۴۳۸۴۰۸۴۸۰۱۶ می‌باشد. پروتکل مصرف به این صورت تنظیم شد که شرکت‌کنندگان در گروه‌های «تمرین + مکمل» و «مکمل تنها»، روزانه یک عدد کپسول را بلافاصله پس از صرف صبحانه مصرف نمودند. جهت حفظ کورسازی و به حداقل رساندن سوگیری، در گروه‌های کنترل و تمرینِ بدون مکمل، از کپسول‌های دارونما استفاده شد. این دارونماها از پوکه‌های تولید شرکت تولید ژلاتین کپسول ایران تهیه شده و با ۱۰۰۰ میلی‌گرم آرد نشاسته پر گردیدند تا از نظر شکل، رنگ و ویژگی‌های ظاهری، کاملاً مشابه کپسول‌های ویتامین D3 باشند.

جمع‌آوری داده‌ها و متغیرهای پژوهش

به منظور بررسی دقیق وضعیت آنتروپومتریک و تغییرات بافت‌های بدن، شاخص‌های کلیدی شامل درصد چربی بدن، توده بدون چربی (LBM) و شاخص توده بدنی (BMI) مورد سنجش قرار گرفتند. تمامی اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه تحلیل ترکیب بدنی مبتنی بر روش بیوالکتریک امپدانس (Zeus 9.9 ساخت کره جنوبی) انجام شد. جهت حذف خطاهای احتمالی ناشی از تغییرات هیدراتاسیون (آب بدن) و توزیع مایعات، پروتکل اندازه‌گیری به صورت کاملاً استاندارد شده و در شرایط ناشتایی مطلق و در اولین ساعات صبح، پیش از انجام هرگونه فعالیت بدنی یا مصرف مواد غذایی، اجرا گردید.

جهت تعیین تغییرات متابولیک در سیستم چربی خون، نمونه‌های خون وریدی از آزمودنی ها جمع‌آوری شد. نمونه‌گیری‌ها تحت شرایط ناشتایی کامل به مدت حداقل ۱۲ ساعت انجام گرفت تا اثرات پس‌خوردی غذا بر نتایج حذف گردد. فرآیند نمونه‌گیری در دو مقطع زمانی اجرا شد: ۱) مرحله پایه پیش از شروع دوره مداخله، و ۲) مرحله ارزیابی نهایی (۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی پروتکل)؛

این فاصله زمانی (۴۸ ساعت) جهت اطمینان از حذف اثرات گذرا و حاد تمرین بر پارامترهای خونی لحاظ گردید. نمونه‌های جمع‌آوری شده در لوله‌های حاوی آنتی‌کوآگولانت مناسب، سانتریفیوژ شده و جهت اندازه‌گیری غلظت کلسترول تام (TC)، تری‌گلیسرید (TG)، لیپوپروتئین با چگالی بالا (HDL-C) و لیپوپروتئین با چگالی کم (LDL-C) به آزمایشگاه مرجع بیمارستان محمد کرمانشاهی ارسال و با روش‌های استاندارد بیوشیمیایی آنالیز شدند.

تحلیل آماری: ابتدا توزیع طبیعی داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو–ویلک بررسی شد. همچنین همگنی واریانس‌ها با آزمون لون و همگنی ماتریس کوواریانس با آزمون باکس ارزیابی گردید. پس از تأیید پیش‌فرض‌های لازم، برای بررسی اثر زمان (پیش‌آزمون و پس‌آزمون)، اثر گروه (چهار گروه پژوهش) و اثر متقابل زمان × گروه از تحلیل واریانس آمیخته با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد. در مواردی که اثر متقابل یا اثر اصلی گروه معنادار بود، مقایسه‌های زوجی با استفاده از آزمون تعقیبی بونفرونی انجام شد. همچنین برای بررسی تغییرات درون‌گروهی از آزمون t زوجی استفاده گردید. تمامی تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۹ انجام شد و سطح معنی‌داری آزمون‌ها ۰/۰۵> Pدر نظر گرفته شد.

