Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

July, August 2021 Vol 10. Num 3

Research Paper

# The Effect of Eccentric Retraining on Sensation of Muscle Pain and Delay Onset Muscle Soreness Markers on Sedentary Young Men

**Ali Forutan Ghojebiglo**[1], **Marefat Siahkohian**[1], ***Leila Fasihi**[2]

1. Department of Exercise Physiology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

**Citation** Forutan Ghojebiglo A, Siahkohian M, Fasihi L. The Effect of Eccentric Retraining on Sensation of Muscle Pain and Delay Onset Muscle Soreness Markers on Sedentary Young Men. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2021; 10(3):412-423. https://doi.org/10.32598/sjrm.10.3.3

https://doi.org/10.32598/sjrm.10.3.3

CC BY NC

**Received:** 25 May 2021
**Accepted:** 06 Jun 2021
**Available Online:** 01 Jul 2021

**Keywords:**
Muscle pain, Muscle soreness, Exercise, Creatine kinase, Lactate dehydrogenase

## ABSTRACT

**Background and Aims** Due to the concerns among trainers about relieving muscle pain as soon as possible, this study aimed to investigate the effect of eccentric retraining on muscle pain and Delay Onset Muscle Soreness (DOMS) markers in sedentary young men.

**Methods** In this study, sixteen inactive healthy young men voluntarily and after written informed consent. Subjects were randomly divided into control (n=8) and experimental (n=8) groups. Both groups performed seventy eccentric contractions in the flexor elbow muscles with 80% of maximal repetition. Muscular pain perception, serum levels of Creatine Kinase (CK), and Lactate Dehydrogenase (LDH) indices were measured before, one, 26, 48 and 72 hours after eccentric training. Independent t-test and Repeated measure analysis variance in the significant level of P≤0.05 used for data analysis.

**Results** The sensation of muscle pain and creatine kinase in both groups increased significantly after exercise (P≤0.05), lactate dehydrogenase level was increased in both groups. Still, this increase was not significant (P>0.05). Also, no significant difference in the CK and LDH and pain perception in the measurement stage between the two groups was observed (P>0.05).

**Conclusion** This study results showed that retraining isn't an essential influential variable on muscle pain and DOMS markers. However, more research needs to be done in this area.

## Extended Abstract

### 1. Introduction

Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS) is a natural physiological response to unusual physical activity or increased exercise intensity, especially in eccentric resistance activities, which manifests itself in pain, swelling, and decreased range of motion, decreased muscle strength, and discomfort. DOMS appears during the first 24 hours after exercise and peaks between 24 and 72 hours, and takes five to seven days to disappear. Feelings of pain and discomfort associated with muscle soreness can impair athletic performance in training and competitions.

Treatment and prevention of it have become one of the biggest concerns of coaches, practitioners, and sports physiotherapists, so researchers in different ways (Massage, ice massage, vibration, and stimulation of the subcutaneous nerve using exercise) tried to relieve the pain and discomfort associated with the soreness as quickly as possible. But

***Corresponding Author:**
**Leila Fasihi, MSc.**
**Address:** Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.
**Tel:** +98 (918) 2183604
**E-Mail:** l_fasihi@atu.ac.ir

because the main cause and mechanism of this phenomenon are not yet known precisely, the results of applying these methods can be different.

"Re-training" has been studied as a treatment for the effects of muscle soreness, and researchers have recently reported that re-training significantly reduces the incidence of symptoms or indicators of muscle damage, a phenomenon known as the "repetitive phase effect", Which refers to the effect of muscle adaptation to eccentric exercise. Re-training has been reported to be associated with less destruction of muscle myofibrils, decreased creatine kinase and lactate dehydrogenase enzymes in the blood, and less muscle swelling. Also, the general advice regarding re-training in the period of muscle injury is to avoid stimulating the injured muscle and activity at this time. However, most previous studies have shown the effect of less intense re-training or re-training other than the initial training (eccentric training with concentric re-training) or re-training of two types of muscle contraction simultaneously (simultaneously concentric and eccentric).

Only a few studies have examined the effect of eccentric re-training (exactly the same training and re-training). This limited number did not specify which type of muscle contraction is better for extrinsic exercise-induced muscle injury in practical situations. Still, The effect of eccentric re-training on the healing process of trained muscles is ambiguous. It needs further investigation and research, so this study aimed to investigate the impact of enzyme re-training 24 hours after initial training on muscle soreness and serum levels of Creatine Kinase (CK) and Lactate Dehydrogenase (LDH) enzymes.

## 2. Methods

The present study was quasi-experimental. The statistical population of this study consisted of all inactive healthy students of Mohaghegh Ardabili University with ages ranging from 19-24 years who have not participated in any regular sports activities in the last 2 years. Finally, 16 eligible individuals formed the statistical sample of this study and were randomly divided into two groups: control (eccentric training, n=8) and experimental group (eccentric training and re-training, n=8). At first, during a face-to-face meeting, they were provided with comprehensive information about the research objectives, blood sampling steps, possible risks, and pain after the training program. Then they completed the consent form to participate in the research.

The training session for the experimental group was as follows: first, they warmed-up 10 minutes (including five minutes of walking and jogging and five minutes of soft and stretching movements of the hand and shoulder girdle). Then, to perform eccentric contractions, the subjects of both groups placed their non-superior hand on the table, respectively, and performed 70 eccentric contractions in seven periods of 10 repetitions. Each contraction was 80% of the maximum repetition of each subject. The subjects of the eccentric re-training group performed the same protocol again after 24 hours. It should be noted that the control group did not participate in any sports activities during the study. Blood samples were taken to measure CK and LDH enzymes at baseline and then at intervals of one, 26, 48, and 72 hours after the protocol. The Visual Analog Scale (VAS) was used to measure the sensation of muscle pain.

On this scale, a 10 cm graduated horizontal line was drawn on a piece of paper with no pain at the beginning (zero cm) and the most severe pain at the end (10 cm). The subject was then asked with the help of a muscle researcher. Gently stretch the target, indicating the amount of muscle pain felt by a number that best describes it. Shapiro-Wilk statistical test was used to check the normality of data distribution. After confirming the normality of the data, the statistical test of analysis of variance in repeated measures was used to examine the differences between different sampling stages. If significant, the Bonferroni post hoc test was used to determine the differences between different sampling stages. An independent t-test was also used to compare the results of the two groups at each time stage. All calculations were performed using SPSS v. 21 software, at a significance level of $P \leq 0.05$.

