University of Tehran Press

Journal of Sport Biosciences

Online ISSN: 2676-4148

Time-Course Responses of Pro-Inflammatory Markers to a Single Bout of Throwing Exercise in Athletes

Marzouq Reda Yousef Mohammad Al-Obaidi[1], Kia Ranjbar[2]✉, Pejman Motamedi[3], Sadegh Amani Shalamzari[4], Mostafa Teimourian[5]

1. PhD Student in Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. Email Address: Kia.ranjbar@khu.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. Email Address: pezhman.motamedi@khu.ac.ir
4. Associate Professor, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. Email Address: amani_sadegh@khu.ac.ir,
5. Assistant Professor, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. Email Address: mo.teimourian@khu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research

Article history:
Received:
28 May 2026
Received in revised form:
2 Aguste 2026
Accepted:
26 July 2026
Published online:
19 April 2026

Keywords:
C-reactive protein,
Explosive exercise,
Inflammation kinetics,
Interleukin-6,
Professional athletes.

ABSTRACT

Introduction: Managing training load and recovery in professional athletes requires a precise understanding of the kinetics of inflammatory markers. The present study aimed to investigate the time-course responses of interleukin-6 (IL-6) and C-reactive protein (CRP) to a single specialized throwing exercise session in elite athletes in this discipline.

Methods: In this quasi-experimental study with a repeated-measures design, 10 professional male throwers were purposively selected. The participants performed a maximal-intensity throwing exercise session. Blood samples were collected at three time points: baseline, immediately after exercise, and 2 hours after exercise, to measure serum IL-6 and CRP levels. Data were analyzed using repeated-measures analysis of variance (ANOVA).

Results: The results showed that IL-6 levels increased significantly immediately after exercise, from 1.25 to 10.84 pg/mL ($P < 0.001$). At the second hour of recovery, despite the onset of a decreasing trend, IL-6 levels remained significantly higher than baseline (7.52 pg/mL, $P < 0.001$). The difference between the immediately post-exercise and 2-hour recovery values was also significant ($P < 0.001$). In contrast, CRP levels did not change significantly immediately after exercise compared with pre-exercise values ($P > 0.05$); however, at the second hour of recovery, they showed a significant increase compared with both pre-exercise and immediately post-exercise values, increasing from 0.65 to 1.95 mg/L ($P < 0.001$).

Conclusion: Explosive and power-based throwing exercise stimulates a rapid response in circulating cytokines (IL-6) and a delayed response in acute-phase proteins (CRP). Given the increase in inflammatory markers during the early hours of recovery, coaches should pay particular attention to this inflammatory window when scheduling consecutive training sessions for professional athletes.

Cite this article: Al-Obaidi, M.R.Y.M.; Ranjbar. K.; Motamedi. P.; Amani Shalamzari. S.; Teimourian. M. Time-Course Responses of Pro-Inflammatory Markers to a Single Bout of Throwing Exercise in Athletes. *Journal of Sport Biosciences*. 2026; 18 (1):53-63.
DOI: http//doi.org/10.22059/JSB.2026.414128.1707.

Journal of Sport Biosciences by University of Tehran Press is licensed under CC BY-NC 4.0. | Web site: https://jsb.ut.ac.ir/ | Email: jsb@ut.ac.ir.

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

University of Tehran Press

Journal of Sport Biosciences

Online ISSN: 2676-4148

Extended abstract

Introduction

Managing training load and recovery in professional athletes requires precise understanding of inflammatory marker kinetics. Exercise-induced inflammation involves interplay of cytokines and acute-phase proteins, among which interleukin-6 (IL-6) and C-reactive protein (CRP) are notable for their distinct temporal patterns. IL-6 is a rapid, sensitive marker of exercise-induced inflammation, often increasing immediately after strenuous activity. CRP, synthesized by the liver, shows a delayed response, peaking hours after exercise.

Understanding these responses is crucial for athletes in explosive, power-based sports like throwing, where high-intensity efforts impose unique mechanical and metabolic demands. Despite extensive research on inflammatory responses to endurance and resistance exercise, data on IL-6 and CRP kinetics following specialized throwing exercise in elite athletes remain scarce. Throwing events involve maximal-intensity efforts with explosive and eccentric contractions, potentially causing muscle damage and systemic inflammation. However, how quickly IL-6 peaks, how long it stays elevated, and CRP's delayed kinetics remain poorly characterized in this population. This gap is relevant for coaches and practitioners making decisions about training scheduling and recovery.

This study investigated IL-6 and CRP time-course responses to a single throwing session in elite athletes, aiming to provide practical insights for optimizing training load and recovery in professional throwers.

Methods

This quasi-experimental study used a repeated-measures design. Ten professional male throwers were purposively selected (mean age: 24.20 ± 1.71 years; height: 191.10 ± 7.08 cm; weight: 101.2 ± 8.21 kg; BMI: 27.73 ± 1.71 kg/m²). All provided written informed consent. The protocol was approved by Kharazmi University Ethics Committee (IR.KHU.REC.1405.066) and followed Declaration of Helsinki standards. Participants avoided strenuous activity for 48 hours before testing and maintained similar dietary habits. Testing occurred at the same time of day to control circadian variations.

The exercise protocol comprised 6 sets of 4–6 maximal-intensity throws with competition-weight implements, with 60 seconds rest between repetitions and 5 minutes between sets. RPE scale confirmed intensity >8 ("very hard" to "maximal").