نتایج

یافته‌های مربوط به فراوانی، میانگین، انحراف استاندارد و مشخصات (سن، قد، وزن و نمایه توده بدن) در جدول ۱ ارائه شده است. برای مقادیر پیش آزمون نشانگرهای موجود با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه در جدول ۱ نشان داده شد که تفاوت معناداری بین گروه‌ها برای همه متغیرهای اندازه گیری شده وجود ندارد.

جدول ۱. متغیرهای داده های دموگرافیک و ترکیب بدنی آزمودنی‌ها

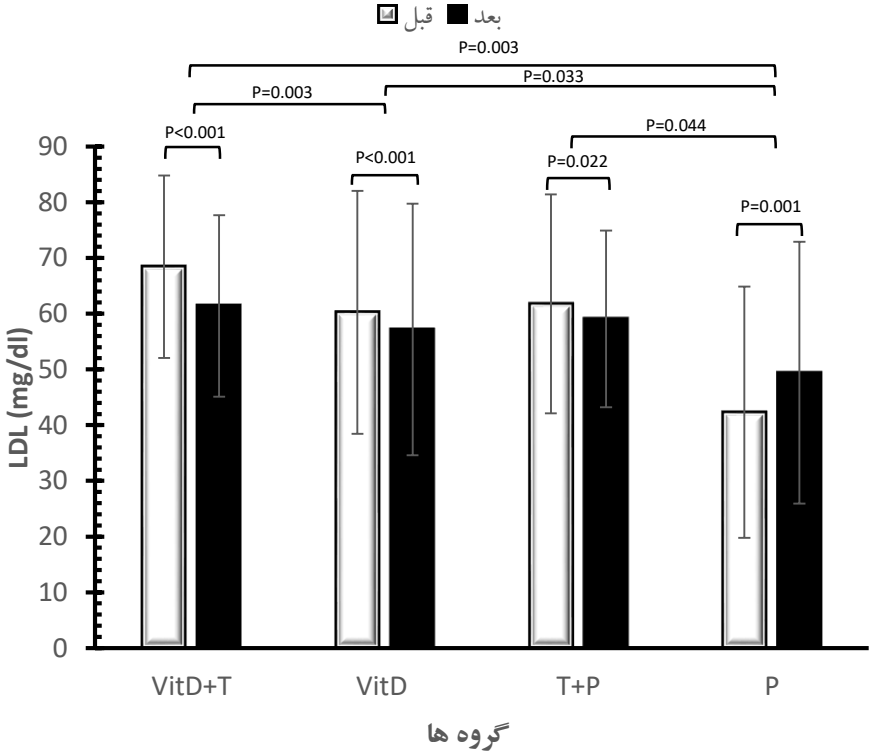
متغیر	گروه‌ها	زمان اندازه‌گیری		P درون گروهی	F	P بین گروهی
		پیش آزمون	پس آزمون			
قد (سانتی متر)	VitD+T	۱۴۲/۴±۶/۵	۱۴۴/۴±۹/۹	۰/۰۸۵	۰/۶۵۲	۰/۶۵۷
	VitD	۱۳۹/۳±۴/۸	۱۴۰/۴±۷/۹	۰/۱۷۹		
	P+T	۱۴۱/۳±۶/۸	۱۴۱/۸±۸/۳	۰/۵۴۸		
	P	۱۴۲/۹±۷/۷	۱۴۳/۵±۵/۲	۰/۰۷۸		
نمایه توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	VitD+T	۱۶/۸±۳/۱	۱۶/۱±۴/۲	۰/۰۸۶	۰/۴۶۷	۰/۸۳۶
	VitD	۱۵/۹±۵/۲	۱۵/۱±۴/۵	۰/۱۲۴		
	P+T	۱۶/۷±۴/۳	۱۶/۲±۴/۷	۰/۲۸۳		
	P	۱۶/۳±۷/۱	۱۷/۱±۲/۶	۰/۲۷۸		
درصدچربی بدن (درصد)	VitD+T	۱۷/۸±۸/۱	۱۶/۶±۶/۹	**۰/۰۴۱	۲/۵۴۲	*۰/۰۳۲
	VitD	۱۶/۷±۵/۵	۱۶/۱±۷/۱	۰/۰۵۸		
	P+T	۱۷/۳±۶/۴	۱۶/۸±۹/۹	**۰/۰۴۳		
	P	۱۷/۲±۶/۷	۱۷/۴±۳/۶	۰/۲۶۳		
توده بدون چربی (کیلوگرم)	VitD+T	۲۸/۲±۴/۱	۲۷/۶±۸/۵	۰/۰۷۹	۰/۴۶۷	۰/۸۳۶
	VitD	۲۵/۳±۵/۵	۲۴/۵±۵/۸	۰/۱۲۴		
	P+T	۲۷/۷±۶/۴	۲۶/۶±۴/۸	۰/۲۸۳		
	P	۲۵/۴±۳/۹	۲۵/۳±۴/۹	۰/۲۷۸		
کلسترول (میلی گرم بر دسی لیتر)	VitD+T	۱۹۴/۴±۳۴/۲	۱۷۹/۹±۲۷/۵	۰/۱۱۰	۱/۹۸	۰/۱۳۲
	VitD	۱۹۴/۹±۴۵/۵	۱۹۱/۵±۳۹/۵	۰/۴۴۲		
	P+T	۱۸۶/۳±۲۱/۶	۱۶۹/۹±۱۴/۸	۰/۰۰۵		

