



Ministry of Science, Research and Technology
Sport Sciences Research Institute

Sport Physiology

Journal homepage: <https://spj.ssric.ac.ir>



Original Article

Investigating The Association between The RS12722 Polymorphism in The COL5A1 Gene and Omega-3 Supplementation with Flexibility, Strength, and Power in Young Active Men

Seyed Hossein Hosseinimehr¹ , Hassan Faraji^{2*} , Kaiwan Kaki¹

1. Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran.
2. Department of Physical Education and Sport Sciences, Mari.C. Islamic Azad University, Marivan, Iran.

Received: 12-Mar 2025 | Accepted: 26-Jun 2025 | Online Published: 02-Aug 2025

* Corresponding Author: Hassan Faraji, E-mail: faraji.hassan@iau.ac.ir

How to Cite: Hosseinimehr, S. H; Faraji, R; Shahrbanian, H. & Kaki, K. (2025). Investigating the association between the rs12722 polymorphism in the COL5A1 gene and omega-3 supplementation with flexibility, strength, and power in young active men. *Sport Physiology*, 17(65): 34-71. In Persian. Doi: 10.22089/spj.2025.17877.2364

Extended Abstract

Background and Purpose

Omega-3 polyunsaturated fatty acid (n-3 PUFA) supplementation is well-recognized for its potent anti-inflammatory effects and its essential role in maintaining cellular membrane integrity throughout the body, including connective tissues, where collagen serves as a major structural protein. While collagen endows connective tissues with tensile strength crucial for their function, omega-3 fatty acids indirectly contribute to collagen robustness by attenuating inflammation and potentially stimulating collagen synthesis. Among omega-3 fatty acids, eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) modulate gene expression through their incorporation into cell membranes and influence over signaling pathways. Although direct evidence linking omega-3 fatty acids to the COL5A gene is limited, existing studies indicate that omega-3s can regulate genes associated with inflammatory responses and collagen metabolism. For instance, modulation of gene expression related to fatty acid metabolic pathways by omega-3s may indirectly influence collagen synthesis and remodeling. Furthermore, omega-3 intake may induce epigenetic modifications affecting collagen-related gene expression, potentially altering the structural and functional characteristics of collagen fibers and ultimately impacting connective tissue integrity.

Beyond connective tissue effects, growing interest surrounds omega-3 fatty acids' positive impact on muscle mass, strength, and physical performance. Despite this, no studies to date have explored the interplay between COL5A genotypes and functional athletic traits such as strength, flexibility, and power, nor assessed how a single course of omega-3 supplementation affects these parameters considering individual genotype. Therefore, this study aimed to examine the association of the



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC-ND: No Derivatives) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

COL5A genotype with strength, flexibility, and power among strength-trained athletes and to evaluate the influence of an eight-week omega-3 supplementation protocol on these performance factors.

Materials and Methods

Out of 93 volunteers initially recruited, 85 participants meeting inclusion criteria were randomly assigned into two groups: omega-3 supplementation ($n = 43$) and placebo control ($n = 42$). A double-blind, placebo-controlled design was employed to investigate both the influence of COL5A genotype on physical performance variables and the effect of omega-3 supplementation on these outcomes.

In the first session, body composition, flexibility assessments, and blood samples for genotyping were obtained. Strength and power performance tests were conducted during the second and third sessions. Participants received daily supplementation of three gelatin-coated capsules (one each morning, midday, and evening) totaling 3,900 mg of fish oil per day, comprising 3 g of n-3 PUFA (715 mg EPA and 286 mg DHA per capsule). The placebo group received visually identical capsules without active omega-3 content. Supplementation continued for eight weeks, with follow-up tests conducted post-intervention.

COL5A rs12722 polymorphism frequencies were checked for Hardy-Weinberg equilibrium using the Chi-square test. Differences among groups and genotypes in flexibility, strength, and power were analyzed using analysis of covariance (ANCOVA) with Bonferroni post hoc comparisons to assess statistical significance at $p < 0.05$. Data analysis was performed using SPSS version 21.

Results

Analysis demonstrated that the main effect of time on flexibility was not significant ($F=1.42$, $p=0.26$, $\eta^2=0.12$), whereas the group effect was significant ($F=7.56$, $p=0.02$, $\eta^2=0.39$), indicating differences between omega-3 and placebo groups. The interaction effect of group $\times$ time as well as the three-way interaction of group $\times$ time $\times$ COL5A1 genotype were not statistically significant ($p=0.15$ and $p=0.25$, respectively).

For strength performance, no significant effects were found for time ($F=1.02$, $p=0.19$, $\eta^2=0.10$), group ($F=2.13$, $p=0.22$, $\eta^2=0.09$), or their interaction ($F=0.92$, $p=0.28$, $\eta^2=0.08$). Notably, the interaction including COL5A1 genotype (group $\times$ time $\times$ COL5A1) also lacked significance ($p=0.43$, $\eta^2=0.04$).

Similarly, analysis of power output showed no significant effects for time ($F=1.53$, $p=0.20$, $\eta^2=0.10$), group ($F=0.85$, $p=0.36$, $\eta^2=0.11$), or their interaction ($F=0.52$, $p=0.63$, $\eta^2=0.08$). The three-way interaction incorporating COL5A1 genotype again was not significant ($p=0.16$, $\eta^2=0.13$).

Importantly, the data indicated that individuals possessing the COL5A1 CC genotype exhibited significantly greater flexibility compared to other genotypes. Conversely, no significant genotype-related differences were observed for strength or power parameters. Moreover, omega-3 supplementation did not significantly affect flexibility, strength, or muscle power, nor did its effects vary based on COL5A1 rs12722 polymorphism status.

Conclusion

The findings of this study provide preliminary evidence linking the COL5A1 CC genotype with improved flexibility among strength-trained young men, suggesting a genetic influence on this physical trait. However, this relationship does not extend significantly to strength or power performance. Additionally, an eight-week course of omega-3 PUFA supplementation failed to produce measurable improvements in flexibility, strength, or muscle power, regardless of COL5A1 genotype.

Collectively, these results underscore the complexity of genetic contributions to musculoskeletal performance and highlight the limited impact of short-term omega-3 supplementation on these

specific athletic metrics. Further research with larger cohorts and longer supplementation periods is necessary to more conclusively determine the influence of genetic polymorphisms and nutritional interventions on physical performance.

Keywords: rs12722 Polymorphism, Flexibility, Muscle Strength, Muscle Power, Omega-3

Article Message

This study identifies the rs12722 COL5A1 polymorphism as significantly associated with flexibility in active young males. However, a single course of omega-3 supplementation does not result in significant changes in flexibility, strength, or power across different rs12722 alleles. Continued investigation into gene-nutrient interactions affecting athletic traits is warranted.

Authors' Contributions

All authors equally contributed to the design, execution, and documentation of this study.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgments

The authors sincerely thank all study participants for their cooperation.



فیزیولوژی ورزشی

وبگاه نشریه: <https://spj.ssric.ac.ir>



نوع مقاله: پژوهشی

بررسی ارتباط پلی مورفیسم rs12722 در ژن COL5A1 و مکمل یاری امگا-۳ با انعطاف پذیری، قدرت و توان در مردان جوان فعال

سید حسین حسینی مهر^۱، حسن فرجی^{۲*}، کیوان کاکي^۱

۱. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان، ایران
۲. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد مریوان، دانشگاه آزاد اسلامی، مریوان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲ | تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۵ | تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۵/۱۱

* نویسنده مسئول: حسن فرجی، ایمیل: faraji.hassan@iau.ac.ir

نحوه ارجاع دهی: حسینی مهر، سیدحسین، فرجی، حسن و کاکي، کیوان. (۱۴۰۴). بررسی ارتباط پلی مورفیسم rs12722 در ژن COL5A1 و مکمل یاری امگا-۳ با انعطاف پذیری، قدرت و توان در مردان جوان فعال. فیزیولوژی ورزشی، ۱۷(۶۵): ۳۴-۷۱.