Blood samples were collected at baseline, immediately after exercise, and 2 hours post-exercise. Samples were centrifuged (3,000 rpm, 10 min, 4°C) and stored at -80°C. Serum IL-6 and hs-CRP were measured using validated ELISA kits (Pars Azmoon, Iran). Intra- and inter-assay CVs were <10%.

Data were analyzed using SPSS v26. Repeated-measures ANOVA compared markers across time points, with Bonferroni post-hoc tests for specific differences. Significance was set at $P < 0.05$.

Results

Participants exhibited the muscular physique typical of elite throwers. Significant time effects were found for both IL-6 ($F = 91.52$, $P < 0.001$, $\eta^2 = 0.976$) and CRP ($F = 52.91$, $P < 0.001$, $\eta^2 = 0.939$). Serum IL-6 increased from 1.25 ± 0.26 pg/mL at baseline to 10.48 ± 1.25 pg/mL immediately post-exercise, decreasing to 7.25 ± 0.95 pg/mL at 2 hours. CRP changed from 0.45 ± 0.21 mg/L at baseline to 0.75 ± 0.26 mg/L immediately post-exercise, rising to 1.95 ± 0.48 mg/L at 2 hours.

Bonferroni tests showed IL-6 increased significantly from baseline to immediately post-exercise (~8-fold, $P < 0.001$), remained elevated at 2 hours ($P < 0.001$), with significant difference between immediate and 2-hour values ($P < 0.001$). CRP showed no significant immediate change ($P > 0.05$) but increased significantly at 2 hours compared to both baseline and immediate values ($P < 0.001$).

IL-6 exhibited rapid increase immediately post-exercise, partial decline at 2 hours, but remained above baseline. CRP showed delayed response, with marked increase only at 2 hours. These divergent patterns indicate explosive throwing exercise stimulates rapid cytokine (IL-6) and delayed acute-phase protein (CRP) responses, with implications for recovery monitoring and training scheduling.

Conclusion

This study examined IL-6 and CRP time-course responses to specialized throwing exercise in professional athletes. The explosive protocol induced systemic inflammation with distinct temporal phases. IL-6 peaked immediately post-exercise, while CRP rose in early recovery.

The dramatic IL-6 increase likely stems from mechanical stress on muscle fibers from maximal power production and intense eccentric contractions, causing rapid IL-6 release as a myokine. Unlike trauma-induced inflammation, this increase likely reflects glycogen depletion and metabolic signaling. IL-6's role in glucose homeostasis and lipolysis suggests the ~8-fold increase indicates high metabolic demand on elite athletes.

IL-6's declining trend within 2 hours indicates its short plasma half-life and efficient regulation in professional athletes. However, elevated levels above baseline at 2 hours suggest ongoing tissue repair and systemic signaling despite ceased muscle contraction, consistent

University of Tehran Press
Journal of Sport Biosciences
Online ISSN: 2676-4148

with studies showing continued repair processes hours after activity.

CRP's delayed increase at 2 hours confirms its "delayed acute-phase protein" nature. CRP synthesis requires chemical signals (mainly IL-6) and gene transcription, causing natural time delay. Even a single throwing session sufficiently stimulates acute-phase response. CRP increase reflects innate immune activation for debris breakdown and anabolic phase initiation for tissue repair.

The sequential relationship between markers is confirmed: IL-6 rapidly elevates, triggering CRP production in subsequent hours. This is practically important for coaches, as early recovery represents a "hazardous" inflammatory window when athletes are vulnerable to illness due to temporary immune suppression.

Compared to similar research, this explosive protocol caused high cytokine response but shorter persistence. Professional athletes likely possess efficient antioxidant and anti-inflammatory mechanisms from chronic training exposure. However, the nearly 3-fold CRP increase at 2 hours warns that even short maximal exercise creates severe systemic stress requiring precise recovery strategies.

In conclusion, a single throwing session triggers biphasic inflammatory response with different temporal patterns for IL-6 and CRP. IL-6 peaks immediately post-exercise; CRP elevates significantly at 2 hours. Coaches should consider this inflammatory window when scheduling consecutive training sessions. Practitioners should account for inflammatory marker temporal dynamics when designing training and recovery interventions, implementing adequate recovery time, nutritional strategies, and targeted modalities (massage, nutrition, hydrotherapy) to mitigate negative consequences and optimize training adaptation.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: Approved by Kharazmi University Ethics Committee (IR.KHU.REC.1405.066).
Funding: No specific funding received.
Authors' contribution: All authors contributed to design, data collection, analysis, and manuscript preparation.
Conflict of interest: None declared.
Acknowledgments: Gratitude to all participating athletes.