## 3. Results

The independent t-test showed no significant difference between the control and experimental groups regarding changes in muscle pain and CK at intervals of one, 26, 48, and 72 hours after activity ($P>0.05$). Also, the results of intragroup effects using the Bonferroni post hoc test in the experimental group showed no significant differences in changes in muscle pain sensation, serum CK and LDH levels between the two groups at different post-workout measurements ($P>0.05$).

## 4. Discussion and Conclusion

The results of this study showed that performing extroverted retraining did not have a significant effect on the perception of muscle pain and levels of biochemical markers of creatine kinase and lactate dehydrogenase and did not lead to adaptation, so it can be suggested that an eccentric re-training phase 24 hours after Initial exercise can't be an essential variable affecting the amount of pain and indicators of DOMS. However, more research needs to be done.

## Ethical Considerations

### Compliance with ethical guidelines

All ethical principles are considered in this article.

### Funding

This study was extracted from the MSc. thesis of the first author at the Department of Exercise Physiology of Mohaghegh Ardabili University.

### Authors' contributions

Authors contributed equally in preparing this article.

### Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

### Acknowledgments

The authors thank Mohaghegh Ardabili University and the subjects who volunteered to participate in the study.

مقاله پژوهشی

# تأثیر تمرین مجددبرون‌گرا بر احساس درد و شاخص‌های کوفتگی عضلانی تأخیری در مردان جوان غیر فعال

علی فروتن قوچه بیگلو[۱]، معرفت سیاه‌کوهیان[۱]، *لیلا فصیحی[۲]

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۰۴ خرداد ۱۴۰۰
تاریخ پذیرش: ۱۶ خرداد ۱۴۰۰
تاریخ انتشار: ۱۰ تیر ۱۴۰۰

## چکیده

**زمینه و هدف** با توجه به وجود نگرانی در میان مربیان در رابطه با رفع هرچه سریع‌تر احساس درد عضلانی، هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر تمرین و تمرین مجدد برون‌گرا بعد از گذشت ۲۴ ساعت از تمرین اولیه بر احساس درد و شاخص‌های کوفتگی عضلانی تأخیری در مردان جوان غیرفعال بود.

**مواد و روش‌ها** ۱۶مرد جوان غیرفعال سالم به صورت داوطلبانه در این مطالعه شرکت کردند. آزمودنی‌ها به صورت تصادفی به دو گروه کنترل (۸ نفر) و آزمایش (۸ نفر) تقسیم شدند. هر دو گروه ۷۰ انقباض برون‌گرا در عضلات خم‌کننده آرنج را با ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه انجام دادند. گروه آزمایش تمرین را بعد از گذشت ۲۴ ساعت تکرار کرد. میزان احساس درد عضلانی، سطوح سرمی آنزیم‌های کراتین‌کیناز و لاکتات‌دهیدروژناز قبل، یک، ۲۶، ۴۸ و ۷۲ساعت بعد اندازه‌گیری شدند. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون‌های آماری تی مستقل و تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر استفاده شد.

**یافته‌ها** میزان احساس درد عضلانی و کراتین‌کیناز در هر دو گروه، بعد از فعالیت افزایش معنی‌داری یافت ($P\leq0/05$)، میزان لاکتات‌دهیدروژناز نیز در هر دو گروه افزایش یافت، امّا معنی‌دار نبود ($P>0/05$). در بررسی تغییرات احساس درد عضلانی، کراتین‌کیناز و لاکتات‌دهیدروژناز بین دو گروه در مراحل مختلف اندازه‌گیری بعد از تمرین، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P>0/05$).

**نتیجه‌گیری** با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که یک مرحله تمرین مجدد برون‌گرا ۲۴ ساعت بعد از تمرین اولیه نمی‌تواند متغیر تأثیرگذار مهمی بر میزان احساس درد و شاخص‌های کوفتگی عضلانی تأخیری باشد. هرچند تحقیقات بیشتری باید صورت گیرد.

**کلیدواژه‌ها:**
درد عضلانی، کوفتگی عضلانی، تمرین، کراتین کیناز، لاکتا ت دهیدروژناز

## مقدمه

انواع مختلف تمرین با توجه به بار، فرکانس، شدت و هماهنگی، تغییرات مختلفی در عضله ایجاد می‌کنند که در برنامه‌ریزی درمان فیزیکی، شناخت هرکدام از آن تغییرات و تطابق متعاقب آن ضروری به نظر می‌رسد. آنچه مسلم است اینکه با وارد شدن اضافه‌بار برنامه‌ریزی‌شده، آمادگی عمومی و همچنین عملکرد فردی بهبود می‌یابد. این روند نشانگر این مطلب است که بدن و خصوصاً عضله قادر به تطبیق خود با وضعیت‌های جدید است که اساس انجام تمرین‌درمانی را تشکیل می‌دهد [۱]. تمرین‌درمانی امری اساسی در برنامه توانبخشی به خصوص در مراحل پایانی دوره برگشت به حالت اولیه است. درواقع جهت ایجاد توازن قدرت عضلانی و آماده‌سازی آن برای تحمل نیروهای کششی و ضربه‌ای به خصوص در توانبخشی ورزشی، تمرین‌درمانی عضله آسیب‌دیده ضروری است. به علاوه، در سایر موارد که افراد غیرورزشکار و غیرفعال نیازمند افزایش توان و کارایی عضلات خود هستند از اهمیت وافری برخوردار است. اما در کنار کسب قدرت و بازتوانی عضله با مواردی همچون عدم توانایی افراد در ایجاد حداکثر نیروی انقباضی یا درد عضلانی مواجه هستیم [۲].