چکیده

هدف: ارتباط پلی مورفیسم rs12722 با انعطاف پذیری، قدرت و توان نیاز به انجام مطالعات بیشتری دارد و اثر امگا-۳ بر این عوامل بررسی نشده است؛ بنابراین هدف پژوهش حاضر، بررسی ارتباط پلی مورفیسم rs12722 در ژن COL5A1 با انعطاف پذیری، قدرت و توان همراه با مصرف یک دوره امگا-۳ بود. روش پژوهش: تعداد ۸۵ داوطلب مرد فعال (سن: سال 26.4 ± 4.3 ، قد: سانتی متر 172.7 ± 7.8 ، وزن: کیلوگرم 82.5 ± 9.6 ، درصد چربی: 19.3 ± 7.1) در یک طرح تصادفی، دوسوکور به دو گروه مکمل (۴۳ نفر) و دارونما (۴۲ نفر) تقسیم شدند. شرکت کنندگان طی هشت هفته انجام تمرین مقاومتی روتین خود با شدت ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه تواتر سه جلسه در هفته، روزانه سه کیسول پوشیده شده با ژلاتین (۱ کیسول در صبح، ۱ عدد در ناهار و ۱ عدد در شب) حاوی سه گرم n-3 PUFA (۲۱۴۵ میلی گرم EPA و ۸۵۸ میلی گرم DHA) یا دارونما مصرف کردند. DNA مستخرج از نمونه های خونی، برای پلی مورفیسم rs12722 آزمایش شد. انعطاف پذیری، قدرت و توان عضلانی پایین تنه ۴۸ ساعت قبل و بعد از هشت هفته ارزیابی شد. یافته ها: در شرایط پیش آزمون، پلی مورفیسم rs12722 ارتباط معناداری با انعطاف پذیری داشت ($\eta^2=0.39$)، $F=7.56$ ، $p=0.02$ و افراد دارای آلل CC انعطاف پذیری بیشتری نسبت به آلل TT و CT داشتند، اما این ارتباط با قدرت ($\eta^2=0.09$)، $F=2.13$ ، $p=0.22$ و توان ($F=0.85$ ، $p=0.36$ ، $\eta^2=0.11$) مشاهده نشد. همچنین یک دوره مکمل یاری امگا-۳ تغییرات معناداری را در انعطاف پذیری، قدرت و توان آلل های مختلف پلی مورفیسم rs12722 ایجاد نکرد ($p>0.05$). نتیجه گیری: در پلی مورفیسم COL5A1 rs12722، افراد دارای آلل CC انعطاف پذیری بیشتری نسبت به آلل TT و CT دارند، اما مطالعه حاضر این دیدگاه را تأیید نمی کند که پلی مورفیسم COL5A1 rs12722 با قدرت و توان ارتباط دارد، یا اینکه پلی مورفیسم rs12722 یک عامل اثرگذار بر مکمل یاری امگا-۳ بر انعطاف پذیری، قدرت و توان جمعیت آزمایش شده این مطالعه باشد.

واژگان کلیدی: پلی مورفیسم rs12722، انعطاف پذیری، قدرت عضلانی، توان عضلانی، امگا-۳.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC-ND: No Derivatives) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مقدمه

مطالعه ژنتیک نژادهای مختلف در ارتباط با سلامت و عملکرد جسمانی، یکی از روش‌های نوین بررسی جمعیت‌ها و شناسایی استعدادهای بالقوه در جوامع گوناگون محسوب می‌شود (۱). امروزه استعدادیابی بدون توجه به جنبه‌های ژنتیکی و اپی‌ژنتیکی، قادر به ارائه انتخاب‌های دقیق و هدفمند نخواهد بود. در پژوهش‌های ژنومیک ورزشی، شناسایی پلی‌مورفیسم‌های خاص که می‌توانند موجب دستیابی به عملکرد برتر در ورزشکاران نخبه شوند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تحقیقات نشان داده‌اند که حدود ۶۶ درصد از تفاوت‌های عملکرد ورزشی به عوامل ژنتیکی وابسته است. در این میان، تفاوت‌های وراثتی در ویژگی‌های آنروپومتری، ظرفیت فیزیولوژیک، سازگاری تمرینی و ساختار بافتی می‌توانند بر توانایی عمومی ورزشی یا عملکرد ویژه ورزشی تأثیرگذار باشند (۲). به‌خوبی مشخص شده است که عملکرد ورزشی حاصل یک فنوتیپ چندعاملی است که از تعامل پیچیده میان عوامل محیطی و ژنتیکی شکل می‌گیرد (۳، ۴). در سال‌های اخیر، محققان به بررسی تأثیر برخی ژن‌ها پرداخته‌اند که مسئول تولید پروتئین‌هایی هستند که در مسیرهای متابولیکی یا ساختار عضلات اسکلتی نقش دارند و از اهمیت زیادی در عملکرد ورزشی برخوردارند (۴). علاوه بر این، برخی ژن‌ها و پلی‌مورفیسم‌ها بر قدرت یا انعطاف‌پذیری عضلات و تأمین انرژی متابولیکی ورزشکاران تأثیرگذارند.

کلاژن جزء اصلی رباط‌ها محسوب می‌شود، اما نقشی اساسی در ساختار و عملکرد عضلات نیز ایفا می‌کند. این پروتئین، ضمن تأمین استحکام کششی و خاصیت ارتجاعی، برای بافت‌های همبند اهمیت ویژه‌ای دارد. اهمیت این نقش ناشی از توانایی بافت‌های همبند در انتقال نیروی انقباضی ایجادشده توسط تارهای عضلانی به تاندون‌ها و استخوان‌ها است. در این میان، سفتی بیش از حد بافت‌های همبند ممکن است موجب اختلال در انقباض تارهای عضلانی، کاهش کارایی انتقال نیرو و درنهایت افت قدرت عضلانی شود (۵). ژن COL5A1 که روی کروموزوم 3q34.39 انسان قرار دارد، کدگذاری زنجیره آلفا-۱ (V) کلاژن نوع V را بر عهده دارد. این ژن از طریق SNP rs12722، دو آلل به نام‌های C و T را تولید می‌کند. ژن COL5A1 دستورالعمل‌های لازم برای ساخت زنجیره pro- $\alpha 1(V)$ بخشی از کلاژن نوع V را فراهم می‌آورد. کلاژن نوع V می‌تواند از سه زنجیره pro- $\alpha 1(V)$ یا ترکیبی از دو زنجیره pro- $\alpha 1(V)$ و یک زنجیره pro- $\alpha 2(V)$ (منتج از ژن COL5A2) ساخته شود. این زنجیره‌ها مولکول‌های پروکلاژن را تشکیل می‌دهند که طی فرایندهای زیستی به کلاژن بالغ پردازش شده و سپس در کنار کلاژن نوع I به تشکیل فیبریل‌ها منجر می‌شوند. کلاژن نوع V علاوه بر نقش تعیین‌کننده در تنظیم عرض فیبریل‌ها، در مونتاژ سایر انواع کلاژن به ساختارهای فیبریلی در بافت‌های مختلف نیز دخیل است. همچنین ژن COL5A1 در حمایت از بسیاری از بافت‌های بدن از جمله تاندون‌ها، رباط‌ها و عضلات تأثیر بسزایی دارد (۶). این نوع کلاژن برای افزایش دوام رباط‌ها و تأمین انعطاف‌پذیری تاندون‌ها ضروری است. به‌طور کلی، ژن COL5A1 تولید کلاژن نوع V را هدایت می‌کند که می‌تواند بر استحکام رباط‌ها و تاندون‌های ورزشکاران تأثیر بگذارد (۷). ژنوتیپ CC با کاهش خطر ابتلا به بیماری‌هایی همچون تاندونوپاتی آشیل و آسیب‌های رباط متقاطع قدامی مرتبط است؛ در حالی که ژنوتیپ TT به دلیل سفت‌تر بودن تاندون‌ها ممکن است با کاهش دامنه حرکتی و افزایش احتمال آسیب‌دیدگی همراه باشد؛ با این حال، همین ویژگی می‌تواند در دویدن استقامتی مفید واقع شود؛ زیرا تاندون‌های سفت‌تر در ذخیره و بازگرداندن انرژی کارآمدتر عمل می‌کنند (۲). مطالعات دیگری نشان داده‌اند که ژنوتیپ COL5A1 با دامنه حرکتی اندازه‌گیری‌شده از طریق بلند کردن مستقیم پاهای غیرفعال (SLR^1) و شلی مفصل کل

1. Straight Leg Raise

بدن (WBJL^۱) مرتبط است که نشان‌دهنده تأثیر ژنتیک بر انعطاف‌پذیری است (۸). تحقیقات نشان داده‌اند که ژنوتیپ‌های TT و CC به ترتیب موجب افزایش و کاهش سفتی بافت از طریق تغییر در پایداری mRNA COL5A1 در دامنه‌های فیزیولوژیک طبیعی می‌شوند (۹). در مطالعه‌ای مشاهده شد که ژنوتیپ CC با افزایش دامنه حرکتی مرتبط است؛ در حالی که افراد دارای ژنوتیپ CT نسبت به کسانی که هموزیگوت برای هر یک از آلل‌ها هستند، دامنه حرکتی محدودتری داشتند. علاوه بر این، ژنوتیپ TT نوع COL5A1 rs12722 با بهبود عملکرد دویدن استقامتی ارتباط دارد. همچنین مشخص شده است که ژنوتیپ CC با ساختارهای تاندونی انعطاف‌پذیرتر اکستانسورهای زانو در جمعیتی از مردان ژاپنی مرتبط است (۱۰). این ویژگی باعث می‌شود افراد دارای آلل T که انعطاف‌پذیری کمتری دارند، برای مسابقات دویدن در مسافت‌های طولانی مناسب‌تر باشند. این نظریه از طریق مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۱ درباره دوی ماراتن فوق استقامتی تأیید شد. در این پژوهش، مشخص شد که افراد دارای آلل T دارای تاندون‌های سفت‌تری بودند، اما به طور درخور توجهی سریع‌تر از کسانی که آلل C ژن COL5A1 داشتند، مسابقه را به پایان رساندند (۱۱).