علوم زیستی ورزشی
انتشارات دانشگاه تهران
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۱۴۸

واکنش زمان‌بندی‌شدهٔ شاخص‌های پیش التهابی به یک جلسه تمرین پرتابی در ورزشکاران

مرزوق رضا یوسف محمد العبیدی[۱]، کیا رنجبر[۲]✉، پژمان معتمدی[۳]، صادق امانی[۴]، مصطفی تیموریان[۵]

۱.دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۲.استادیار گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، رایانامه (kia.ranjbar@khu.ac.ir).
۳.دانشیار گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. (pezhman.motamedi@khu.ac.ir)
۴.دانشیار گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. (amani_sadegh@khu.ac.ir)
۵.استادیار گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، رایانامه (mo.teimourian@khu.ac.ir)

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۳/۰۷ /۱۴۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۱ /۰۵ /۱۴۰۵
تاریخ پذیرش: ۰۷/۰۴ /۱۴۰۵
تاریخ انتشار: ۳۰ /۰۱ /۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:
اینترلوکین-۶
پروتئین واکنش‌گر C
تمرین انفجاری
کینتیک التهاب
ورزشکاران حرفه‌ای

چکیده

مقدمه: مدیریت بار تمرین و ریکاوری در ورزشکاران حرفه‌ای نیازمند درک دقیق کینتیک شاخص‌های التهابی است. پژوهش حاضر با هدف بررسی واکنش زمان‌بندی‌شدهٔ اینترلوکین-۶ (IL-6) و پروتئین واکنشگر C (CRP) به یک جلسه تمرین تخصصی پرتابی در ورزشکاران نخبهٔ این رشته انجام گرفت.

روش پژوهش: در این پژوهش نیمه‌تجربی با طرح اندازه‌گیری مکرر، ۱۰ پرتابگر مرد حرفه‌ای به‌صورت هدفمند انتخاب شدند. آزمودنی‌ها یک جلسه تمرین پرتابی با شدت بیشینه را اجرا کردند. نمونه‌های خونی در سه مرحله: پایه (Baseline)، بلافاصله پس از فعالیت و دو ساعت پس از تمرین جهت اندازه‌گیری سطوح سرمی IL-6 و CRP جمع‌آوری شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که سطح IL-6 بلافاصله پس از تمرین به‌طور معناداری افزایش یافت از ۱/۲۵ به ۱۰/۸۴ پیکوگرم بر میلی‌لیتر، ($P<0/001$) و در ساعت دوم ریکاوری، علی‌رغم شروع روند کاهشی، همچنان به‌طور معناداری بالاتر از مقادیر پایه باقی ماند ۷/۵۲ پیکوگرم بر میلی‌لیتر ($P<۰/۰۰۱$). همچنین اختلاف بین بلافاصله پس از تمرین و دو ساعت ریکاوری معنادار بود ($P<۰/۰۰۱$). در مقابل، سطوح CRP بلافاصله پس از تمرین نسبت به قبل از تمرین تغییر معناداری نداشت ($P>۰/۰۵$)، اما در ساعت دوم ریکاوری نسبت به قبل از تمرین و بلافاصله پس از تمرین افزایش معناداری نشان داد (از ۰/۶۵ به ۱/۹۵ میلی‌گرم بر لیتر، $P<0/001$).

نتیجه‌گیری: تمرینات انفجاری و توان‌محور پرتابی، موجب تحریک سریع سایتوکاین‌های گردشی (IL-6) و پاسخ تأخیری پروتئین‌های فاز حاد (CRP) می‌شود. با توجه به اوج‌گیری شاخص‌های التهابی در ساعات اولیهٔ ریکاوری، مربیان باید در چیدمان جلسات تمرینی متوالی برای ورزشکاران حرفه‌ای، به این پنجره زمانی التهابی توجه ویژه‌ای داشته باشند.

استناد: محمد العبیدی، مرزوق رضا یوسف.؛ رنجبر، کیا.؛ معتمدی، پژمان.؛ امانی، صادق.؛ تیموریان، مصطفی. واکنش زمان‌بندی‌شدهٔ شاخص‌های پیش التهابی به یک جلسه تمرین پرتابی در ورزشکاران. *نشریه علوم زیستی ورزشی*.۱۴۰۵؛ (۱)۱۸؛ ۶۳-۵۳.

DOI: http//doi.org/10.22059/JSB.2026.414128.1707.

دسترسی به این نشریه علمی، رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کریتیو کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است.| آدرس نشریه: https://jsb.ut.ac.ir/ | ایمیل: jsb@ut.ac.ir

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

تعادل میان بار تمرینی و ریکاوری، از حیاتی‌ترین چالش‌ها در برنامه‌ریزی تمرینات ورزشکاران حرفه‌ای و نخبه است. فعالیت بدنی، بسته به شدت، مدت و نوع انقباض عضلانی، مجموعه‌ای از پاسخ‌های تطابقی یا استرس‌زا را در دستگاه‌های مختلف بدن، به‌ویژه سیستم ایمنی و غدد درون‌ریز برمی‌انگیزد. در دهه‌های اخیر، تعامل بین فعالیت عضلانی و پاسخ‌های التهابی به یکی از جذاب‌ترین حوزه‌های فیزیولوژی ورزشی تبدیل شده است.

محققان دریافته‌اند که عضلات اسکلتی تنها اندام‌های حرکتی نیستند، بلکه به‌عنوان یک غدهٔ درون‌ریز عمل کرده و در پاسخ به انقباض، پروتئین‌هایی باعنوان «میوکاین»[1] ترشح می‌کنند که پیام‌های بیوشیمیایی را به سایر ارگان‌ها مخابره می‌کنند [۱–۳].