کوفتگی عضلانی تأخیری[1] یک پاسخ فیزیولوژیکی طبیعی به

1. Delay onset muscle soreness

* نویسنده مسئول:
لیلا فصیحی
نشانی: تهران، دانشگاه علامه طباطبائی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی.
تلفن: ۲۱۸۳۶۰۴ (۹۱۸) ۹۸+
رایانامه: l_fasihi@atu.ac.ir

فعالیت بدنی غیرمعمول، یا افزایش شدت تمرین به خصوص در فعالیت‌های مقاومتی برون‌گرا[2] است که به صورت احساس درد، تورم، کاهش دامنه حرکتی، کاهش قدرت عضلانی و ناراحتی بروز می‌کند [۳]. کوفتگی عضلانی تأخیری در طی ۲۴ ساعت اول پس از تمرین ظاهر می‌شود و بین ۲۴ تا ۷۲ ساعت به اوج خود می‌رسد و به پنج تا هفت روز زمان نیاز دارد تا ناپدید شود [۴]. بیان شده است که نیروی گسترش‌یافته در طی فعالیت برون‌گرا ممکن است باعث تخریب غشای سلول عضلانی شده و موجب انتشار ترکیبات داخل سلولی از قبیل کراتین‌کیناز[3] و لاکتات‌دهیدروژناز[4] به فضای میان‌بافتی و خون شود [۵]. همچنین تخریب ساختارهای سلولی موجب هجوم مونوسیت‌ها به موضع شده که بعد از تبدیل شدن به ماکروفاژها، باعث بیوسنتز پروستاگلاندین‌ها و تحریک اعصاب مربوط به درد و افزایش درک کوفتگی عضله می‌شود [۶].

احساس درد و ناراحتی همراه با کوفتگی عضلانی می‌تواند باعث تضعیف عملکرد ورزشی در تمرینات و مسابقات شده و درمان و ممانعت از بروز آن به یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌های مربیان، تمرین‌دهندگان و فیزیوتراپیست‌های ورزشی تبدیل شده است [۷]؛ به همین دلیل پژوهشگران به روش‌های متفاوتی (از قبیل ماساژ، ماساژ یخ، ویبراسیون و تحریک عصب زیر پوستی با استفاده از تمرین) تلاش کرده‌اند تا هرچه سریع‌تر احساس درد و ناراحتی همراه با کوفتگی را برطرف نمایند [۴]. ولی چون دلیل اصلی و مکانیزم این پدیده هنوز به طور دقیق شناخته نشده است، نتایج کاربرد این روش‌ها می‌تواند متفاوت باشد [۸]. گزارش شده است که تمرین مجدد با تخریب کمتر میوفیبریل‌های عضلانی، کاهش آنزیم‌های کراتین‌کیناز و لاکتات‌دهیدروژناز در خون و تورم کمتر عضله همراه است [۹]. فریم پنگ با مطالعه تأثیر تمرین مجدد بر آسیب عضلانی گزارش کرد که تمرین مجدد نمی‌تواند به طور کامل عضله را در برابر آسیب محافظت نماید [۳]. مکالوسو و همکاران گزارش کردند که در روزهای بعد از تمرین شدید برون‌گرا، تارهای عضله آسیب‌دیده متورم و احتمالاً ضعیف‌تر شده و بیشتر مستعد آسیب هستند [۱۰]. بنابراین تمرین در طی این دوره ممکن است یا به دلیل آسیب مجدد یا به خاطر اختلال در بهبودی، برای برگشت به حالت اولیه مخرب و زیان‌آور باشد [۱۱]. همچنین توصیه عمومی در رابطه با تمرین مجدد در دوره آسیب عضلانی این است که در این زمان از تحریک عضله آسیب‌دیده و فعالیت خودداری شود [۱۲]. «تمرین مجدد»[5] به عنوان یک روش درمانی اثرات کوفتگی عضلانی مورد مطالعه قرار گرفته و پژوهشگران اخیراً گزارش کرده‌اند که تمرین مجدد باعث کاهش معنی‌داری در بروز علائم یا شاخص‌های آسیب عضلانی می‌شود [۱۳]؛ این پدیده به عنوان «اثر مرحله تکرارشده»[6] شناخته شده است [۱۴] که به اثر سازگاری[7] عضلات با تمرین برون‌گرا اشاره دارد [۱۵]. با این حال، بیشتر مطالعات قبلی، تأثیر تمرین مجدد با شدت کمتر [۱۶] یا تمرین مجددی غیر از تمرین اولیه (تمرین برون‌گرا با تمرین مجدد درون‌گرا) [۱۷] یا تمرین مجددی که به طور هم‌زمان از دو نوع انقباض عضلانی (هم‌زمان درون‌گرا و برون‌گرا) استفاده کرده باشد [۴] را بررسی کرده‌اند و تنها تعداد محدودی از مطالعات، تأثیر تمرین مجدد برون‌گرا (دقیقاً تمرین و تمرین مجدد مشابه) را بررسی نموده‌اند. این تعداد محدود مشخص نکرده‌اند که کدام نوع انقباض عضله برای آسیب عضلانی ناشی از تمرین برون‌گرا در موقعیت‌های عملی بهتر است و هنوز تأثیر تمرین مجدد برون‌گرا بر روند بهبودی عضلات تمرین‌کرده دارای ابهام بوده و نیازمند بررسی و تحقیق بیشتر است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر تمرین مجدد برون‌گرا، ۲۴ ساعت بعد از تمرین اولیه، بر میزان احساس درد عضلانی و سطوح سرمی آنزیم‌های کراتین‌کیناز و لاکتات‌دهیدروژناز بود.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع شبه‌تجربی[8] بود. جامعه آماری این پژوهش را کلیه دانشجویان سالم غیرفعال دانشگاه محقق اردبیلی با دامنه سنی ۱۹ تا ۲۴ سال تشکیل دادند که در دو سال گذشته به طور منظم در هیچ فعالیت ورزشی شرکت نکرده بودند. پس از اعلام فراخوان، ۱۲۵ نفر از دانشجویان جهت شرکت در این پژوهش اعلام آمادگی کردند. سپس از بین افراد واجد شرایط، ۱۸ نفر جهت شرکت در تحقیق به صورت غیرتصادفی انتخاب شدند. در ادامه، دو نفر از آزمودنی‌ها از شرکت در تحقیق انصراف دادند. و درنهایت ۱۶ نفر، نمونه آماری این پژوهش را تشکیل دادند که به صورت تصادفی به دو گروه کنترل (تمرین برون‌گرا، تعداد ۸ نفر) و آزمایش (تمرین و تمرین مجدد برون‌گرا، تعداد ۸ نفر) تقسیم شدند. بر پایه پرسش‌نامه‌های اطلاعات فردی و تاریخچه پزشکی، هیچ‌یک از آزمودنی‌ها سابقه ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی، نارسایی کبد، کلیه، دیابت، آسیب‌های حاد و مزمن عضلانی، شکستگی استخوان و بیماری‌های تنفسی نداشتند. در ابتدا طی یک جلسه حضوری، اطلاعات جامع و کاملی از اهداف تحقیق، مراحل خون‌گیری، خطرات احتمالی و نیز احساس درد بعد از انجام برنامه تمرینی در اختیار آن‌ها قرار گرفت و به آن‌ها توصیه شد در طول دوره پژوهش از انجام فعالیت‌های شدید و مصرف هرگونه داروی تأثیرگذار بر نتیجه تحقیق خودداری کنند. سپس دانشجویان فرم رضایت‌نامه شرکت در پژوهش را تکمیل کردند.