	P	۲۰۳/۸±۳۱/۵	۲۰۲/۱±۲۴/۰	۰/۸۴۸		
تری گلیسرید (میلی گرم بر دسی لیتر)	VitD+T	۱۶۲/۶±۵۲/۷	۱۴۴/۸±۴۹/۷	۰/۱۷۹	۰/۸۴۴	۰/۴۷۷
	VitD	۲۱۶/۷±۵۴/۷	۲۱۷/۳±۵۱/۳	۰/۹۱۷		
	P+T	۱۹۱/۲±۵۹/۸	۱۸۵/۵±۵۲/۲	۰/۳۳۳		
	P	۲۵۵/۳±۶۳/۱	۲۴۸/۸±۵۰/۳	۰/۴۳۷		
HDL (میلی گرم بر دسی لیتر)	VitD+T	۴۶/۱±۸/۲	۴۸/۰±۶/۲	۰/۲۸۶	۱/۸۲۰	۰/۱۵۷
	VitD	۴۵/۶±۷/۷	۴۴/۷±۷/۹	۰/۵۸۳		
	P+T	۴۴/۵±۶/۹	۴۹/۲±۶/۷	۰/۰۱۲		
	P	۴۳/۳±۸/۴	۴۴/۳±۶/۵	۰/۶۲۳		

*نشانگر تفاوت معنادار تغییرات قبل و بعد در چهار گروه، ** نشانگر تفاوت معنادار قبل و بعد در درون گروه ها

نتایج بررسی داده های ترکیب بدنی در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج تحلیل واریانس نشان داد که از میان شاخص‌های ترکیب بدن، تنها درصد چربی بدن دارای اثر متقابل زمان × گروه معنی‌دار بود (P<0.05). همچنین مقایسه‌های درون‌گروهی نشان داد که کاهش درصد چربی بدن در گروه‌های تمرین + ویتامین D و تمرین + دارونما از نظر آماری معنی‌دار بود (P<۰/۰۵).

نتایج تحلیل آماری برای تغییرات متغیرهای نیم رخ لیپیدی نشان داد که تفاوت معناداری در متغیرهای کلسترول (P=۰/۱۳۲ و $F_{3,47}$=۱/۹۸)، TG (P=۰/۴۷۷ و $F_{3,47}$=۰/۸۴۴) و HDL (P=۰/۱۵۷ و $F_{3,47}$=۱/۸۲۰) بین چهار گروه وجود ندارد. اما در بررسی نتایج سطح سرمی LDL در چهار گروه نشان داد که تغییرات آن در قبل و بعد از هشت هفته تمرین معنادار است (P=۰/۰۰۴ و $F_{3,47}$=۵/۰۷۲). نتایج آزمون تعقیبی بانفرونی نشان داد بین سه گروه مداخله و دارونما از نظر سطوح سرمی LDL تفاوت معناداری وجود دارد (P<۰/۰۵) و تغییرات دو گروه VitD و VitD+T نسب به هم معنادار بود (P=۰/۰۰۳). بنابراین با توجه به اینکه نتایج آزمون نشان داد که تغییرات LDL در میان گروه های مداخله در پس‌آزمون در هر سه گروه مداخله نسبت به گروه دارونما کاهش یافته است، همچنین دو گروه VitD و VitD+T نسب به هم معنادار نشان دادند. می‌توان ادعا نمود که در چارچوب محدودیت‌های طرح آزمایشی، هشت هفته تمرینات هوازی در کنار مصرف ویتامین D بیشترین اثر را در مقایسه با اعمال هر یک از این مداخلات بصورت مجزا داشته است (شکل ۱).