یکی از کلیدی‌ترینِ این پیام‌رسان‌ها، اینترلوکین-۶ (IL-6)[2] است. این شاخص که هم به‌عنوان یک سایتوکاین پیش‌التهابی و هم یک میوکاین شناخته می‌شود، نخستین فاکتوری است که در پاسخ به استرس مکانیکی و متابولیک وارد گردش خون می‌شود. برخلاف پاسخ‌های التهابی ناشی از عفونت، افزایش IL-6 در ورزش به‌طور معمول با افزایش سایتوکاین‌های ضدالتهابی همراه است، اما غلظت و زمان‌بندی ظهور آن در پلاسما، به‌طور مستقیم با حجم تودهٔ عضلانی درگیر و شدت فشار تمرین رابطه دارد. نقش IL-6 در ورزش بسیار گسترده است؛ از تحریک لیپولیز و افزایش جذب گلوکز گرفته تا ارسال سیگنال به کبد برای سنتز پروتئین‌های فاز حاد. بنابراین، مطالعهٔ کینتیک تغییرات این سایتوکاین می‌تواند بینش دقیقی از میزان فشار واردشده بر هموستاز بدن ورزشکار ارائه دهد [۴،۵].

در ادامه زنجیرهٔ پاسخ‌های فاز حاد، پروتئین واکنشگر C (CRP)[3] قرار دارد. CRP پروتئینی است که در کبد و در پاسخ به سیگنال‌های دریافتی از IL-6 سنتز می‌شود. این شاخص معتبرترین نشانگر غیرتخصصی التهاب در علوم پزشکی و ورزشی است. درحالی‌که افزایش حاد IL-6 بازتاب‌دهندهٔ فشار لحظه‌ای تمرین است، تغییرات CRP به‌طور معمول با تأخیر زمانی همراه بوده و نمایانگر پاسخ سیستمیک بدن به آسیب‌های ریزساختاری[4] در تارهای عضلانی و بافت همبند است. بالا ماندن سطوح این پروتئین در دورهٔ ریکاوری می‌تواند نشانه‌ای از عدم بازگشت بدن به حالت اولیه و پتانسیل بروز سندروم بیش‌تمرینی باشد. از این‌رو رصد کردن همزمان یک شاخص سریع (IL-6) و یک شاخص تأخیری (CRP) می‌تواند پروفایل کاملی از وضعیت التهابی ورزشکار را ترسیم کند [۶–۹].

با وجود حجم انبوه مطالعات در ورزش‌های استقامتی و میان‌مدت، حوزهٔ ورزش‌های توان‌محور و انفجاری، به‌ویژه رشتهٔ پرتاب‌ها (مانند پرتاب وزنه، دیسک و نیزه)، با شکاف تحقیقاتی عمیقی روبه‌روست. ماهیت تمرینات پرتابی شامل انقباضات برون‌گرای[5] شدید، سرعت بالای اجرای مهارت و به‌کارگیری حداکثر توان در بازه‌های زمانی بسیار کوتاه است. این نوع فعالیت‌ها پتانسیل بسیاری برای ایجاد تنش مکانیکی در سارکولم و متعاقباً تحریک پاسخ‌های ایمنی دارند. ورزشکاران حرفه‌ای این رشته‌ها به‌دلیل تطابق‌های فیزیولوژیک ناشی از سال‌ها تمرین، ممکن است الگوهای واکنشی متفاوتی نسبت به افراد عادی یا ورزشکاران سایر رشته‌ها نشان دهند [۱۰،۱۱].

مسئلهٔ حائز اهمیت دیگر، «زمان‌بندی» این واکنش‌هاست. بسیاری از تحقیقات تنها به اندازه‌گیری پیش و پس از تمرین بسنده کرده‌اند، درحالی‌که اوج پاسخ‌های التهابی و نحوهٔ فروکش کردن آنها در ساعات اولیهٔ ریکاوری[6] از منظر کاربردی برای مربیان و پزشکان تیم‌ها بسیار حیاتی است. درک اینکه چه زمانی بدن در اوج فاز التهابی قرار دارد و چه زمانی فرایند بازگشت به حالت اولیه آغاز می‌شود، می‌تواند در تنظیم جلسات تمرینی بعدی و استفاده از راهکارهای ریکاوری (مانند ماساژ، تغذیه یا آب‌درمانی) نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا کند [۱۰–۱۳].

با توجه به مبانی ذکرشده و فقدان داده‌های کافی در مورد کینتیک سایتوکاین‌ها در فعالیت‌های فوق‌انفجاری، پژوهش حاضر به‌دنبال پاسخ به این پرسش است که یک جلسه تمرین تخصصی پرتابی با حجم و شدت استاندارد در ورزشکاران نخبهٔ این رشته، چه تأثیری بر الگوی زمانی تغییرات IL-6 و CRP در مراحل بلافاصله و دو ساعت پس از تمرین دارد؟ یافته‌های این تحقیق نه‌تنها به غنای ادبیات

---

1. Myokines
2. Interlukine 6
3. C-reactive protein
4. Microtrauma
5. Eccentric
6. Acute Recovery Phase

تحقیق در حوزهٔ ایمونولوژی ورزشی می‌افزاید، بلکه راهکارهای عملیاتی دقیقی را برای مدیریت بار تمرین در ورزش‌های قدرتی–انفجاری فراهم خواهد آورد [۱۴].

روش‌شناسی پژوهش

طرح پژوهش و آزمودنی‌ها

پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی با طرح اندازه‌گیری مکرر بود. جامعهٔ آماری پرتابگران حرفه‌ای مرد بودند از میان آنها ۱۰ نفر به‌صورت هدفمند انتخاب شدند. پیش از شروع، اهداف و خطرهای احتمالی پژوهش برای آزمودنی‌ها تشریح و برگهٔ رضایت‌نامهٔ آگاهانه توسط آنان تکمیل شد. همچنین از آزمودنی‌ها خواسته شد ۴۸ ساعت پیش از آزمون از انجام هرگونه فعالیت ورزشی شدید خودداری ورزند و رژیم غذایی مشابهی را رعایت کنند.