2. Eccentric resistance activities
3. Creatine Kinase (CK)
4. Lactate Dehydrogenase (LDH)
5. Re-training
6. Repeated bout effect
7. Adaptation effect
8. Quasi-experimental

**جدول ۱.** مقایسه میانگین و انحراف‌معیار ویژگی‌های عمومی دو گروه

| متغیر | میانگین±انحراف معیار | | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|
| | تمرین برون‌گرا | تمرین مجدد برون‌گرا | |
| سن (سال) | ۲۰/۲±۱/۵۰ | ۲۲/۶۲±۱/۹۳ | ۰/۴۵۱ |
| قد ( سانتی‌متر) | ۱۷۲/۲۵±۵/۸۸ | ۱۷۶/۰۰±۴/۹۲ | ۰/۸۲۳ |
| وزن (کیلوگرم) | ۶۵/۸۷±۸/۳۵ | ۷۵/۶۲±۱۲/۸۰ | ۰/۲۳۳ |
| شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر متر مربع) | ۲۲/۰۰±۱/۲۷ | ۲۴/۰۰±۳/۰۰ | ۰/۵۷۱ |
| چربی بدن (درصد) | ۱۲/۸۵±۵/۲۴ | ۱۳/۰۰±۱/۲۹ | ۰/۳۰۵ |

طب توانبخشی

### اندازه‌گیری شاخص‌های آنتروپومتریک

قد آزمودنی‌ها در حالت ایستاده، بدون کفش در یک سطح صاف با استفاده از متر نواری غیر قابل ارتجاع با دقت ۰/۱ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. وزن آزمودنی‌ها بدون کفش و با حداقل لباس با استفاده از ترازوی دیجیتالی Seca مدل ۸۱۳ ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۱ کیلوگرم محاسبه شد. درصد چربی آزمودنی‌ها با استفاده از کالیپر و در سمت راست بدن با بهره‌گیری از روش دونقطه‌ای (سه‌سر بازو، عضله ساق پا) و جایگزینی در رابطه لومن به دست آمد [۱۸] (جدول شماره ۱).

رابطه لومن: درصد چربی بدن = ۱+ ۰/۷۳۵(ضخامت چربی زیر پوستی ساق پا + ضخامت چربی زیر پوستی عضله سه‌سر بازو)

### پروتکل ایجادکننده کوفتگی عضلانی تأخیری (تمرین)

جلسه تمرین برای گروه آزمایش بدین صورت بود که ابتدا آزمودنی‌ها ۱۰ دقیقه گرم کردن (شامل پنج دقیقه راه رفتن و دویدن آرام و پنج دقیقه حرکات نرمشی و کششی دست و کمربند شانه‌ای) را انجام دادند. سپس برای اجرای انقباض‌های برون‌گرا آزمودنی‌های هر دو گروه به ترتیب دست غیر برتر خود را روی میز گذاشته و به اجرای ۷۰ انقباض برون‌گرا در هفت دوره ۱۰ تکراری که هر انقباض ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه هر آزمودنی بود، پرداختند [۱۹]. برای تعیین یک تکرار بیشینه از فرمول برزیسکی استفاده شد [۲۰]. انقباض برون‌گرا بدین صورت بود که ساعد آزمودنی از حالت فلکشن و زاویه بسته ۳۰ درجه‌ای شروع به حرکت می‌کرد و با یک انقباض برون‌گرا که ۳ ثانیه طول می‌کشید، زاویه آرنج باز می‌شد و به ۱۸۰ درجه می‌رسید [۲۱]. مرحله درون‌گرای تمرین[9] (بالا آوردن وزنه) توسط دستیار محقق انجام می‌شد. آزمودنی‌ها ۱۰ ثانیه در فاصله هر دو انقباض استراحت کردند. علاوه بر این، یک دقیقه استراحت بین هر دوره که ۱۰ انقباض را شامل می‌شد برای آزمودنی‌ها در نظر گرفته شد [۱۹]. سپس آزمودنی‌های گروه تمرین مجدد برون‌گرا، پس از گذشت ۲۴ ساعت، مجدداً همین پروتکل را اجرا کردند. لازم به ذکر است گروه کنترل در مدت‌زمان انجام پژوهش در هیچ فعالیت ورزشی شرکت نکردند.

((۰/۰۲۷۸ ×تعداد تکرار تا خستگی) - ۱/۰۲۷۸)/وزنه جابه‌جاشده (کیلوگرم) = یک تکرار بیشینه

### نمونه‌گیری خون و روش‌های آزمایشگاهی

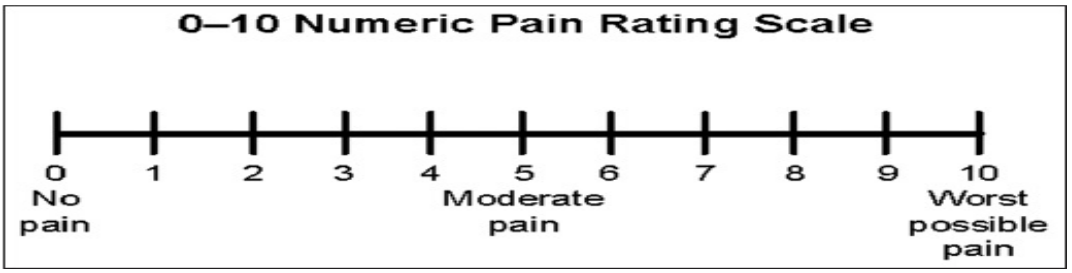
نمونه‌های خونی ابتدا در حالت پایه (در ساعت ۸:۰۰ و در حالت ناشتا) و سپس در فواصل زمانی یک، ۲۶، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از اجرای پروتکل، هرکدام به میزان پنج میلی‌لیتر از سیاهرگ بازویی (آنتی‌کوبیتال) آزمودنی‌ها به دست آمد. تمام نمونه‌های خونی بلافاصله بعد از خون‌گیری در لوله های حاوی ماده ضد انعقاد هپارین ریخته شده و به مدت ۱۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس برای اندازه‌گیری آنزیم‌های کراتین‌کیناز و لاکتات‌دهیدروژناز از کیت‌های ایرانی شرکت پارس‌آزمون با حساسیت به ترتیب یک و پنج واحد در لیتر و دستگاه اتوآنالیزور بیوشیمی GLOBAL ۲۴۰ ساخت شرکت PBC کشور ایتالیا استفاده شد.