شکل ۱. داده های (میانگین ±انحراف استاندار) LDL در گروه های تمرین+مکمل، تمرین، مکمل و کنترل پیش و پس از ۸ هفته تمرین ترکیبی. دو به دو تفاوت های معنادار با عدد معناداری در نمودار مشخص شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج ما کاهش معنادار درصد چربی بدن را در گروه‌های «تمرین + مکمل» و «تمرین + دارونما» تأیید کرد. این یافته احتمالا همسو با مبانی فیزیولوژیک تمرینات هوازی است که از طریق افزایش مصرف انرژی و فعال‌سازی آنزیم‌های اکسیداسیون چربی، منجر به کاهش توده چربی می‌شود. نکته حائز اهمیت، تأثیر مکمل ویتامین D در کنار تمرین است. مکانیسم احتمالی این هم‌افزایی را می‌توان در نقش ویتامین D بر متابولیسم کلسیم دانست؛ سطوح بهینه ویتامین D با کاهش سطح هورمون پاراتیروئید (PTH)، از تجمع کلسیم درون‌سلولی در آدیپوسیت‌ها جلوگیری کرده و بدین ترتیب لیپولیز را تسهیل می‌کند. در کودکان مبتلا به دیابت نوع ۱ که ممکن است به دلیل بیماری، مستعد تغییرات نامطلوب ترکیب بدنی باشند، این مداخله می‌تواند یک استراتژی مدیریت وزن مؤثر باشد.