اندازه‌گیری‌های پیکرسنجی

ابتدا ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی‌ها اندازه‌گیری شد. قد با استفاده از قدسنج دیواری (مدل سکا، آلمان) با دقت ۰/۱ سانتی‌متر و وزن با ترازو دیجیتال (مدل سکا، آلمان) با دقت ۰/۱ کیلوگرم درحالی‌که آزمودنی‌ها حداقل لباس را به تن داشتند، سنجیده شد. شاخص تودهٔ بدنی (BMI) نیز از تقسیم وزن (کیلوگرم) بر مجذور قد (متر) محاسبه شد.

پروتکل تمرین توانی پرفشار

پروتکل تمرینی شامل پرتاب وزنه با وزنهٔ رقابتی بود که در ۸ ست و با ۴ تا ۶ تکرار در هر ست اجرا شد. آزمودنی‌ها بین هر تکرار ۶۰ ثانیه و بین هر ست پنج دقیقه استراحت غیرفعال داشتند. برای اطمینان از اعمال فشار بیشینه و کنترل شدت تمرین، از مقیاس درک فشار امنی[1] استفاده شد که تمامی آزمودنی‌ها شدت تمرین را در محدودهٔ «پرفشار» (بالای ۸) گزارش کردند [۱۵–۱۷].



شکل ۱. پروتکل اجرایی برای تمرین پرتاب وزنه و میزان درک فشار (RPE)

خون‌گیری و سنجش شاخص‌های بیوشیمیایی

به‌منظور اندازه‌گیری سطوح IL-6 وCRP ، نمونه‌های خون وریدی در سه مرحلهٔ زمانی: ۱. پیش از تمرین (حالت پایه)، ۲. بلافاصله پس از اتمام پروتکل تمرینی و ۳. دو ساعت پس از پایان تمرین از ورید بازویی آزمودنی‌ها در شرایط آزمایشگاهی استاندارد گرفته شد.

[1]. Omni Scale

نمونه‌های خون بلافاصله در لوله‌های حاوی EDTA جمع‌آوری و با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. سرم جداشده تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۸۰- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد.

سنجش سطوح سرمی اینترلوکین-۶ (IL-6) و پروتئین واکنش‌گر C با حساسیت بالا (hs-CRP) با استفاده از کیت‌های معتبر پارس‌آزمون ساخت ایران و به روش الایزا (ELISA) بر اساس دستورالعمل سازنده انجام گرفت. همهٔ مراحل اجرای پروتکل تمرینی و جمع‌آوری داده‌های بیوشیمیایی در آزمایشگاه تخصصی فیزیولوژی ورزشی و در شرایط کنترل‌شدهٔ محیطی انجام پذیرفت.

تحلیل آماری

جدول ۱ ویژگی دموگرافی آزمودنی‌ها را نشان می‌دهد. توزیع طبیعی داده‌ها با آزمون شاپیروویلک بررسی شد. برای مقایسهٔ تغییرات شاخص‌ها در سه مرحلهٔ زمانی از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر[1]استفاده شد. در صورت مشاهدهٔ تفاوت معنادار، آزمون تعقیبی بونفرونی به‌منظور تعیین محل تفاوت‌ها به‌کار گرفته شد. همهٔعملیات آماری در نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۶ و در سطح معناداری P < ۰۵/۰ انجام گرفت.

مطابق جدول ۲، اثر زمان بر تغییرات IL-6 و CRP معنادار بود (P>۰/۰۰۱). نتایج آزمون تعقیبی Bonferroni (جدول ۳) نشان داد که غلظت IL-6 بلافاصله پس از تمرین و دو ساعت پس از تمرین نسبت به قبل از تمرین به‌طور معناداری افزایش یافت (P>۰/۰۰۱). همچنین اختلاف بین بلافاصله پس از تمرین و دو ساعت پس از تمرین معنادار بود (P<۰/۰۰۱). در مقابل، CRPبلافاصله پس از تمرین نسبت به قبل از تمرین تغییر معناداری نداشت (P>۰/۰۵)، اما دو ساعت پس از تمرین نسبت به هر دو مرحلهٔ قبل افزایش معناداری نشان داد (P>۰/۰۰۱) (نمودار۳).

جدول ۱. ویژگی دموگرافی آزمودنی‌ها (۱۰ نفر)

متغیرها	میانگین و انحراف معیار
سن (سال)	۲۰/۶ ± ۱/۷۱
قد (متر)	۱/۹۱ ± ۰/۷
وزن (کیلوگرم)	۱۰۱/۲ ± ۸/۲
شاخص تودهٔ بدنی	۲۷/۷ ± ۱/۱