### سنجش احساس درد عضلانی

برای سنجش احساس درد عضلانی از مقیاس بصری درد آنالوگ[10] استفاده شد [۲۲] (تصویر شماره ۱). در این مقیاس یک خط افقی مدرج ۱۰ سانتی‌متری روی یک برگه رسم شده که در ابتدای آن، عبارت بدون درد (صفر) و در انتهای آن عبارت شدیدترین درد (۱۰) نوشته شده است. از آزمودنی خواسته شد با کمک محقق، عضله مورد نظر را به آرامی تحت کشش قرار دهد و میزان احساس درد عضلانی را به وسیله عددی که بهترین توصیف‌کننده آن است نشان دهد [۲۳]. این اندازه‌گیری در فواصل زمانی یک، ۲۶، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از اجرای پروتکل تمرین صورت گرفت.

9. Concentric exercise

10. Visual Analog Scale (VAS)




**تصویر ۱.** مقیاس بصری درد آنالوگ (VAS)

طب توانبخشی

## تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا از آزمون آماری شاپیرو ویلک جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها استفاده شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، از آزمون آماری تحلیل واریانس در اندازه‌گیری‌های مکرر[11] برای بررسی تفاوت بین مراحل مختلف نمونه‌گیری (پیش‌آزمون با پس‌آزمون‌ها و پس‌آزمون‌ها با یکدیگر) و در صورت معنی‌دار بودن، از آزمون تعقیبی بونفرونی برای مشخص کردن تفاوت بین مراحل مختلف نمونه‌گیری استفاده شد. همچنین آزمون تی مستقل برای مقایسه نتایج دو گروه در هر مرحله زمانی مورد استفاده قرار گرفت. تمامی محاسبه‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS[12] نسخه ۲۱ و در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ ≥P انجام شد.

## یافته‌ها

نتایج حاصل از آزمون تی مستقل نشان داد بین دو گروه کنترل و آزمایش از نظر تغییرات احساس درد عضلانی، در فواصل زمانی یک، ۲۶، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از فعالیت اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (P>۰/۰۵). همچنین در گروه آزمایش بررسی اثرات درون‌گروهی با استفاده از آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد میزان احساس درد عضلانی در فواصل زمانی یک (P=۰/۰۰۱)، ۲۶ (P=۰/۰۲۳)، ۴۸ (P=۰/۰۰۳) و ۷۲ (P=۰/۰۱۶) ساعت بعد از فعالیت نسبت به قبل از فعالیت به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول شماره ۲).

در مورد شاخص کراتین‌کیناز نتایج حاصل از آزمون تی مستقل نشان داد سطوح کراتین‌کیناز بین دو گروه، در فواصل زمانی یک، ۲۶، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از فعالیت برون‌گرا اختلاف معنی‌داری با هم نداشت (P>۰/۰۵). همچنین نتایج حاصل از بررسی اثرات درون‌گروهی با استفاده از آزمون تعقیبی بونفرونی در گروه آزمایش نشان داد میزان سرمی کراتین‌کیناز در فواصل زمانی یک (P=۰/۰۲۴)، ۲۶ (P=۰/۰۲۳) و ۷۲ (P=۰/۰۳۱) ساعت بعد از فعالیت نسبت به قبل از فعالیت به طور معنی‌داری افزایش یافت و ۴۸ ساعت بعد از فعالیت کاهش معنی‌داری نشان داد (P=۰/۰۴۸) (جدول شماره ۳).

همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمون تی مستقل، اختلاف معنی‌داری بین دو گروه کنترل و آزمایش در فواصل زمانی یک، ۲۶، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از فعالیت در میزان لاکتات‌دهیدروژناز وجود نداشت (P>۰/۰۵). در بررسی اثرات درون‌گروهی با استفاده از آزمون تعقیبی بونفرونی، میزان لاکتات‌دهیدروژناز در دو گروه بعد از فعالیت نسبت به حالت پایه، در هیچ‌کدام از مراحل اندازه‌گیری اختلاف معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵) (جدول شماره ۴).

## بحث

هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر تمرین مجدد برون‌گرا بر احساس درد و شاخص‌های کوفتگی عضلانی تأخیری در مردان جوان غیر فعال بود. بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر، احساس درد عضلانی بعد از تمرین در هر دو گروه کنترل و آزمایش به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد که این تغییرات با نتایج مطالعات انجام‌شده قبلی مشابه بود [۲۴]. دیگر نتایج این مطالعه نشان داد که یک مرحله تمرین مجدد برون‌گرا در ۲۴ ساعت بعد از تمرین اولیه از نظر آماری بر میزان احساس درد تأثیر معنی‌داری ندارد. هرچند احساس درد بعد از تمرین اولیه از نظر آماری به طور معنی‌داری افزایش یافت، ولی هیچ نشانه‌ای از بروز درد جدید بعد از تمرین مجدد دیده نشد. این شواهد احتمالاً نشان از این دارد که تمرین اولیه باعث بروز آسیب قابل ملاحظه‌ای در عضله اسکلتی شده و تمرین مجدد آسیب جدیدی به وجود نیاورده است. تحقیقات مختلف به بررسی تأثیر تمرین مجدد با استفاده از پروتکل‌های مختلف ورزشی بر میزان درک درد عضلانی پرداختند. امانوئل فریم پونگ و همکاران، تمرین مجدد برون‌گرا را با تمرین مجدد درون‌گرا مقایسه کردند و گزارش نمودند که ادراک درد عضلانی بعد از تمرین مجدد برون‌گرا نسبت به تمرین مجدد درون‌گرا از نظر آماری به طور معنی‌داری اختلاف دارد [۳]. همسو با تحقیق فوق، اسمیت و همکاران [۲۵] تأثیر تمرین مجدد برون‌گرا بر میزان درک درد عضلانی و آنزیم کراتین‌کیناز را بررسی کردند و از نظر آماری عدم تغییر معنی‌دار را گزارش نمودند. ابلینگ و کلارکسون، تمرین مجدد برون‌گرا را بعد از گذشت شش روز مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که تمرین مجدد علاوه بر اینکه آسیب