در رابطه با شاخص های نیم رخ لیپیدی در مطالعه حاضر نشان داد که تمرین هوازی و مصرف ویتامین D هرکدام چه بصورت مجزا و چه جداگانه با میزان اثر گذاری کم تا متوسط در مقایسه با مصرف دارونما و داشتن شیوه زندگی غیر فعال نتوانست موجب بهبود معنادار شاخص های نیم رخ لیپیدی شود (۱۱). اما این اثر در رابطه با LDL قابل توجه بود و سایر شاخص ها در مقایسه بین گروهی تغییرات معناداری را نشان ندادند. به نظر می رسد نیم رخ لیپیدی با توجه به درصد چربی و ترکیب بدنی آزمودنی ها تحقیق حاضر و نیز ملاحظات تغذیه ای در زندگی روزمره افراد کمتر دستخوش تغییر بوده و با توجه به اینکه شاخص های نیم رخ لیپیدی در محدوده نرمال هستند تمرین و ویتامین D نتوانسته در مدت کوتاه ۸ هفته تغییر معنادار و قابل توجهی ایجاد نماید. نتایج حاصل از مطالعات عمدتاً کوچک و کنترل نشده که اثرات تمرینات هوازی منظم را بر نیم رخ لیپیدی در افراد مبتلا به دیابت نوع ۱ آزمایش می‌کنند، متغیر بوده است. اثرات مثبت ورزش منظم بر متابولیسم لیپید و گلوکز به‌ویژه در دیابت نوع ۲ اولیه و در سایر جمعیت‌هایی که تظاهرات سندرم متابولیک دارند، حداقل زمانی که کاهش وزن رخ می‌دهد، کاملاً به خوبی ثبت شده است (۱۳, ۱۸). مدت مداخله در پژوهش حاضر بر اساس مطالعات پیشین و توصیه‌های مربوط به فعالیت بدنی کودکان مبتلا به دیابت نوع یک انتخاب شد. شواهد موجود نشان می‌دهد که اجرای برنامه‌های تمرین هوازی با شدت متوسط به مدت ۸ تا ۱۲ هفته می‌تواند موجب بهبود ترکیب بدن، افزایش آمادگی قلبی‌تنفسی و بهبود برخی شاخص‌های متابولیک شود. با این حال، پاسخ متغیرهای بیوشیمیایی به مداخله ورزشی یکسان نیست و برخی شاخص‌ها، به‌ویژه HDL و تری‌گلیسرید، معمولاً برای بروز تغییرات پایدار به دوره‌های تمرینی طولانی‌تر یا حجم تمرین بیشتر نیاز دارند. بنابراین، مشاهده کاهش معنی‌دار LDL و درصد چربی بدن همراه با عدم تغییر معنی‌دار سایر شاخص‌های لیپیدی در پژوهش حاضر با شواهد علمی موجود همخوانی دارد و می‌تواند ناشی از تفاوت در سرعت پاسخ فیزیولوژیک این متغیرها به تمرین باشد. اگرچه برخی مطالعات از برنامه‌های تمرینی طولانی‌تر (۱۲ تا ۱۶ هفته) استفاده کرده‌اند، اما شواهد نشان می‌دهد که حتی مداخلات ۸ هفته‌ای نیز می‌توانند موجب بهبود شاخص‌های منتخب متابولیک و ترکیب بدن شوند. از سوی دیگر، در کودکان مبتلا به دیابت نوع یک، افزایش بیش از حد مدت فعالیت بدنی ممکن است خطر بروز هیپوگلیسمی، خستگی و کاهش همکاری آزمودنی‌ها را افزایش دهد. بنابراین، طراحی برنامه حاضر تلاشی برای ایجاد تعادل میان اثربخشی مداخله، ایمنی شرکت‌کنندگان و امکان اجرای منظم برنامه تمرینی بوده است.

سندرم متابولیک با هیپرانسولینمی و مقاومت به انسولین، چاقی شکمی، سطوح پایین HDL و تری گلیسیرید بالا و اختلال در متابولیسم گلوکز مشخص می شود (۱۹). با این حال، پاتوفیزیولوژی دیابت نوع ۱ با دیابت نوع ۲ بسیار متفاوت است و با انسولینوپنی شدید مشخص می شود که برای بقا نیاز به تجویز انسولین خارجی دارد (۴). بر خلاف دیابت نوع ۲، بیماران دیابت نوع ۱ متوسط یا خوب کنترل شده، عموماً وزن طبیعی دارند و اغلب دارای سطوح لیپید و لیپوپروتئین طبیعی هستند (اما متابولیسم چربی غیرطبیعی، زیرا متابولیسم گلوکز و لیپید کاملاً ادغام شده و توسط انسولین تنظیم می شود (۴, ۲۰). به این دلایل، نتایج مطالعات مداخله ورزشی در دیابت نوع ۲ یا افراد