پلی‌مورفیسم COL5A1 rs12722 یکی از تغییرات ژنتیکی مطالعه‌شده در ارتباط با انعطاف‌پذیری است. به طور خاص، آلل T این پلی‌مورفیسم با کاهش دامنه حرکتی مرتبط است؛ به گونه‌ای که افراد دارای ژنوتیپ TT ممکن است تاندون‌هایی سفت‌تر نسبت به افراد دارای ژنوتیپ CC داشته باشند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که آلل C احتمالاً تأثیر بیشتری بر انعطاف‌پذیری دارد؛ زیرا با سفتی مشاهده‌شده در ژنوتیپ TT همراه نیست (۱۱)؛ با این حال، نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که تأثیر این پلی‌مورفیسم بر انعطاف‌پذیری ممکن است وابسته به جمعیت بررسی‌شده باشد؛ به عنوان مثال، پژوهشی که روی ورزشکاران ژاپنی انجام شد، گزارش داد که پلی‌مورفیسم rs12722 تأثیر چشمگیری بر انعطاف‌پذیری مفاصل یا سفتی عضلانی غیرفعال ندارد و ارتباطی با آسیب‌های عضلانی مرتبط با ورزش نیز مشاهده نشده است (۱۲).

رابطه میان قدرت کلاژن و قدرت عضلانی تحت تأثیر تغذیه است و مطالعات نشان داده‌اند که مصرف مکمل پپتید کلاژن همراه با تمرینات مقاومتی به افزایش قدرت عضلانی در مردان مسن منجر می‌شود (۱۳). در حالی که کلاژن استحکام کششی لازم برای عملکرد مطلوب بافت‌های همبند را فراهم می‌کند، اسیدهای چرب امگا-۳ به طور غیرمستقیم با کاهش التهاب و افزایش احتمالی سنتز کلاژن موجب تقویت قدرت کلاژن می‌شوند. اسیدهای چرب امگا-۳، به‌ویژه EPA^۲ و DHA^۳ از طریق تأثیر بر ترکیب غشای سلولی و مسیرهای سیگنالینگ، بیان ژن را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۱۴، ۱۵). هرچند مطالعات مستقیم درباره ارتباط بین اسیدهای چرب امگا-۳ و ژن COL5A1 محدود است، تحقیقات نشان داده‌اند که امگا-۳ می‌تواند بیان ژن‌های مرتبط با التهاب و سنتز کلاژن را تنظیم کند؛ به عنوان مثال، مشخص شده است که این اسیدهای چرب بر بیان ژن‌های مؤثر در مسیرهای متابولیک اسیدهای چرب تأثیر می‌گذارند که ممکن است به طور غیرمستقیم بر سنتز و بازسازی کلاژن اثر بگذارد (۱۵). علاوه بر این، اسیدهای چرب امگا-۳ ممکن است باعث تغییرات اپی‌ژنتیکی شوند که بیان ژن‌های مرتبط با تولید و تجزیه کلاژن را تنظیم می‌کنند و بر ساختار و عملکرد فیبرهای کلاژن و استحکام کلی بافت‌های همبند تأثیر می‌گذارند (۱۶). اخیراً به نقش امگا-۳ در افزایش توده عضلانی، قدرت و عملکرد فیزیکی نیز توجه بیشتری شده است (۱۷). براساس دانش فعلی، تاکنون مطالعه‌ای جامع درباره تأثیر ژنوتیپ COL5A1

1. Whole Body Joint Laxity

2. Eicosapentaenoic Acid

3. Docosahexaenoic Acid

بر قدرت، انعطاف پذیری و توان ورزشکاران انجام نشده است و مشخص نیست که یک دوره مکمل یاری امگا-۳ با در نظر گرفتن ژنوتیپ افراد، چگونه بر این عوامل تأثیر می گذارد؛ بنابراین هدف مطالعه حاضر، بررسی نقش ژنوتیپ COL5A در قدرت، انعطاف پذیری و توان ورزشکاران تمرینات قدرتی و تأثیر مصرف یک دوره مکمل امگا-۳ بر این شاخص های عملکردی بود.

روش پژوهش

تعداد ۸۵ مرد فعال بدنی با سابقه حداقل یک سال انجام تمرینات مقاومتی داوطلب شرکت در این مطالعه شرکت کردند (جدول ۱). ملاک های ورود به مطالعه مبتلا نبودن به هر نوع بیماری، سابقه مصرف دارو یا مکمل ورزشی نداشتن در شش ماه قبل و مصرف نکردن دخانیات بود. همه آزمودنی ها سابقه حداقل یک سال انجام تمرینات وزنه تمرینی داشتند و تمرینات روتین خود را دنبال می کردند. آزمودنی ها در سال گذشته درگیر ورزش های تفریحی بودند، اما آن ها در تمرینات انعطاف پذیری برای حداقل شش ماه قبل از مطالعه درگیر نبودند. پس از توضیح شفاهی درمورد مزایا و خطرات احتمالی، همه آزمودنی ها رضایت نامه آگاهانه مطابق با اعلامیه هلسینکی ۱۹۷۵ را تکمیل و تأیید کردند. این مطالعه توسط کمیته اخلاق دانشکده علوم انسانی دانشگاه کردستان تأیید شد.

جدول ۱- ویژگی های توصیفی آزمودنی ها

Table 1- Descriptive characteristics of the subjects

COL5A1 rs 12722 Genotype			همه آزمودنی ها	ویژگی
TT (n= 27)	CT (n= 42)	CC (n= 16)	All subjects (n= 85)	Character
27.2±4.8	26.4±4.5	25.6±3.3	26.4±4.3	سن (سال) age (years)
171.8±8.1	174.2±8.3	172.1±5.7	172.7±7.8	قد (سانتی متر) Height (cm)
81.7±10.1	81.4±9.3	84.5±8.6	82.5±9.6	وزن (کیلوگرم) Weight (kg)
20.1±8.4	19.3±6.8	18.7±7.7	19.3±7.1	چربی بدن (درصد) Body fat (%)

شرکت کنندگان طی هشت هفته انجام تمرین مقاومتی روتین خود با شدت ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه تواتر سه جلسه در هفته فعالیت داشتند. در روز معین از افراد داوطلب دعوت شد و پس از تأیید تندرستی آنان با استفاده از پرسشنامه سلامتی و پزشک متخصص، ارائه توضیحات کامل درباره روند اجرای پژوهش، فواید و مضرات احتمالی مطالعه بیان شد و رضایت نامه کتبی از داوطلبان دریافت شد. همچنین داوطلبان پرسشنامه آمادگی شرکت در فعالیت های ورزشی^۱ (PAR-Q) را تکمیل کردند. از میان ۹۳ نفر داوطلب، ۸۵ نفر براساس معیارهای ورود انتخاب شدند و به صورت تصادفی ساده به دو گروه امگا-۳ (۴۳ نفر) و دارونما (۴۲ نفر) تقسیم شدند (جدول ۱). از شرکت کنندگان خواسته شد در طول دوره تحقیق از مصرف هرگونه قرص یا مکمل دارویی و انجام فعالیت بدنی منظم غیر از تمرین ورزشی مقاومتی پرهیز کنند. همچنین برای کنترل تغذیه آزمودنی ها در طول دوره سعی بر یکسان بودن تغذیه بود که برای این امر، فرم یادآمد غذایی ۲۴ ساعت قبل از اندازه گیری ها (قبل از شروع برنامه تمرینی و در انتهای برنامه تمرینی) در اختیار آزمودنی ها قرار داده شد و از آن ها درخواست شد که ۲۴ ساعت قبل از اندازه گیری در پس آزمون، تغذیه مشابه با شرایط قبل از شروع تمرینات داشته باشند. به آزمودنی ها توصیه شد که الگوی غذایی در طول دوره تمرین یکسان باشد.