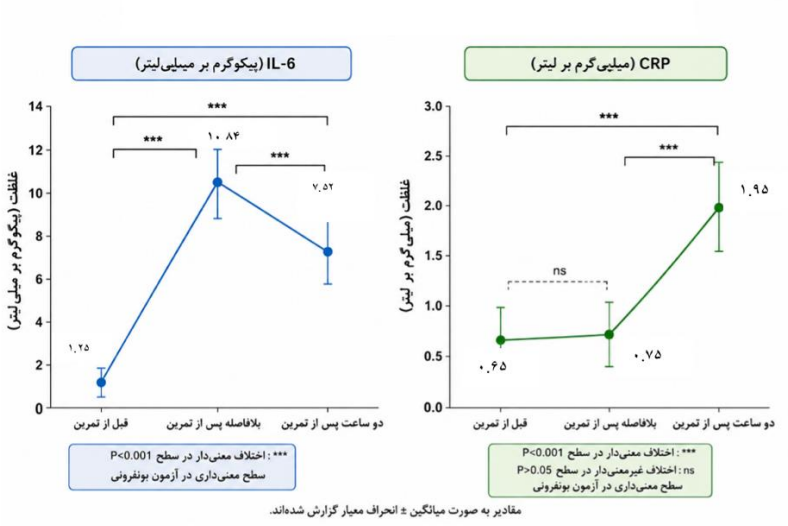
جدول ۲. آمار توصیفی و نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر

متغیر	قبل از تمرین (Mean±SD)	بلافاصله پس از تمرین (Mean±SD)	دو ساعت پس از تمرین (Mean±SD)	F	P	Partial η²
IL-6 (pg/mL)	۰/۶۲ ± ۱/۲۵	۲/۴۱ ± ۱۰/۸۴	۱/۹۵ ± ۷/۵۲	۳۶۰/۹۱۲	<۰/۰۰۱	۰/۹۷۶
CRP (mg/L)	۰/۲۱ ± ۰/۶۵	۰/۲۶ ± ۰/۷۵	۰/۴۸ ± ۱/۹۵	۱۳۸/۵۲۹	<۰/۰۰۱	۰/۹۳۹

جدول ۳. نتایج آزمون تعقیبی Bonferroni

متغیر	مقایسه	اختلاف میانگین	P-value
IL-6	قبل ← بلافاصله بعد	۹/۵۹	<۰/۰۰۱
	قبل ← دو ساعت بعد	۶/۲۷	<۰/۰۰۱
	بلافاصله بعد ← دو ساعت بعد	۳/۳۲	<۰/۰۰۱
CRP	قبل ← بلافاصله بعد	۰/۱۰	>۰/۰۵
	قبل ← دو ساعت بعد	۱/۳۰	<۰/۰۰۱
	بلافاصله بعد ← دو ساعت بعد	۱/۲۰	<۰/۰۰۱

[1]. Repeated Measures ANOVA



نمودار ۱. پاسخ حاد IL-6 و CRP در طول دورهٔ زمانی در پی تمرینات توانی شدید

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر، بررسی واکنش زمان‌بندی‌شده شاخص‌های التهابی حاد IL-6 و CRP به یک جلسه تمرین پرتابی در ورزشکاران حرفه‌ای بود. یافته‌های کلیدی این تحقیق نشان داد که پروتکل تمرین انفجاری (پرتاب وزنه) به ایجاد یک پاسخ التهابی سیستمیک اما با فازهای زمانی متفاوت در دو شاخص مورد بررسی منجر شده است. کینتیک تغییرات نشان داد که IL-6 به‌عنوان یک نشانگر سریع و حساس، بلافاصله پس از تمرین به اوج خود می‌رسد، درحالی‌که CRP به‌عنوان یک پروتئین فاز حاد تأخیری، در ساعات اولیهٔ ریکاوری روند صعودی خود را آغاز می‌کند [۱۸].

در تحلیل افزایش شدید غلظت IL-6 بلافاصله پس از تمرین، می‌توان چندین سازوکار فیزیولوژیک را مطرح کرد؛ نخست، ماهیت تمرینات پرتابی که بر پایه تولید حداکثر توان در بازهٔ زمانی بسیار کوتاه و با تکیه بر انقباضات برون‌گرای شدید است، به ایجاد تنش مکانیکی شایان توجهی بر سارکولم تارهای عضلانی منجر می‌شود. این تنش مکانیکی سبب آزاد شدن سریع IL-6 از سلول‌های عضلانی (به‌عنوان میوکاین) به درون جریان خون می‌شود. برخلاف پاسخ‌های التهابی ناشی از تروما یا عفونت، افزایش سریع IL-6 در ورزشکاران حرفه‌ای حاضر در این پژوهش، احتمالاً ناشی از تخلیهٔ ذخایر گلیکوژن درون‌عضلانی و نیاز به سیگنال‌دهی متابولیک است. از آنجایی که IL-6 نقش مهمی در تنظیم هموستاز گلوکز و لیپولیز در حین فعالیت‌های شدید ایفا می‌کند، جهش حدوداً هشت‌برابری این شاخص بلافاصله پس از فعالیت نشان‌دهندهٔ فشار متابولیک بالای این پروتکل بر ورزشکاران نخبه است [۱۹، ۲۰].

نکتهٔ حائز اهمیت در کینتیکIL-6 ، آغاز روند کاهشی آن در بازهٔ زمانی دو ساعت پس از تمرین است. این کاهش نشان‌دهندهٔ نیمه‌عمر کوتاه این سایتوکاین در پلاسما و کارایی سیستم‌های تنظیمی در ورزشکاران حرفه‌ای برای کنترل فاز اولیهٔ التهاب است. با این حال، باقی ماندن سطح IL-6 در مقادیر بالاتر از پایه در ساعت دوم ریکاوری، بیانگر این است که اگرچه محرک اصلی (انقباض عضلانی) متوقف شده، اما فرایندهای ترمیم بافتی و پیام‌رسانی سیستمیک همچنان فعال‌اند. این یافته با پژوهش‌هایی که بیان می‌کنند پروتئین‌های ترشح‌شده از عضلات درگیر، تا ساعت‌ها پس از اتمام فعالیت به بازسازی بافتی کمک می‌کنند، همسوست [۲–۵].