غیر دیابتی را نمی توان به دیابت نوع ۱ تعمیم داد. در یک مطالعه کوچک کنترل شده اما تصادفی نشده، جاروین و همکاران (۱۹۸۴) همچنین افزایش هایی در نسبت HDL به کلسترول کل، بدون تغییرات قابل توجه در HDL یا کلسترول تام، BMI، یا کنترل قند خون پس از ۶ هفته ورزش دوچرخه سواری ارگومتر به مدت ۶۰ دقیقه و ۴ روز هفته-۱ مشاهده شد، تغییر نسبی بین گروه های تمرین کرده و کنترل تفاوت معنی داری نداشت. با این حال، احتمالاً به دلیل حجم مطالعه بسیار کوچک و مدت کوتاه تمرین است (۲۱). در یک مطالعه بسیار جالب اما کنترل نشده که تأثیر ۳ ماه ورزش منظم را در ۲۰ مرد و زن ۲۲ تا ۴۸ ساله مبتلا به دیابت نوع ۱ بررسی می‌کند، $\dot{V}O2$ اوج تنها ۶ درصد افزایش یافته است، اما LDL ۱۴ درصد کاهش و HDL۱۰ درصد افزایش با کاهش وزن همزمان و کاهش درصد چربی بدن یافته است (۲۲). مکانیسم هایی که توسط آن ورزش ممکن است تغییرات مطلوبی در متابولیسم لیپوپروتئین و لیپید ایجاد کند، حتی در غیاب کاهش وزن، شامل افزایش فعالیت لیپوپروتئین لیپاز عضلات اسکلتی و کاهش فعالیت لیپاز تری گلیسیرید کبدی است (۲۳, ۲۴). علاوه بر این، ورزش منظم بدنی ممکن است با کاهش غلظت یا فعالیت پروتئین کلسترول استر ترانسفراز (۲۵) و افزایش لسیتین: فعالیت آسیل کلسترول ترانسفراز (۲۶)، ترجیحاً افزایش سطح HDL، بر انتقال معکوس کلسترول تأثیر مطلوبی بگذارد (۲۷). به نظر می رسد مدت زمان و شده فعالیت تمرینی در پژوهش حاضر در کنار مصرف روزانه ویتامین D برای اثر مثبت بر سطوح سرمی HDL کودکان مبتلا T1DM پژوهش حاضر کافی نبوده باشد. در کودکان مبتلا به T1DM، متابولیسم لیپیدها به‌شدت تحت تأثیر کنترل گلایسمیک (سطح HbA1c) قرار دارد؛ بنابراین، ممکن است تغییرات سایر پارامترهای لیپیدی نیازمند دوره زمانی طولانی‌تری برای تمرینات، یا مداخله همزمان برای بهبود دقیق‌ترِ کنترل قند خون باشد. علاوه بر این، سطح پایه لیپیدها در بسیاری از کودکان شرکت‌کننده در محدوده نرمال بوده که خود می‌تواند عاملی برای عدم تغییر معنادار (اثر سقف) باشد. مکانیسم کاهش LDL در اثر مداخلات ترکیبی را می‌توان به افزایش بیان گیرنده‌های LDL در کبد و تسهیل برداشت کلسترول از گردش خون نسبت داد. تمرینات هوازی با بهبود حساسیت به انسولین و کاهش استرس اکسیداتیو، مسیرهای تولید و انتقال لیپوپروتئین‌های با چگالی کم را تعدیل می‌کنند (۲۸).

پژوهش حاضر با برخی محدودیت‌ها همراه بود. نمونه‌گیری خون تنها در دو مرحله، پیش و پس از مداخله، انجام شد و امکان بررسی روند تغییرات شاخص‌های خونی در طول دوره وجود نداشت. همچنین، دوز و زمان مصرف انسولین به‌صورت دقیق پایش نشد که می‌تواند بر برخی متغیرهای متابولیک تأثیرگذار باشد. از دیگر محدودیت‌ها، عدم ثبت دقیق دریافت غذایی روزانه و عدم امکان کنترل کامل رژیم غذایی شرکت‌کنندگان بود؛ بنابراین، تفاوت‌های فردی در دریافت انرژی و درشت‌مغذی‌ها ممکن است بر نتایج تأثیر گذاشته باشد. همچنین، آمادگی هوازی شرکت‌کنندگان ارزیابی نشد؛ زیرا انجام آزمون‌های بیشینه در افراد مبتلا به دیابت نوع ۱ به دلیل نوسانات قند خون و احتمال بروز عوارض حین ورزش شدید با محدودیت‌های ایمنی همراه است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، ضمن کنترل دقیق مصرف انسولین و دریافت غذایی، نمونه‌گیری در چند مرحله انجام شده و آمادگی هوازی با استفاده از پروتکل‌های ایمن و استاندارد ارزیابی شود.