11. Analysis of variance in repeated measures
12. Statistical package for the social sciences

**جدول ۲.** مقایسه میانگین و انحراف‌معیار متغیر وابسته احساس درد عضلانی قبل و بعد از تمرین، با آزمون تی مستقل و تی زوجی

| مرحله فعالیت بدنی | نمره درد (میانگین±انحراف‌معیار) | | سطح معنی‌داری* |
|---|---|---|---|
| | گروه کنترل | گروه آزمایش | |
| پیش‌آزمون | ۰ | ۰ | ۰/۵۸۵ |
| یک ساعت بعد | ۳/۵±۰/۸۳ | ۴/۳۷±۱/۰۶ | ۰/۱۵۲ |
| سطح معنی‌داری** | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | |
| ۲۶ ساعت بعد | ۳±۰/۸۹ | ۲/۷۵±۱/۶۶ | ۰/۸۵۲ |
| سطح معنی‌داری** | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۳ | |
| ۴۸ ساعت بعد | ۲/۶۶±۰/۸۱ | ۳/۶۲±۱/۵۰ | ۰/۱۷۹ |
| سطح معنی‌داری** | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۳ | |
| ۷۲ ساعت بعد | ۰/۸۳±۰/۷۵ | ۱/۱۲±۰/۶۴ | ۰/۴۴۸ |
| سطح معنی‌داری** | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۱۶ | |

*سطح معنی‌داری بین دو گروه، **سطح معنی‌داری نسبت به حالت پایه (پیش‌آزمون).

طب توانبخشی

عضلانی را شدیدتر نمی‌کند، باعث کاهش معنی‌داری در میزان شاخص‌های آسیب عضلانی در خون نیز می‌شود [۲۲]. نتایج مقایسه درون‌گروهی نشان داد میزان آنزیم کراتین‌کیناز در هر دو گروه کنترل و آزمایش نسبت به حالت پایه به طور معنی‌داری تغییر کرده است، به طوری که در چند روز بعد از تمرین برون‌گرا به اوج رسید و سپس با گذشت زمان به آهستگی به مقدار اولیه برگشت. این تغییرات با نتایج مطالعات انجام‌شده قبلی مشابه بود [۲۶]. هرچند در مقایسه برون‌گروهی سطوح آنزیم کراتین‌کیناز بین دو گروه، پس از فعالیت برون‌گرا تغییر معنی‌داری نشان نداد، ولی بالا بودن مقادیر کراتین‌کیناز در گروه کنترل نسبت به گروه آزمایش در کل زمان‌های اندازه‌گیری‌شده (یک، ۲۶، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد) قابل توجه بود. با در نظر گرفتن اینکه میزان تغییر آنزیم کراتین‌کیناز در افراد مختلف نسبت به تمرین برون‌گرای یکسان به طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت است (بعضی افراد پاسخ شدید، بعضی اندک و بعضی‌ها پاسخی به تمرین یکسان نشان نمی‌دهند) [۲۷]، بنابراین به نظر نمی‌رسد که آزمودنی‌های گروه کنترل پاسخ‌های نامناسب نسبت به کراتین‌کیناز داده باشند. توضیح ممکن برای این اختلاف این است که چون میزان آنزیم کراتین‌کیناز بعد از تمرین برون‌گرا به عنوان نشانه غیرمستقیم آسیب موضعی بافت عضلانی و پاره شدن غشای عضله و تخریب سارکومرها در خون افزایش می‌یابد [۲۸]، بنابراین می‌توان احتمال داد که گروه کنترل هنگام تعیین و برآورد حداکثر یک تکرار بیشینه، سخت‌تر کار کرده و حداکثر تلاش واقعی را انجام داده و متعاقب آن تمرین برون‌گرا را با درصد نسبی بیشتری از

**جدول ۳.** مقایسه میانگین و انحراف‌معیار متغیر وابسته کراتین‌کیناز قبل و بعد از تمرین، با آزمون تی مستقل و تی زوجی

| مرحله فعالیت بدنی | میزان کراتین‌کیناز برحسب واحد بین‌الملل بر لیتر (میانگین±انحراف‌معیار) | | سطح معنی‌داری* |
|---|---|---|---|
| | گروه کنترل | گروه آزمایش | |
| پیش‌آزمون | ۱۷۶±۱۰۹ | ۱۵۹±۹۰ | ۰/۵۹۳ |
| یک ساعت بعد | ۲۲۱±۱۱۴ | ۲۱۸±۱۲۱ | ۰/۶۳۴ |
| سطح معنی‌داری** | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۲۴ | |
| ۲۶ساعت بعد | ۲۲۷±۱۱۴ | ۲۱۷±۱۲۰ | ۰/۵۳۷ |
| سطح معنی‌داری** | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۲۳ | |
| ۴۸ساعت بعد | ۲۱۹±۱۱۴ | ۲۰۵±۱۰۴ | ۰/۶۵۴ |
| سطح معنی‌داری** | ۰/۰۴۴ | ۰/۰۳۱ | |
| ۷۲ساعت بعد | ۱۷۷±۸۷ | ۱۶۶±۷۴ | ۰/۲۷۵ |
| سطح معنی‌داری** | ۱/۰۰۰ | ۱/۰۰۰ | |

*سطح معنی‌داری بین دو گروه، **سطح معنی‌داری نسبت به حالت پایه (پیش‌آزمون).