1. Physical Activity Readiness Questionnaire

جدول ۲- پرایمرهای استفاده شده برای پلی مورفیسم rs12722

Table 2- Primers used for the rs12722 polymorphism

Primers	Sequence
Allele A forward	5'-GGA GCT GAC CAG TGA AGA-3'
Allele A reverse	5'-TGT GAC CAT TCC GGT TTG-3'
Allele C forward	5'-CTT TGG GGA GCT GAA GGA-3'
Allele C reverse	5'-AAG ACT TCA AAG ACA CTT G-3'

برای بررسی ارتباط پلی مورفیسم rs12722 با عملکرد قدرت، انعطاف پذیری و توان و مصرف امگا-۳ بر این عوامل، از طرح دوسوکور کنترل شده با دارونما استفاده شد. ترکیب بدن، انعطاف پذیری و جمع آوری خون برای تجزیه و تحلیل ژنتیکی در جلسه اول اندازه گیری شد. جلسه آزمون قدرت و توان در جلسات دوم و سوم انجام شد.

استخراج DNA و ژنوتیپ

تقریباً ۵ میلی لیتر خون وریدی جمع آوری شد. DNA ژنومی (gDNA) از خون محیطی با استفاده از کیت جداسازی DNA GeneAll جدا شد. پلی مورفیسم های ژنی COL5A1 rs12722 با استفاده از روش پلی مورفیسم قطعات طولی محدودشونده^۱ (RFLP) مبتنی بر واکنش زنجیره ای پلیمرز (PCR) آنالیز شدند. پرایمرهای استفاده شده برای پلی مورفیسم COL5A1 در جدول ۱ ذکر شده است. PCR در حجم کل ۲۵ میکرولیتر حاوی ۲ میکرولیتر gDNA، ۰.۸ نانومول در میکرولیتر از هر پرایمر (ساخت شرکت Biotech rabbit, Germany)، ۱/۵ میکرولیتر MgCl₂ (۲۵ میلی مولار) (شرکت سیناکلون، ایران)، ۲/۵ میکرولیتر بافر ۱۰× PCR، ۰.۳ میکرولیتر dNTP (۲۵ میلی مولار) و ۲۵ میکرولیتر آب مقطر استریل بود، با هم مخلوط شدند و در دستگاه ترمال سایکلر ABI (مدل ۱۵۱۱ ساخت کشور آمریکا) قرار گرفتند.

برای آنالیز کیفی محصولات واکنش زنجیره ای پلیمرز از تکنیک الکتروفورز افقی استفاده شد که روش آزمایشگاهی متداولی برای جداسازی مولکول های باردار مانند DNA، براساس بار و جرم مولکولی آنها است. پس از تهیه ژل آگارز ۱ درصد و تعبیه چاهک ها در ابتدای ژل، محصولات واکنش زنجیره ای پلیمرز که قطعات DNA دورشته ای بودند (مقدار ۵ میکرولیتر از DNA) با ۲ میکرولیتر رنگ بارگذاری مخلوط شد و درون چاهک ها بارگذاری شد. پس از بارگذاری و اتصال الکترود مثبت و منفی به دو انتهای ژل، تانک الکتروفورز با ولتاژ ۱۱۱ برقرار شد. حین انجام الکتروفورز، قطعات DNA به دلیل داشتن بار منفی، به سمت الکترودهای مثبت حرکت کردند که سرعت حرکت آنها براساس طول و جرم مولکولی آنها با یکدیگر متفاوت بود. بعد از انجام الکتروفورز و اتمام آن، تصویر نهایی DNA های استخراج شده در ژل، مشاهده و ذخیره شد (شکل ۱). تعیین ژنوتیپ انجام شده با استفاده از دستگاه Real Time PCR StepOnePlus و نرم افزار StepOne نسخه ۲.۲.۲ (Applied Biosystems) فاستر سیتی، کالیفرنیا، ایالات متحده صورت گرفت.

مکمل یاری امگا-۳

به آزمودنی ها توصیه شد، دو هفته قبل و در طول مداخله ماهی و غذاهای سرشار از امگا-۳ را در فهرست خاصی که به آنها ارائه شده بود، مصرف نکنند. شرکت کنندگان طی هشت هفته روزانه سه کپسول پوشیده شده با ژلاتین (۱ کپسول در صبح، ۱ عدد در نهار و ۱ عدد در شب) که هر کدام حاوی ۱۰۴۰ میلی گرم n-3 PUFA (۷۱۵ میلی گرم EPA و

1. Restriction Fragment Length Polymorphism
2. Polymerase Chain Reaction-based

۲۸۶ میلی گرم DHA) یا دارونما با آب همراه با وعده‌های غذایی اصلی بود، مصرف کردند. آن‌ها در مجموع ۳۹۰۰ میلی گرم روغن ماهی روزانه، حاوی ۳ گرم n-3 PUFA (۲۱۴۵ میلی گرم EPA و ۸۵۸ میلی گرم DHA)، مصرف کردند (۱۸). کپسول‌های دارونما حاوی نسبت ۵۰:۵۰ روغن ذرت و سویا بودند که عمدتاً از اسیدهای چرب امگا ۶ (۵۰ درصد) و تک غیراشباع (۲۵ درصد) تشکیل شده بودند. کپسول‌های امگا-۳ و دارونما در رنگ ظاهری و رایحه/طعم یکسان بودند. کپسول‌های امگا-۳ و دارونما توسط شرکت WN Pharmaceuticals Ltd, Coquitlam, Canada ساخته شده بودند. شش روز قبل از شروع دوره تمرینی و مکمل‌دهی، آشناسازی با دستگاه‌ها و پروتکل تمرینی به صورت عملی انجام شد و ویژگی‌های فیزیولوژیک (قد، وزن و درصد چربی) و عملکردی (یک تکرار بیشینه) با فرمول برزیسکی (۱۹) در ایستگاه‌های پرس سینه، پرس پا، سیم کش، جلو ران، جلو بازو با هالتر، اسکات و سر شانه با هالتر) اندازه‌گیری شد. توده چربی و توده بدون چربی آزمودنی‌ها از طریق اندازه‌گیری ضخامت لایه چربی زیرپوستی هفت نقطه‌ای شامل ناحیه سینه‌ای، شکمی، رانی، سهرسر، فوق خاصره، تحت کتفی و زیربغل با استفاده از کالیپر لافایت اندازه‌گیری شد و با معادلات جکسون و پولاک محاسبه شد (۲۰).

انعطاف‌پذیری

برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری در مفاصل و عضلات کمر، همسترینگ و خم‌کننده‌های ران از جعبه انعطاف‌پذیر نشستن و رسیدن (ساخت شرکت ساتراپ) استفاده شد. به‌منظور کنترل اثر گرم کردن، شرکت‌کنندگان قبل از اندازه‌گیری از گرم کردن منع شدند. شرکت‌کنندگان روی زمین نشستند و باسنشان به دیوار بود. اطمینان حاصل شد که در حین دست زدن هیچ ضربه یا ضربه‌ای وجود ندارد و کشش حداقل به مدت ۱ ثانیه حفظ شد. اجازه سه تلاش برای هر شرکت‌کننده داده شد و بهترین دسترسی از سه آزمایش ثبت شد.

قدرت پا با استفاده از دینامومتر (Back-leg-chest dynamometer) برند Saehan محصول کره جنوبی) ارزیابی شد. دینامومتر BLC دارای قابلیت تکرارپذیری مجدد آزمون-آزمون نسبتاً زیادی است؛ از این رو پیشنهاد شده است که ابزار مناسبی برای تحقیقات کاربردی است (۲۱). قبل از شروع، اطمینان حاصل شد که دینامومتر کالیبره شده و روی صفر تنظیم مجدد می‌شد. طول زنجر براساس قد فرد آزمایش‌شده تنظیم شد و از آزمودنی خواسته شد تا روی پایه دینامومتر با زانوهای کشیده بایستد. سپس دسته در ارتفاع فضای داخل مفصلی مفصل زانو قرار گرفت. برای آزمایش، شرکت‌کنندگان باید روی پایه می‌ایستادند و زانوهای باسن کمی خم می‌شدند، در حالی که قسمت پایین کمر باید انحنای لوردوتیک مناسب را حفظ می‌کرد. از آزمودنی‌ها خواسته شد تا با انقباضات ایزومتریک ممتد اکستانسورهای زانو، لگن و کمر در حالی که دسته را نگه داشته‌اند، در جهت عمودی بلند شوند. همچنین از آن‌ها خواسته شد که کشش را به صورت ایمن به تدریج افزایش دهند و در سه ثانیه به حداکثر نیرو برسند، در حالی که این کشش را برای دو ثانیه دیگر حفظ کنند. پس از نمایش و یک کارآزمایی آشنایی، سه کارآزمایی با دوره‌های استراحت ۳۰ ثانیه‌ای بین کارآزمایی‌ها انجام شد. حداکثر قدرت برای سه آزمایش برای تجزیه و تحلیل بیشتر استفاده شد (۲۱).