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب تمرین هوازی با مکمل‌یاری ویتامین D می‌تواند نسبت به هر یک از این مداخلات به‌تنهایی اثر مطلوب‌تری بر برخی شاخص‌های متابولیک کودکان مبتلا به دیابت نوع یک داشته باشد. با این حال، به دلیل محدود بودن مدت مداخله، حجم نمونه و عدم کنترل کامل رژیم غذایی، تعمیم نتایج باید با احتیاط انجام شود. انجام مطالعات چندمرکزی با حجم نمونه بیشتر، دوره‌های مداخله طولانی‌تر و ارزیابی شاخص‌هایی نظیرHbA1c ، مقاومت به انسولین و نشانگرهای التهابی می‌تواند شواهد دقیق‌تری در این زمینه فراهم کند. به طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که برنامه تمرین هوازی (صرف‌نظر از مکمل‌یاری) ابزار قدرتمندی برای مدیریت چربی بدن در کودکان مبتلا به دیابت نوع ۱ است. اگرچه تأثیر بر تمامی پارامترهای لیپیدی مشاهده نشد، اما بهبود معنادار LDL نشان‌دهنده پتانسیل مداخلات ورزشی در کاهش عوامل خطر قلبی-عروقی در این گروه خاص از بیماران است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، تأثیر دوزهای بالاتر ویتامین D یا دوره‌های زمانی طولانی‌تر برای ارزیابی اثرات پایدارتر بر نیم رخ لیپیدی مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همه عزیزانی که ما را در اجرای این پژوهش یاری کرده‌اند کمال تشکر و سپاسگزاری را داریم.

نسخه پیش انتشار

حمایت مالی

این پژوهش بدون هیچگونه حمایت مالی سازمان یا موسسه ای انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور مساوی در طراحی، اجرا، تحلیل داده ها و نوشتن مقاله مشارکت داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می کنند که هیچ گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

منابع

1. Lőrincz CE, Börzsei D, Hoffmann A, Varga C, Szabó R. Mechanisms and target parameters in relation to polycystic ovary syndrome and physical exercise: focus on the master triad of hormonal changes, oxidative stress, and inflammation. Biomedicines. 2024;12(3):560.
2. Salarinia M, Azizi M, Tahmasebi W, Khalvandi H. Effect of 8 weeks of vitamin d supplementation and water-based exercise on cardiometabolic profile in women with type 2 diabetes. 2021.
3. Zhang J, Xiao Y, Hu J, Liu S, Zhou Z, Xie L. Lipid metabolism in type 1 diabetes mellitus: Pathogenetic and therapeutic implications. Frontiers in Immunology. 2022;13:999108.
4. Apostolopoulou M, Lambadiari V, Roden M, Dimitriadis GD. Insulin resistance in type 1 diabetes: pathophysiological, clinical, and therapeutic relevance. Endocrine Reviews. 2025;46(3):317–48.
5. Moradi N, Azizi M, Niromand E, Tahmasebi W. The effect of combined training with quinoa seed supplementation on total antioxidant capacity, HbA1c, lipid profile, and blood pressure in women with type 2 diabetes. Sport Sciences for Health. 2025;21(1):111–21.
6. Huerta-Uribe N, Hormazábal-Aguayo IA, Izquierdo M, García-Hermoso A. Youth with type 1 diabetes mellitus are more inactive and sedentary than apparently healthy peers: A systematic review and meta-analysis. Diabetes Res Clin Pract. 2023;200:110697.
7. Huerta-Uribe N, Ramirez-Velez R, Izquierdo M, Garcia-Hermoso A. Association between physical activity, sedentary behavior and physical fitness and glycated hemoglobin in youth with type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis. Sports Medicine. 2023;53(1):111–23.
8. Shah N, Khadilkar A, Gondhalekar K, Khadilkar V. Prevalence of dyslipidemia in Indian children with poorly controlled type 1 diabetes mellitus. Pediatric Diabetes. 2020;21(6):987–94.
9. Oza C, Khadilkar A, Mondkar SA, Gondhalekar K, Khadilkar V. Longitudinal trends in lipid profile in indian children and youth with type-1 diabetes: A 5-year follow up from a single centre. Endocrine. 2023;79(2):313–22.
10. Yang X, Chai M, Lin M. Proportion of vitamin D deficiency in children/adolescents with type 1 diabetes: A systematic review and meta-analysis. BMC pediatrics. 2024;24(1):192.
11. Fuentes-Barría H, Aguilera-Eguía R, Flores-Fernández C, Angarita-Davila L, Rojas-Gómez D, Alarcón-Rivera M, et al. Vitamin D and type 2 diabetes mellitus: molecular mechanisms and clinical implications—a narrative review. International Journal of Molecular Sciences. 2025;26(5):2153.
12. Williams A, Wadsworth DD, Geetha T. Exercise, Epigenetics, and Body Composition: Molecular Connections. Cells. 2025;14(19):1553.
13. Mohammad Jabar K, Tadibi V, Tahmasebi W, Rahimi MA. The effects of resistance training and curcumin supplementation on lipid metabolism, blood pressure and body composition in obese men with type 2 diabetes. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2025;18(2):1–16.