طب توانبخشی

**جدول ٤.** مقایسه میانگین و انحراف‌معیار متغیر وابسته لاکتات‌دهیدروژناز قبل و بعد از تمرین با آزمون تی مستقل و تی زوجی

| مرحله فعالیت بدنی | میزان لاکتات‌دهیدروژناز برحسب واحد بین‌الملل بر لیتر (میانگین±انحراف‌معیار) | | سطح معنی‌داری* |
|---|---|---|---|
| | گروه کنترل | گروه آزمایش | |
| پیش‌آزمون | ۳۷۹±۴۴ | ۳۶۰±۶۳ | ۰/۶۱۵ |
| یک ساعت بعد | ۴۲۰±۳۵ | ۴۱۱±۹۰ | /۷۹۵ |
| سطح معنی‌داری** | ۱/۰۰۰ | ۰/۸۵۴ | |
| ۲۶ساعت بعد | ۴۳۹±۳۲ | ۴۱۳±۷۸ | ۰/۶۵۶ |
| سطح معنی‌داری** | ۱/۰۰۰ | ۰/۴۶۷ | |
| ۴۸ساعت بعد | ۴۱۱±۵۹ | ۴۰۹±۸۲ | ۰/۸۰۳ |
| سطح معنی‌داری** | ۱/۰۰۰ | ۱/۰۰۰ | |
| ۷۲ساعت بعد | ۴۴۸±۸۴ | ۳۹۲±۶۲ | ۰/۱۵۵ |
| سطح معنی‌داری** | ۰/۱۱۹ | ۱/۰۰۰ | |

*سطح معنی‌داری بین دو گروه، **سطح معنی‌داری نسبت به حالت پایه (پیش‌آزمون).

طب توانبخشی

یک تکرار بیشینه نسبت به گروه آزمایش اجرا کرده است. بررسی نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن است که در مقایسه درون‌گروهی، در هریک از مراحل مختلف زمانی اندازه‌گیری، از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در میزان آنزیم لاکتات‌دهیدروژناز مشاهده نشد. لاکتات‌دهیدروژناز بعد از تمرین افزایش داشت و سپس روند نزولی نشان داد. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعه محمدی و همکاران [۲۹] همسو بود، ولی با نتایج پژوهش‌های ارازی و رحیمی [۳۰] و مای‌هیو [۳۱] همسو نبود که ممکن است ناشی از این واقعیت باشد که لاکتات‌دهیدروژناز تحت تأثیر مدت‌زمان تمرین، تغذیه و مکمل‌ها، تعداد حرکات و گروه عضلات درگیر قرار نمی‌گیرد [۳۲].

از طرف دیگر، نتایج این مطالعه در مقایسه برون‌گروهی نشان داد یک مرحله تمرین مجدد برون‌گرا ۲۴ ساعت بعد از تمرین اولیه بر میزان آنزیم لاکتات‌دهیدروژناز از نظر آماری تأثیر معنی‌داری ندارد. محمدی و همکاران گزارش کردند که میزان آنزیم لاکتات‌دهیدروژناز می‌تواند تحت تأثیر فواصل استراحتی تمرین مجدد، نوع و میزان بار کاری قرار گیرد [۲۹]. همچنین گلدن و دودلی نشان دادند سازگاری که به دنبال تمرین برون‌گرا در عضله به وجود می‌آید و عضله را نسبت به آسیب مجدد مقاوم‌تر می‌کند، ناشی از فراخوانی کارآمدتر واحد حرکتی است [۳۳]. با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان احتمال داد که بعد از گذشت ۲۴ ساعت از تمرین اولیه، سازگاری‌های عصبی در عضله به وجود آمده و عضله را نسبت به آسیب تمرین مجدد مقاوم‌تر کرده است. بررسی تغییرات در فعالیت و فراخوانی واحد حرکتی، هنگامی که عضله توسط تمرین قبلی آسیب دیده است، به مطالعات بیشتری نیاز دارد.

## نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، نتایج این مطالعه نشان داد اجرای تمرین مجدد برون‌گرا تأثیر معنی‌داری بر درک درد عضلانی و شاخص‌های بیوشیمیایی کراتین‌کیناز و لاکتات‌دهیدروژناز ندارد و منجر به سازگاری نمی‌شود. بنابراین می‌توان پیشنهاد کرد که تمرین مجدد در زمانی که کوفتگی عضلانی تمرین قبلی هنوز وجود دارد، آسیب مجددی به وجود نمی‌آورد. البته در این تفسیر باید احتیاط لازم به عمل آید. با این حال، مطالعه حاضر دارای چند محدودیت است؛ اول اینکه جمعیت مورد مطالعه را ورزشکاران یا افراد آموزش‌دیده تشکیل ندادند. وضعیت آموزش یکی از عوامل نهفته‌ای است که می‌تواند در بهبودی بعد از فعالیت عضلانی برون‌گرا تأثیر بگذارد [۳۴]. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده این واقعیت را در نظر بگیرند و تغییرات را در افرادی که قبلاً آموزش دیده‌اند بررسی کنند. دوم اینکه در مطالعه حاضر تمرین برون‌گرا فقط به عضلات اندام فوقانی اعمال شد. برخی مطالعات گزارش داده‌اند هنگامی که تمرین برون‌گرا با استفاده از هر دو عضله اندام فوقانی و تحتانی انجام می‌شود، پاسخ‌های مربوط به آسیب عضلانی در عضلات اندام فوقانی و تحتانی متفاوت ظاهر می‌شود [۳۵]. از این‌رو پیشنهاد می‌شود این مطالعه در اندام تحتانی نیز بررسی شود. سرانجام، عوامل مرتبط با ریکاوری عضلات در این مطالعه فقط به درد عضلانی، کراتین‌کیناز و لاکتات‌دهیدروژناز محدود شدند. از آنجا که ریکاوری عضلات پس از تمرین برون‌گرا شامل مواردی مانند التهاب[13] و فیبروز[14] یا میوژنز[15] است، بنابراین پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده شامل عوامل دیگری باشد تا تفسیر متنوع‌تری از نتایج را فراهم کند.

13. Inflammation
14. Fibrosis
15. Myogenesis

## ملاحظات اخلاقی

### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه محقق اردبیلی در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره IR.ARUMS.REC.1396.301 دریافت شده است.

### حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه نویسنده اول در گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل است.

### مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت یکسان داشته‌اند.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

### تشکر و قدردانی

از دانشگاه محقق اردبیلی براي حمايت‌هاي همه‌جانبه تشکر و قدرداني مي‌شود.