توان

توان با استفاده از آزمون پرش ارتفاع سارجنت مشخص شد. در این آزمون، فرد ابتدا در حالت ایستاده میزان دسترسی خود را مشخص می‌کرد و سپس با انجام یک پرش عمودی، بالاترین نقطه‌ای را که می‌توانست لمس کند، ثبت شد. ارتفاع پرش سارجنت برابر با اختلاف بین این دو مقدار محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس به ترتیب با آزمون شاپیرو-ویلک و آزمون لون بررسی شد. برای بررسی تعادل هاردی-واینبرگ در فراوانی چندشکلی‌ها از آزمون آماری کای اسکوتر استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌ها آزمون آنکووا (تحلیل کواریانس) و آزمون تعقیبی بونفرونی به کار رفت. در تمامی آزمون‌ها سطح اطمینان ۹۵ درصد لحاظ شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در پژوهش حاضر با کمک نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ صورت گرفت.

نتایج

توزیع ژنوتیپ و خصوصیات نمونه توزیع ژنوتیپ به تعادل هاردی واینبرگ رسید. فراوانی ژنوتیپ $TT=31/7\%$ ، $CT=49/4\%$ و $CC=18/8\%$ بود. هیچ تفاوتی در سن، ویژگی‌های آنتروپومتریک یا سطح فعالیت بدنی در بین ژنوتیپ‌های CC ، CT و TT COL5A1 وجود نداشت ($P>0/05$). جدول ۳ مقایسه میانگین عملکرد بدنی آزمودنی‌ها در انعطاف‌پذیری با توجه به ژنوتیپ آن‌ها و تأثیر مکمل امگا-۳ پس از هشت هفته مصرف را نشان می‌دهد. اثر زمان معنادار نبود ($F=1/42$ ، $P=0/26$ ، $\eta^2=0/12$)، اما اثر گروه معنادار بود ($F=7/56$ ، $P=0/02$ ، $\eta^2=0/39$). همچنین تعامل گروه $\times$ زمان معنادار نبود ($F=0/99$ ، $P=0/15$ ، $\eta^2=0/09$). تعامل گروه $\times$ زمان $\times$ COL5A1 نیز معنادار نبود ($\eta^2=0/07$)، $P=0/25$.

جدول ۳- میانگین و انحراف استاندارد مقادیر متغیرها به تفکیک گروه‌ها

Table 3- Mean and SD of variables in each group

COL5A1 rs 12722					همه آزمودنی‌ها	مداخله	زمان	متغیر
<i>p</i>	<i>F</i>	<i>CC</i>	<i>CT</i>	<i>TT</i>	All Subjects	Trial	Time	Variable
0.003	32.16	36.3 $\pm$ 5.6*	29.1 $\pm$ 7.5	26.2 $\pm$ 6.4	30.5 $\pm$ 6.5	Placebo	پیش‌آزمون	انعطاف‌پذیری
0.001	41.38	37.1 $\pm$ 7.1*	27.4 $\pm$ 8.4	25.8 $\pm$ 5.9	30.1 $\pm$ 7.1	Omega-3	Pre-test	(سانتی متر)
0.007	23.56	38.1 $\pm$ 7.3*	30.3 $\pm$ 6.6	27.4 $\pm$ 8.2	31.9 $\pm$ 7.3	Placebo	پس‌آزمون	flexibility
0.001	37.44	39.2 $\pm$ 7.0*	31.2 $\pm$ 7.6	29.5 $\pm$ 9.2	33.3 $\pm$ 7.9	Omega-3	Post-test	(cm)
0.001	1.33	107.2 $\pm$ 21.9	109.1 $\pm$ 17.4	110.2 $\pm$ 28.2	108.8 $\pm$ 22.5	Placebo	پیش‌آزمون	قدرت
0.002	0.93	106.1 $\pm$ 22.4	107.41 $\pm$ 21.7	109.8 $\pm$ 19.9	107.3 $\pm$ 21.3	Omega-3	Pre-test	(کیلوگرم)
0.001	1.70	108.1 $\pm$ 20.6	110.3 $\pm$ 16.5	111.4 $\pm$ 27.8	109.9 $\pm$ 21.6	Placebo	پس‌آزمون	Strength
0.001	0.15	106.9 $\pm$ 19.2	108.1 $\pm$ 19.3	110.0 $\pm$ 18.4	108.3 $\pm$ 18.9	Omega-3	Post-test	(kg)
0.001	0.15	41.8 $\pm$ 9.5	42.2 $\pm$ 8.2	45.5 $\pm$ 8.1	43.1 $\pm$ 8.6	Placebo	پیش‌آزمون	توان
0.001	2.01	43.3 $\pm$ 8.4	44.7 $\pm$ 8.6	43.1 $\pm$ 9.3	43.7 $\pm$ 8.7	Omega-3	Pre-test	(سانتی متر)
0.005	0.28	42.9 $\pm$ 8.8	43.8 $\pm$ 7.9	47.5 $\pm$ 9.0	44.7 $\pm$ 8.5	Placebo	پس‌آزمون	Power
0.008	1.59	44.3 $\pm$ 7.6	45.4 $\pm$ 9.3	46.2 $\pm$ 8.5	45.3 $\pm$ 8.4	Omega-3	Post-test	(cm)

* Significant difference with alleles ($p\leq0.05$)* تفاوت معنادار با ال‌ها ($p\leq0/05$).

نتایج جدول ۳ در خصوص عملکرد بدنی آزمودنی‌ها در قدرت با توجه به ژنوتیپ آن‌ها و تأثیر مکمل امگا-۳ نشان می‌دهد که اثر زمان ($F=1/02$ ، $P=0/19$ ، $\eta^2=0/10$)، اثر گروه ($F=2/13$ ، $P=0/22$ ، $\eta^2=0/09$) و تعامل گروه $\times$ زمان ($\eta^2=0/08$)، $F=0/92$ ، $P=0/28$) معنادار نبود. تعامل گروه $\times$ زمان $\times$ COL5A1 نیز معنادار نبود ($P=0/43$ ، $\eta^2=0/04$). در خصوص ژنوتیپ آزمودنی‌ها و تأثیر مکمل امگا-۳ بر عملکرد بدنی آن‌ها در توان نیز نتایج نشان داد که اثر زمان ($\eta^2=0/10$)، $F=1/53$ ، $P=0/20$)، اثر گروه ($F=0/85$ ، $P=0/36$ ، $\eta^2=0/11$) و تعامل گروه $\times$ زمان ($F=0/52$ ، $P=0/63$ ، $\eta^2=0/08$) معنادار نبود. مشابه با متغیرهای دیگر، تعامل گروه $\times$ زمان $\times$ COL5A1 نیز معنادار نبود ($P=0/16$ ، $\eta^2=0/13$).



شکل ۱- فراورده‌های PCR روی ژل آگارز برای پلی مورفیسم rs12722
 Figure 1- PCR products on agarose gel of rs12722 polymorphism

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نخستین پژوهش در زمینه بررسی اثر ژنوتیپ COL5A1 rs12722 و مکمل یاری امگا-۳ بر انعطاف‌پذیری، قدرت و توان مردان جوان فعال است. با توجه به برخی مطالعات که نشان‌دهنده ارتباط پلی مورفیسم rs12722 با سفتی تاندون و ساختار کلاژن هستند، فرض بر این بود که آلل‌های مختلف این ژنوتیپ اثرات متفاوتی بر انعطاف‌پذیری، قدرت و توان داشته باشند. همچنین، با در نظر گرفتن تأثیر بالقوه امگا-۳ بر بافت‌های کلاژنی، انتظار می‌رفت که این مکمل بر این شاخص‌های عملکردی تأثیر درخور توجهی داشته باشد؛ بنابراین هدف نخست این مطالعه، بررسی ارتباط پلی مورفیسم rs12722 با انعطاف‌پذیری، قدرت و توان بود و هدف دوم، ارزیابی تأثیر مکمل‌یاری امگا-۳ بر عملکردهای مرتبط با این ژنوتیپ بود. نتایج این پژوهش نشان داد که پلی مورفیسم rs12722 ارتباط معناداری با انعطاف‌پذیری دارد؛ به گونه‌ای که افراد دارای آلل CC نسبت به آلل‌های TT و CT انعطاف‌پذیری بیشتری داشتند، اما این ارتباط با قدرت و توان عضلانی مشاهده نشد. علاوه بر این، یک دوره مکمل‌یاری امگا-۳ تغییرات معناداری در انعطاف‌پذیری، قدرت و توان، با توجه به آلل‌های مختلف پلی مورفیسم rs12722، ایجاد نکرد. این یافته‌ها فرضیه نخست مبنی بر ارتباط ژنوتیپ COL5A1 با انعطاف‌پذیری را تأیید می‌کند، اما فرضیه مربوط به تأثیر این ژنوتیپ و مکمل‌یاری امگا-۳ بر قدرت و توان را رد می‌کند. براساس این نتایج، به نظر می‌رسد که حداقل در جمعیت ایرانی بررسی‌شده، انعطاف‌پذیری تحت تأثیر پلی مورفیسم rs12722 قرار دارد، اما قدرت و توان عضلانی از این پلی مورفیسم و مکمل‌یاری امگا-۳ تأثیر نمی‌پذیرند.