14. Nadh AG, Mohan A, Sajal H, Raju R. Vitamin D as a multisystem regulatory hormone: Molecular pathways, physiological integration, and implications for physical performance. The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology. 2026:107001.
15. Fallahi F, Tahmasebi W, Rahimi MR, Azizi M. High-Intensity Interval Training and Vitamin D3 Supplementation Decrease CCL-5 and CCR5 Expression In White Adipose Tissue of Diabetic Rats Fed with A High-Fat Diet and Streptozotocin. Cell Journal (Yakhteh). 2024;26(7):465–72.
16. Adolfsson P, Taplin CE, Zaharieva DP, Pemberton J, Davis EA, Riddell MC, et al. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2022: Exercise in children and adolescents with diabetes. Pediatric Diabetes. 2022;23(8):1341–72.
17. Miculis CP, Mascarenhas LP, Boguszewski M, Campos Wd. Physical activity in children with type 1 diabetes. Jornal de pediatria. 2010;86:271–8.
18. Lakka TA, Laaksonen DE. Physical activity in prevention and treatment of the metabolic syndrome. Applied physiology, nutrition, and metabolism. 2007;32(1):76–88.
19. Lemieux I, Després J-P. Metabolic syndrome: past, present and future. MDPI; 2020. p. 3501.
20. Eizirik DL, Pasquali L, Cnop M. Pancreatic β-cells in type 1 and type 2 diabetes mellitus: different pathways to failure. Nature Reviews Endocrinology. 2020;16(7):349–62.
21. Yki-Järvinen H, DeFronzo RA, Koivisto VA. Normalization of insulin sensitivity in type I diabetic subjects by physical training during insulin pump therapy. Diabetes Care. 1984;7(6):520–7.
22. LAAKSONEN DE, Atalay M, NISKANEN LK, Mustonen J, LAKKA TA, UUSITUPA MI. Aerobic exercise and the lipid profile in type 1 diabetic men: a randomized controlled trial. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2000;32(9):1541–8.
23. Johnsson K, George JG, Parks EJ, Katsanos CS. Obesity versus endurance exercise training: plasma triacylglycerol and muscle lipoprotein lipase activity at the crossroads of lipid accumulation in muscle. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 2025;329(5):E630–E43.
24. Muscella A, Stefàno E, Lunetti P, Capobianco L, Marsigliante S. The regulation of fat metabolism during aerobic exercise. Biomolecules. 2020;10(12):1699.
25. Franczyk B, Gluba-Brzózka A, Ciałkowska-Rysz A, Ławiński J, Rysz J. The impact of aerobic exercise on HDL quantity and quality: a narrative review. International journal of molecular sciences. 2023;24(5):4653.
26. Marniemi J, Dahlström S, Kvist M, SeppÄnen A, Hietanen E. Dependence of serum lipid and lecithin: cholesterol acyltransferase levels on physical training in young men. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 1982;49(1):25–35.
27. Masuda R, Imamura H, Mizuuchi K, Miyahara K, Kumagai H, Hirakata H. Physical activity, high-density lipoprotein cholesterol subfractions and lecithin: cholesterol acyltransferase in dialysis patients. Nephron Clinical Practice. 2009;111(4):c253–c9.
28. Srivastava RAK. A review of progress on targeting LDL receptor-dependent and-independent pathways for the treatment of hypercholesterolemia, a major risk factor of ASCVD. Cells. 2023;12(12):1648.