در بخش دوم یافته‌ها، الگوی تغییرات CRP تفاوت معناداری را با IL-6 نشان داد. عدم تغییر محسوس CRP بلافاصله پس از ورزش و سپس افزایش معنادار آن در دو ساعت پس از تمرین، به‌خوبی ماهیت «پروتئین فاز حاد» بودن این شاخص را تأیید می‌کند. از منظر

فیزیولوژیک، سنتز CRP در کبد مستلزم دریافت سیگنال‌های شیمیایی (اغلب از طریق IL-6) و طی شدن فرایند ترجمه و رونویسی پروتئین است که به‌طور طبیعی با تأخیر زمانی همراه است. یافته‌های ما نشان می‌دهد که در ورزش‌های انفجاری مانند پرتاب وزنه، حتی یک جلسه تمرین نیز می‌تواند محرک کافی برای کبد جهت آغاز پاسخ فاز حاد فراهم کند. افزایش CRP در ساعت دوم ریکاوری، بازتاب‌دهندهٔ فرایند التهاب ثانویه است که برای پاکسازی بقایای سلولی ناشی از میکروتروماهای تمرین و آغاز مرحلهٔ آنابولیک ضروری به‌نظر می‌رسد [۷،۸].

تداوم صعودی سطح CRP درحالی‌که IL-6 روند نزولی به خود گرفته است، تأییدکنندهٔ یک رابطهٔ متوالی بین این دو شاخص است. در واقع، IL-6 ترشح‌شده در دقایق اولیهٔ تمرین، به‌عنوان یک محرک بالادستی عمل کرده و کبد را برای تولید CRP در ساعات بعدی آماده کرده است. این موضوع از منظر کاربردی برای مربیان بسیار حیاتی است، چراکه نشان می‌دهد وضعیت فیزیولوژیک ورزشکار در ساعت دوم ریکاوری، از نظر التهابی حتی «حادتر» از زمان بلافاصله پس از تمرین است. این دورهٔ زمانی، همان پنجره‌ای است که ورزشکار بیشترین آسیب‌پذیری را نسبت به عوامل بیماری‌زا دارد و سیستم ایمنی بخش بزرگی از توان خود را صرف پاسخ به استرس تمرین کرده است.

در مقایسهٔ یافته‌های حاضر با مطالعات در رشته‌های استقامتی، به‌نظر می‌رسد که در ورزش‌های انفجاری، شدتِ پاسخ سایتوکاین‌ها بسیار بالا اما مدت زمان پایداری آنها کوتاه‌تر است. ورزشکاران حرفه‌ای پرتابی به‌دلیل سازگاری‌های مزمن، احتمالاً دارای سازوکارهای بازخوردی قوی‌تری برای کنترل التهاب هستند تا از آسیب‌های بافتی گسترده جلوگیری کنند. با این حال، افزایش نزدیک به سه‌برابری CRPدر ساعت دوم پس از تمرین در این تحقیق، هشداری است بر اینکه حتی تمرینات با مدت زمان بسیار کوتاه (اما شدت بیشینه) می‌تواند استرس سیستمیک شدیدی ایجاد کند که نیازمند راهبردهای ریکاوری دقیق است [۱۰-۱۵].

در نهایت، نتیجه‌گیری می‌شود که یک جلسه تمرین پرتابی در ورزشکاران حرفه‌ای، پاسخ فاز حاد التهاب را با توالی مشخصی برمی‌انگیزد. ابتدا IL-6 با هدف تنظیم متابولیک و پیام‌رسانی اولیه جهش می‌یابد و سپس CRP با تأخیری کوتاه، به‌منظور مدیریت پاسخ‌های ترمیمی سیستمیک افزایش پیدا می‌کند. پایش این شاخص‌ها نشان می‌دهد که فرایند بازگشت به حالت اولیه در ورزش‌های انفجاری، فراتر از بازگشت ضربان قلب یا تنفس به حالت عادی است و تا ساعت‌ها پس از تمرین، محیط بیوشیمیایی بدن در وضعیت استرس التهابی باقی می‌ماند. پیشنهاد می‌شود مربیان در طراحی جلسات تمرینی دونوبته، حداقل فاصلهٔ زمانی لازم برای عبور از اوج فاز حاد التهاب (که در این تحقیق در ساعت دوم ریکاوری مشاهده شد) را لحاظ کنند تا از تجمع پاسخ‌های التهابی و بروز آسیب‌دیدگی جلوگیری شود. در نهایت پیشنهاد می‌شود با توجه به محدودیت‌های زمانی، در تحقیقات بعدی دوره‌های زمانی طولانی‌تر برای بررسی پاسخ این متغیرها لحاظ شود. همچنین مطالعه با حجم نمونه‌های بیشتر و همچنین سایر گروه‌های ورزشکاران انجام گیرد.