برخی پژوهش‌ها که با یافته‌های این مطالعه همسو هستند، ارتباط مثبت میان پلی مورفیسم rs12722 و افزایش انعطاف‌پذیری را گزارش کرده‌اند (۲۳، ۲۲، ۸). گزارش شده است که افراد دارای ژنوتیپ CC اغلب دامنه حرکتی بیشتری نسبت به افراد دارای ژنوتیپ TT دارند؛ زیرا ژنوتیپ TT با تاندون‌های سفت‌تر و انعطاف‌پذیری کمتر همراه است. این ارتباط در مطالعات مربوط به ورزشکاران و افراد دارای آسیب‌های خاص مشاهده شده است که نشان می‌دهد ژنوتیپ CC ممکن است مزایای انعطاف‌پذیری بیشتری داشته باشد و خطر آسیب‌هایی مانند تاندونوپاتی آشیل و آسیب‌های رباط متقاطع قدامی را کاهش دهد (۱۱). علاوه بر این، نتایج کیفی یک مطالعه مروری نشان داده است که پلی مورفیسم rs12722 با انعطاف‌پذیری در افراد فعال، به‌ویژه در گروه‌های آسیایی مرتبط است (۲۴)؛ با این وجود، برخی پژوهش‌ها

این ارتباط را تأیید نکرده‌اند (۲۷-۲۵). تفاوت در نتایج مطالعات ممکن است ناشی از تفاوت‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان باشد؛ به عنوان مثال، مطالعات نشان داده‌اند که پلی‌مورفیسم rs12722 با آسیب‌های تاندون و رباط در جمعیت قفقازی مرتبط است، اما در آسیای شرقی این ارتباط مشاهده نشد (۱۲). به طور کلی، برخی مطالعات تأیید کرده‌اند که پلی‌مورفیسم rs12722، به‌ویژه نوع CC با افزایش انعطاف‌پذیری و کاهش خطر آسیب همراه است، اما برخی دیگر بر این ارتباط به‌ویژه در گروه‌های جمعیتی جوان‌تر و در میان گروه‌های قومی مختلف تردید کرده‌اند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که رابطه میان پلی‌مورفیسم rs12722 و انعطاف‌پذیری پیچیده است و تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله سن، قومیت و جمعیت بررسی شده قرار دارد (۸).

افراد دارای ژنوتیپ CC نسبت به افراد با ژنوتیپ TT از معماری متفاوتی در فیبریل‌های کلاژن برخوردارند. ژنوتیپ CC با فیبرهای کلاژن بزرگ‌تر و نامنظم‌تر مرتبط است که موجب افزایش انعطاف‌پذیری و کشش تاندون‌ها و رباط‌ها می‌شود (۸). ژنوتیپ CC با سفتی عضلانی و تاندینوز کمتر مرتبط است. این ویژگی‌ها سبب کاهش سفتی عضلانی و تاندینوز در افراد با ژنوتیپ CC می‌شود؛ در حالی که افراد با ژنوتیپ TT به دلیل داشتن تاندون‌های سفت‌تر، با دامنه حرکتی محدودتر و خطر آسیب‌دیدگی بیشتر مواجه‌اند (۱۱). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که افراد دارای ژنوتیپ CC کمتر در معرض آسیب‌هایی مانند تاندیوپاتی آشیل و آسیب رباط متقاطع قدامی قرار می‌گیرند. انعطاف‌پذیری بیشتر ناشی از این ژنوتیپ، به‌نوعی اثر محافظتی ایجاد می‌کند؛ زیرا افزایش دامنه حرکتی (ROM^۱) و کاهش سفتی می‌تواند احتمال فشار و صدمات را در حین فعالیت‌های بدنی کاهش دهند (۲۸، ۱۱).

فرض ما بر این بود که پلی‌مورفیسم rs12722 احتمالاً بر قدرت و توان عضلانی تأثیرگذار باشد، اما یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که پلی‌مورفیسم rs12722 ارتباط معناداری با قدرت و توان عضلانی ندارد. همسو با این نتایج، پژوهشی دیگر اثبات کرد که تمرین‌های پلايومتریک در کودکان به افزایش توان منجر می‌شود، اما این تفاوت‌ها احتمالاً تحت تأثیر ژنوتیپ‌های ACTN3 و COL5A1 قرار نمی‌گیرند (۲۹). به طور کلی، پایه ژنتیکی قدرت و توان عضلانی پیچیده و چندوجهی است. این ویژگی نه تنها تحت تأثیر بافت همبند قرار دارد، بلکه مجموعه‌ای از ژن‌های کلیدی مانند ACTN3 و TTN نیز در آن نقش دارند (۳۰). شایان ذکر است که در عضله قلب، در طول‌های کوتاه‌تر سارکومر، کشش غیرفعال فیبرهای عضلانی عمدتاً وابسته به تیتین است؛ در حالی که در طول‌های بلندتر، رشته‌های کلاژن خارج سلولی تعیین‌کننده این کشش هستند (۳۱). با توجه به این جنبه‌ها به نظر می‌رسد که تأثیر بافت‌های همبند داخل عضلانی بر قدرت و توان عضلانی در روش آزمایشی استفاده‌شده کمتر از حد انتظار باشد؛ بنابراین برای درک بهتر این مسئله به انجام مطالعات بیشتری نیاز است. علاوه بر این، اثرات پلی‌مورفیسم rs12722 ممکن است در بین جمعیت‌های مختلف و زمینه‌های ورزشی گوناگون متغیر باشد؛ به عنوان نمونه، در ورزشکاران قفقازی ارتباط میان این پلی‌مورفیسم و شدت آسیب پیشنهاد شده، اما این رابطه به طور مستمر در ورزشکاران ژاپنی مشاهده نشده است. این امر نشان می‌دهد که تأثیرات ژنتیکی بر ویژگی‌های عضلانی وابسته به زمینه ژنتیکی افراد است (۳۲). اختلاف در یافته‌های مربوط به اثر پلی‌مورفیسم rs12722 بر قدرت و توان عضلانی را می‌توان به عوامل متعدد زیر نسبت داد. تنوع در زمینه‌های ژنتیکی در میان جمعیت‌های مختلف (به عنوان مثال، قفقازی در مقابل آسیایی) ممکن است به نتایج متفاوتی منجر شود. برخی از مطالعات با حجم نمونه کوچک‌تر ممکن است فاقد قدرت آماری برای تشخیص ارتباط‌های درخور توجه باشند؛ در حالی که مطالعات بزرگ‌تر

1. Range of Motion

ممکن است یافته‌های قوی‌تری به دست دهند. همچنین تحقیقات متمرکز بر ورزشکاران نخبه ممکن است نتایج متفاوتی را در مقایسه با مطالعات مربوط به جمعیت عمومی یا غیرورزشکاران نشان دهد.

نتیجه دیگر مطالعه حاضر، اثر نداشتن مصرف امگا-۳ بر انعطاف‌پذیری، قدرت و توان عضلانی آزمودنی‌های جوان تحقیق حاضر بود و مصرف مکمل امگا-۳ با پلی مورفیسم COL5A1 rs12722 در انعطاف‌پذیری، قدرت و توان عضلانی ارتباطی نداشت. برخی از مطالعات نشان داده‌اند که مکمل امگا-۳ می‌تواند به محافظت در برابر آسیب عضلانی و افزایش ریکاوری کمک کند که ممکن است به طور غیرمستقیم از بهبود انعطاف‌پذیری حمایت کند (۳۳). به نظر می‌رسد، علت افزایش نیافتن انعطاف‌پذیری با وجود مصرف امگا-۳ در مطالعه حاضر، جوان بودن و سالم بودن آزمودنی‌ها باشد. مطالعه‌ای اثرات مکمل امگا-۳ همراه با برنامه تمرینی کششی را در افراد مسن بررسی کرد. نتایج نشان داد که مکمل امگا-۳ می‌تواند مزایای تمرینات انعطاف‌پذیری را افزایش دهد و به طور بالقوه منجر به بهبود انعطاف‌پذیری مفاصل و عملکرد کلی عضلات شود. این موضوع نشان می‌دهد، زمانی که امگا-۳ در رژیم ورزشی بزرگسالان مسن‌تر گنجانده می‌شود، ممکن است بهبود انعطاف‌پذیری بیشتری را نسبت به جوانان تجربه کنند (۳۴). در افراد جوان‌تر و سالم، شواهد مربوط به تأثیر مکمل امگا-۳ بر انعطاف‌پذیری کمتر قطعی است. برخی از مطالعات هیچ بهبودی در خورتوجهی را در انعطاف‌پذیری به دنبال مصرف مکمل امگا-۳ به‌تنهایی، گزارش نکرده‌اند، که نشان می‌دهد افراد جوان‌تر ممکن است در حال حاضر دارای انعطاف‌پذیری و قابلیت‌های بهبودی مطلوب بدون نیاز به مکمل‌های اضافی باشند (۳۵). تحقیقات نشان می‌دهند که مکمل‌های امگا-۳ می‌توانند مسیرهای سیگنالینگ آنابولیک را تحریک کنند که در افراد مسن‌تر فعالیت کمتری دارند؛ در نتیجه عملکرد عضلات و انعطاف‌پذیری را به طور مؤثرتری نسبت به جمعیت‌های جوان‌تر که معمولاً سلامت عضلانی پایه بهتری دارند، بهبود می‌بخشد (۳۶). از سوی دیگر، افراد مسن اغلب التهاب مزمن با درجه پایین را تجربه می‌کنند که می‌تواند به سفتی عضلات و کاهش انعطاف‌پذیری کمک کند. اسیدهای چرب امگا-۳ به دلیل خواص ضدالتهابی خود شناخته‌شده هستند. با کاهش نشانگرهای التهابی، امگا-۳ می‌تواند به کاهش درد و سفتی عضلات کمک کند و منجر به بهبود انعطاف‌پذیری شود. در افراد جوان‌تر که عموماً سطوح پایین‌تری از التهاب و قابلیت‌های بهبودی بهتری دارند، تأثیر امگا-۳ بر انعطاف‌پذیری ممکن است به‌اندازه مشخص نباشد (۳۶). در مطالعه‌ای مروری گزارش شد که اسیدهای چرب امگا-۳ می‌توانند قدرت عضلانی را در افراد مسن افزایش دهند (۳۷). تحقیقات نشان دادند که اگرچه اسیدهای چرب امگا-۳ می‌توانند قدرت عضلانی را در افراد مسن بهبود بخشند، شواهدی مبنی بر اثربخشی آن‌ها در بزرگسالان جوان کمتر است. مطالعه‌ای سیستماتیک نشان داد که مطالعات بسیار کمی به طور خاص اثرات مکمل امگا-۳ را در افراد جوان سالم بررسی کرده‌اند. در میان مطالعات محدود موجود، برخی بهبودهای جزئی در قدرت عضلانی گزارش کردند، اما تغییرات در خورتوجهی را در توده عضلانی یا عملکرد کلی عضله پیدا نکردند (۳۷). افراد جوان معمولاً در مقایسه با بزرگسالان مسن‌تر، عملکرد عضلانی و قابلیت‌های بازیابی بهتری دارند. این امر ممکن است اثرات قابل‌مشاهده مکمل امگا-۳ را محدود کند. در جمعیت‌های جوان‌تر، محرک ناشی از تمرینات مقاومتی اغلب برای افزایش قدرت عضلانی بدون نیاز به مکمل‌های اضافی کافی است؛ در نتیجه اثرات آنابولیک امگا-۳ ممکن است تحت‌تأثیر اثرات بارزتر ورزش قرار گیرد (۳۸).

محدودیت‌های این مطالعه شامل حجم نمونه نسبتاً کوچک و اثرات بالقوه سایر عوامل محیطی (به عنوان مثال، رژیم غذایی و تمرینات تخصصی انعطاف‌پذیری یا قدرتی) یا ژنتیکی بود. روش‌های اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری، قدرت و توان عضلانی محدود به روش مطالعه حاضر نیستند و به ارزیابی با دستگاه‌ها و ابزارهای دیگر برای این متغیرها نیاز است که امکان دارد نتایج دقیق‌تری حاصل شود. از نتایج طرحی شبیه به مطالعه حاضر روی کودکان، زنان و سالمندان مطلع

نیستیم و بهتر است در مطالعات آینده از گروه‌های دیگر نیز برای بررسی عوامل تحقیق حاضر استفاده شود. در این مطالعه اثر تمرینات انعطاف‌پذیری، قدرتی و توانی همراه با مصرف امگا-۳ و ارتباط با پلی‌مورفیسم rs12722 بررسی نشد؛ از این رو مطالعات آتی باید با دقت بیشتری هر گونه تأثیرات تمرینی بر قدرت و انعطاف‌پذیری را توضیح دهند. از محدودیت‌های مهم دیگر مطالعه حاضر این بود که فقط پلی‌مورفیسم COL5A1 rs12722 را آزمایش کردیم. این امکان وجود دارد که پلی‌مورفیسم‌ها و ژن‌های دیگر بر انعطاف‌پذیری، قدرت و توان عضلانی اثرات مختلف داشته باشند؛ بنابراین نتایج این مطالعه را نمی‌توان به سایر جمعیت‌ها تعمیم داد.

نتیجه‌گیری

آل CC پلی‌مورفیسم rs12722 ژن COL5A1 با افزایش انعطاف‌پذیری مرتبط است. همچنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که درمورد قدرت و توان این ارتباط معنادار نبود و مکمل یاری امگا-۳ اثری بر عملکردهای انعطاف‌پذیری، قدرت و توان عضلانی مردان جوان فعال نداشت و با پلی‌مورفیسم COL5A1 rs12722 بدون ارتباط بود؛ بنابراین یافته‌های مطالعه حاضر، شواهد اولیه‌ای مبنی بر ارتباط پلی‌مورفیسم rs12722 با انعطاف‌پذیری، قدرت، توان عضلانی و مکمل امگا-۳ در مردان جوان فعال جامعه آماری این پژوهش فراهم می‌کند.

پیام مقاله

پلی‌مورفیسم rs12722 ارتباط معناداری با انعطاف‌پذیری مردان جوان فعال دارد و یک دوره مکمل یاری امگا-۳ تغییرات معناداری در انعطاف‌پذیری، قدرت و توان ال‌های مختلف پلی‌مورفیسم rs12722 ایجاد نمی‌کند.

ملاحظات اخلاقی

همه آزمودنی‌های تحقیق فرم رضایت‌نامه آگاهانه شرکت در تحقیق را تکمیل و امضا کردند و تمام مراحل تحقیق طبق بیانیه هلسینکی انجام شد. همچنین نویسندگان متعهد می‌شوند که هیچ‌گونه تخلف اخلاقی در فرایند جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل نتایج یا نگارش مقاله صورت نگرفته است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش تمام بخش‌های این مطالعه مشارکت داشتند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی درخصوص این مقاله وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

محققان این مطالعه بر خود لازم می‌دانند از تمامی آزمودنی‌هایی که در مطالعه حاضر شرکت کردند، قدردانی نمایند.

منابع

1. Varillas-Delgado D, Del Coso J, Gutiérrez-Hellín J, Aguilar-Navarro M, Muñoz A, Maestro A, et al. Genetics and sports performance: the present and future in the identification of talent for sports based on DNA testing. *European Journal of Applied Physiology*. 2022;122(8):1811-30. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04945-z>.
2. Dines HR, Nixon J, Lockey SJ, Herbert AJ, Kipps C, Pedlar CR, et al. Collagen gene polymorphisms previously associated with resistance to soft-tissue injury are more common in competitive runners