قدردانی

این مقاله مستخرج از رسالهٔ دکتری تخصصی فیزیولوژی ورزش در دانشگاه خوارزمی است. بدین وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از تمامی ورزشکاران و آزمودنی‌هایی که با سعهٔ صدر و همکاری صمیمانه ما را در انجام این پژوهش یاری کردند، اعلام می‌دارند. این پژوهش پس از اخذ تأییدیه کمیته اخلاق دانشگاه خوارزمی و با رعایت اصول و موازین اخلاق در پژوهش انجام شده است (کد اخلاق IR.KHU.REC.1405.066).

References

[1]. Croft, L., Bartlett, J. D., MacLaren, D. P., Reilly, T., & Pontikas, D. (2009). High-intensity interval training attenuates the cytokine response to post-exercise. Journal of Applied Physiology, 107(5), 1403-1410. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00693.2009

[2]. Febbraio, M. A., & Pedersen, B. K. (2002). Muscle-derived interleukin-6: mechanisms for release and biological relevance, and orchaestration of a whole-body response to exercise. Diabetes, 51(9), 2699-2705. https://doi.org/10.2337/diabetes.51.9.2699

[3]. Fatouros, I. G., Chatzinikolaou, A., & Paltoglou, G. (2010). The inflammatory responses of weight lifting are intensity-dependent. International Journal of Sports Medicine, 31(04), 256-262. https://doi.org/10.1055/s-0029-1243644

[4]. Fischer, C. P. (2006). Interleukin-6 in human exercise: mechanisms of release and biological relevance. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 31(2), 139-150. https://doi.org/10.1139/h06-006

[5]. Gleeson, M. (2007). Immune function in sport and exercise. Journal of Applied Physiology, 103(2), 693-699. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00008.2007

[6]. Izquierdo, M., Ibañez, J., Calbet, J. A., Navarro, C., & Gorostiaga, E. M. (2009). Cytokine and hormone responses to resistance training. European Journal of Applied Physiology, 107(4), 397-409. https://doi.org/10.1007/s00421-009-1139-x

[7]. Kasapis, C., & Thompson, P. D. (2005). The effects of physical activity on serum C-reactive protein and inflammatory markers: a systematic review. Journal of the American College of Cardiology, 45(10), 1563-1569. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2004.12.077

[8]. Margeli, A., Skenderi, K., Tsironi, M., Hantzi, E., & Papassotiriou, I. (2005). Dramatic elevations of interleukin-6 and acute-phase reactants in athletes participating in the ultradistance foot race Spartathlon. Clinical Chemistry, 51(11), 2070-2078. https://doi.org/10.1373/clinchem.2005.053124

[9]. Meckel, Y., Eliakim, A., Seraev, M., Zaldivar, F., & Nemet, D. (2011). The effect of a brief sprint interval exercise on systemic inflammatory markers and muscular-growth factors. The Journal of Strength & Conditioning Research, 25(3), 642-647. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c6a0c5

[10]. Nieman, D. C. (2000). Exercise immunology: future directions for research related to athletes, nutrition, and the elderly. International Journal of Sports Medicine, 21(S 1), S61-S68. https://doi.org/10.1055/s-2000-14492

[11]. Northoff, H., Enkel, S., & Weinstock, C. (1994). Exercise, cytokines and conditioning. Clinical Chemistry, 40(8), 1629-1632. https://doi.org/10.1093/clinchem/40.8.1629

[12]. Paulsen, G., Mikkelsen, U. R., Raastad, T., & Peake, J. M. (2012). Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle glycogen resynthesis and exercise-induced muscle damage? Sports Medicine, 42(9), 753-777. https://doi.org/10.1007/BF03262291

[13]. Peake, J., Nosaka, K., & Suzuki, K. (2005). Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans. Exercise Immunology Review, 11, 64-85.

[14]. Pedersen, B. K., & Febbraio, M. A. (2008). Muscle as an endocrine organ: focus on muscle-derived interleukin-6. Physiological Reviews, 88(4), 1379-1406. https://doi.org/10.1152/physrev.90100.2007

[15]. Robson-Ansley, P. J., de Milander, L., Collins, M., & Noakes, T. D. (2007). Acute interleukin-6 administration impairs athletic performance in healthy, trained runners. Canadian Journal of Applied Physiology, 29(4), 411-418. https://doi.org/10.1139/h04-026

[16]. Scott, J. P., Sale, C., & Greeves, J. P. (2016). The effect of training status on the cytokine response to high-intensity resistance exercise. European Journal of Applied Physiology, 116(6), 1205-1215. https://doi.org/10.1007/s00421-016-3375-y

[17]. Smith, L. L. (2000). Cytokine hypothesis of overtraining: a physiological adaptation to excessive stress? Medicine & Science in Sports & Exercise, 32(2), 317-331. https://doi.org/10.1097/00005768-200002000-00025

[18]. Steensberg, A., Van Hall, G., Osada, T., & Sacchetti, M. (2000). Production of interleukin-6 in

contracting human skeletal muscles can account for the exercise-induced increase in plasma interleukin-6. The Journal of Physiology, 529(1), 237-242. https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.00237.x

[19]. Toft, A. D., Jensen, L. B., & Helge, J. W. (2002). Cytokine response to eccentric exercise in young and old men. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 283(4), R799-R805. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00167.2002

[20]. Walsh, N. P., Gleeson, M., Shephard, R. J., & Nieman, D. C. (2011). Position statement. Part one: Immune function and exercise. Exercise Immunology Review, 17, 6-63.