- than nonathletes. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2023;37(4):799-805. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004291>.
3. Bertuzzi R, Pasqua LA, Bueno S, Lima-Silva AE, Matsuda M, Marquezini M, et al. Is the COL5A1 rs12722 gene polymorphism associated with running economy? PLoS One. 2014;9(9):e106581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106581>.
4. Eynon N, Hanson ED, Lucia A, Houweling PJ, Garton F, North KN, et al. Genes for elite power and sprint performance: ACTN3 leads the way. Sports Medicine. 2013;43:803-17. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0059-4>
5. Holwerda AM, van Loon LJ. The impact of collagen protein ingestion on musculoskeletal connective tissue remodeling: a narrative review. Nutrition Reviews. 2022;80(6):1497-514. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuab083>
6. Birk DE, Fitch JM, Babiarz JP, Doane KJ, Linsenmayer TF. Collagen fibrillogenesis in vitro: interaction of types I and V collagen regulates fibril diameter. Journal of CELL SCIENCE. 1990;95(4):649-57. <https://doi.org/10.1242/jcs.95.4.649>
7. Bulbul A, Ari E, Apaydin N, Ipekoglu G. The impact of genetic polymorphisms on anterior cruciate ligament injuries in athletes: a meta-analytical approach. Biology. 2023;12(12):1526. <https://doi.org/10.3390/biology12121526>
8. Lim S-T, Kim C-S, Kim W-N, Min S-K. The COL5A1 genotype is associated with range of motion. Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry. 2015;19(2):49-53. <https://doi.org/10.5717/jenb.2015.15052701>
9. Collins M, Posthumus M. Type V collagen genotype and exercise-related phenotype relationships: a novel hypothesis. Exercise and Sport Sciences Reviews. 2011;39(4):191-8. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e318224e853>
10. Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. Journal of Applied Physiology. 2001;90(2):520-7. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.2.520>
11. Brown JC, Miller C-J, Posthumus M, Schwellnus MP, Collins M. The COL5A1 gene, ultra-marathon running performance, and range of motion. International Journal of Sports Physiology and Performance. 2011;6(4):485-96. <https://doi.org/10.1123/ijspp.6.4.485>
12. Miyamoto-Mikami E, Miyamoto N, Kumagai H, Hirata K, Kikuchi N, Zempo H, et al. COL5A1 rs12722 polymorphism is not associated with passive muscle stiffness and sports-related muscle injury in Japanese athletes. BMC Medical Genetics. 2019;20:1-9. <https://doi.org/10.1186/s12881-019-0928-2>
13. Zdzieblik D, Oesser S, Baumstark MW, Gollhofer A, König D. Collagen peptide supplementation in combination with resistance training improves body composition and increases muscle strength in elderly sarcopenic men: a randomised controlled trial. British Journal of Nutrition. 2015;114(8):1237-45. <https://doi.org/10.1017/S0007114515002810>
14. Chen M, Zhu X, Zhang L, Zhao D. COL5A2 is a prognostic-related biomarker and correlated with immune infiltrates in gastric cancer based on transcriptomics and single-cell RNA sequencing. BMC Medical Genomics. 2023;16(1):220. <https://doi.org/10.1186/s12920-023-01659-9>
15. Chilton FH, Manichaikul A, Yang C, O'Connor TD, Johnstone LM, Blomquist S, et al. Interpreting clinical trials with omega-3 supplements in the context of ancestry and FADS genetic variation. Frontiers in Nutrition. 2022;8:808054. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.808054>
16. Tremblay BL, Guénard F, Rudkowska I, Lemieux S, Couture P, Vohl M-C. Epigenetic changes in blood leukocytes following an omega-3 fatty acid supplementation. Clinical epigenetics. 2017;9:1-9. <https://doi.org/10.1186/s13148-017-0345-3>

17. Therdyothin A, Phipphothatsanee N, Isanejad M. The effect of omega-3 fatty acids on sarcopenia: mechanism of action and potential efficacy. *Marine Drugs*. 2023;21(7):399. <https://doi.org/10.3390/md21070399>
18. Kyriakidou Y, Wood C, Ferrier C, Dolci A, Elliott B. The effect of Omega-3 polyunsaturated fatty acid supplementation on exercise-induced muscle damage. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2021;18:1-11. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00405-1>
19. Brzycki M. Strength testing—predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*. 1993;64(1):88-90. <https://doi.org/10.1080/07303084.1993.10606684>
20. Pollock ML, Jackson AS. Research progress in validation of clinical methods of assessing body composition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1984;16(6):606-15.
21. Ten Hoor GA, Musch K, Meijer K, Plasqui G. Test-retest reproducibility and validity of the back-leg-chest strength measurements. *Isokinetics and Exercise Science*. 2016;24:209–16. <https://doi.org/10.3233/IES-160619>
22. Collins M, Mokone G, September A, Van der Merwe L, Schwellnus M. The COL5A1 genotype is associated with range of motion measurements. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2009;19(6):803-10. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00915.x>
23. Brown J, Miller CJ, Schwellnus M, Collins M. Range of motion measurements diverge with increasing age for COL5A1 genotypes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2011;21(6):e266-e72. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01271.x>
24. Silva CC, Silva LF, Santos CR, Goldberg TB, Ramos SP, Venancio EJ. Genetic polymorphism on the flexibility of elite rhythmic gymnasts: State of art. *Apunts Medicina de l'Esport*. 2019;54(201):27-35. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2018.10.001>
25. Kim JH, Jung ES, Kim C-H, Youn H, Kim HR. Genetic associations of body composition, flexibility and injury risk with ACE, ACTN3 and COL5A1 polymorphisms in Korean ballerinas. *Journal of exercise nutrition & biochemistry*. 2014;18(2):205. <https://doi.org/10.5717/jenb.2014.18.2.205>
26. Posthumus M, Raleigh SM, Ribbans WJ, Schwellnus MP, Collins M. A functional variant within the MMP3 gene does not associate with human range of motion. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2010;13(6):630-2. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.01.006>
27. Kuno M, Fukunaga T, Hirano Y, Miyashita M. Anthropometric variables and muscle properties of Japanese female ballet dancers. *International journal of sports medicine*. 1996;17(2):100-5.
28. Posthumus M, September AV, O'Cuinneagain D, van der Merwe W, Schwellnus MP, Collins M. The COL5A1 gene is associated with increased risk of anterior cruciate ligament ruptures in female participants. *The American Journal of Sports Medicine*. 2009; 37(11):2234-40. <https://doi.org/10.1177/0363546509338266>
29. Gharakhanlou R, Mollanouri Shamsi M. Investigating the relationship between ACTN3 rs1815739 and COL5A1 rs12722 polymorphisms with power performance following plyometric exercises. *Research in Sport Medicine and Technology*. 204. In Press.
30. Clarkson PM, Devaney JM, Gordish-Dressman H, Thompson PD, Hubal MJ, Urso M, et al. ACTN3 genotype is associated with increases in muscle strength in response to resistance training in women. *Journal of Applied Physiology*. 2005;99(1):154-63. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01139.2004>
31. Miyamoto-Mikami E, Miyamoto N, Kumagai H, Hirata K, Kikuchi N, Zempo H, et al. COL5A1 rs12722 polymorphism is not associated with passive muscle stiffness and sports-related muscle injury in Japanese athletes. *BMC Medical Genetics*. 2019;20(1):1-9. <https://doi.org/10.1186/s12881-019-0928-2>

32. Jacob Y, Anderton RS, Cochrane Wilkie JL, Rogalski B, Laws SM, Jones A, et al. Genetic variants within NOGGIN, COL1A1, COL5A1, and IGF2 are associated with musculoskeletal injuries in elite male Australian football league players: a preliminary study. *Sports Medicine-Open*. 2022;11;8(1):126. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00522-y>
33. Fernández-Lázaro D, Arribalzaga S, Gutiérrez-Abejón E, Azarbayjani MA, Mielgo-Ayuso J, Roche E. Omega-3 fatty acid supplementation on post-exercise inflammation, muscle damage, oxidative response, and sports performance in physically healthy adults—a systematic review of randomized controlled trials. *Nutrients*. 2024;16(13):2044. <https://doi.org/10.3390/nu16132044>
34. Anacleto GMC, Rica RL, Maifrino LBM, Maia AF, Ribeiro SML, Bocalini DS, et al. Additional effects of stretching training program and supplementation with omega-3 in older people. *Journal of Physical Education and Sport*. 2019;19:473-80. <https://doi.org/10.7752/jpes.2019.s2069>
35. Gammone MA, Riccioni G, Parrinello G, D'Orazio N. Omega-3 polyunsaturated fatty acids: benefits and endpoints in sport. *Nutrients*. 2019;11(1):46. <https://doi.org/10.3390/nu11010046>
36. Balachandran A, Gundermann DM, Walkup MP, King AC, Ambrosius WT, Kritchevsky SB, et al. Association of fish oil and physical activity on mobility disability in older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2020;52(4):859. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002195>
37. Moon GK, Bu SY. Effects of Omega-3 Fatty acid supplementation on skeletal muscle mass and strength in adults: a systematic review. *Clinical Nutrition Research*. 2023;12(4):304. <https://doi.org/10.7762/cnr.2023.12.4.304>
38. Cornish SM, Cordingley DM, Shaw KA, Forbes SC, Leonhardt T, Bristol A, et al. Effects of omega-3 supplementation alone and combined with resistance exercise on skeletal muscle in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients*. 2022;14(11):2221. <https://doi.org/10.3390/nu14112221>