## References

[1] Timmons JA. Variability in training-induced skeletal muscle adaptation. Journal of Applied Physiology. 2011; 110(3):846-53. [DOI:10.1152/japplphysiol.00934.2010] [PMID] [PMCID]

[2] Hagen KB, Dagfinrud H, Moe RH, Østerås N, Kjeken I, Grotle M, et al. Exercise therapy for bone and muscle health: An overview of systematic reviews. BMC Medicine. 2012; 10:167. [DOI:10.1186/1741-7015-10-167] [PMID] [PMCID]

[3] Frimpong E, Ofori EK, Kaoje YS, Ababio E, Dzudzor B. Muscle Damage and repeated bout effect from high intensity non-eccentric exercises. Journal of Exercise Physiology Online. 2019; 22(5):126-39. https://www.asep.org/asep/asep/JEPonlineOCTOBER2019_Frimpong.pdf

[4] Kang MS, Kim J, Lee J. Effect of different muscle contraction interventions using an isokinetic dynamometer on muscle recovery following muscle injury. Journal of Exercise Rehabilitation. 2018; 14(6):1080-4. [DOI:10.12965/jer.1836440.220] [PMID] [PMCID]

[5] Nieman DC, Henson DA, McAnulty SR, McAnulty L, Swick NS, Utter AC, et al. Influence of vitamin C supplementation on oxidative and immune changes after an ultramarathon. Journal of Applied Physiology. 2002; 92(5):1970-5. [DOI:10.1152/japplphysiol.00961.2001] [PMID]

[6] Barlas P, Craig JA, Robinson J, Walsh DM, Baxter GD, Allen JM. Managing delayed-onset muscle soreness: Lack of effect of selected oral systemic analgesics. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 2000; 81(7):966-72. [DOI:10.1053/apmr.2000.6277] [PMID]

[7] Howatson G, Van Someren KA. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. Sports Medicine. 2008; 38(6):483-503. [DOI:10.2165/00007256-200838060-00004] [PMID]

[8] Cleary MA, Kimura IF, Sitler MR, Kendrick ZV. Temporal pattern of the repeated bout effect of eccentric exercise on delayed-onset muscle soreness. Journal of Athletic Training. 2002; 37(1):32-6. [DOI:10.4320/164305.1293.7441]

[9] Hessel AL, Lindstedt SL, Nishikawa KC. Physiological mechanisms of eccentric contraction and its applications: A role for the giant titin protein. Frontiers in Physiology. 2017; 8:70. [DOI:10.3389/fphys.2017.00070] [PMID] [PMCID]

[10] Macaluso F, Isaacs AW, Myburgh KH. Preferential type II muscle fiber damage from plyometric exercise. Journal of Athletic Training. 2012; 47(4):414-20. [DOI:10.4085/1062-6050-47.4.13] [PMID] [PMCID]

[11] Margaritelis NV, Theodorou AA, Baltzopoulos V, Maganaris CN, Paschalis V, Kyparos A, et al. Muscle damage and inflammation after eccentric exercise: Can the repeated bout effect be removed? Physiological Reports. 2015; 3(12):e12648. [DOI:10.14814/phy2.12648] [PMID] [PMCID]

[12] Armstrong R. Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: A brief review. Medicine and Science in Sports and Exercise. 1984; 16(6):529-38. [DOI:10.1249/00005768-198412000-00002]

[13] Mellinger S, Neurohr GA. Evidence based treatment options for common knee injuries in runners. Annals of Translational Medicine. 2019; 7(S7):S249. [DOI:10.21037/atm.2019.04.08] [PMID] [PMCID]

[14] Reimer III RC, Wikstrom EA. Functional fatigue of the hip and ankle musculature cause similar alterations in single leg stance postural control. Journal of Science and Medicine in Sport. 2010; 13(1):161-6. [DOI:10.1016/j.jsams.2009.01.001]

[15] Hyldahl RD, Chen TC, Nosaka K. Mechanisms and mediators of the skeletal muscle repeated bout effect. Exercise and Sport Sciences Reviews. 2017; 45(1):24-33. [DOI:10.1249/JES.0000000000000095] [PMID]

[16] Donnelly AE, Clarkson PM, Maughan RJ. Exercise-induced muscle damage: Effects of light exercise on damaged muscle. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 1992; 64(4):350-3. [DOI:10.1007/BF00636223] [PMID]

[17] Sorichter S, Koller A, Haid C, Wicke K, Judmaier W, Werner P, et al. Light concentric exercise and heavy eccentric muscle loading: Effects on CK, MRI and markers of inflammation. International Journal of Sports Medicine. 1995; 16(5):288-92. [DOI:10.1055/s-2007-973007] [PMID]

[18] Lohman TG. Advances in body composition assessment. Champaign: Human Kinetics Publishers; 1992. https://books.google.com/books/about/Advances_in_Body_Composition_Assessment.html?id=euuUMQEACAAJ&source=kp_book_description

[19] Nejatmand N, Ramezani A, Barati AH. [Effect of Consumption short-term CoQ10 supplementation on markers of delayed onset muscle soreness (Persian)]. Razi Journal of Medical Sciences. 2014; 21(119):77-85. http://rjms.iums.ac.ir/article-1-3105-en.html

[20] Brzycki M. Strength testing-predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. Journal of Physical Education, Recreation & Dance. 1993; 64(1):88-90. [DOI:10.1080/07303084.1993.10606684]

[21] Latella C, Goodwill AM, Muthalib M, Hendy AM, Major B, Nosaka K, et al. Effects of eccentric versus concentric contractions of the biceps brachii on intracortical inhibition and facilitation. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 2019; 29(3):369-79. [DOI:10.1111/sms.13334] [PMID]

[22] Ebbeling CB, Clarkson PM. Muscle adaptation prior to recovery following eccentric exercise. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 1990; 60(1):26-31. [DOI:10.1007/BF00572181] [PMID]

[23] Miles M, Clarkson P. Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps. The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 1994; 34(3):203-16. [doi:10.1038/bjv.7830383]

[24] Hody S, Croisier J-L, Bury T, Rogister B, Leprince P. Eccentric muscle contractions: Risks and benefits. Frontiers in Physiology. 2019; 10:536. [DOI:10.3389/fphys.2019.00536] [PMID] [PMCID]

[25] Smith L, Fulmer M, Holbert D, McCammon MR, Houmard JA, Frazer D, et al. The impact of a repeated bout of eccentric exercise on muscular strength, muscle soreness and creatine kinase. British Journal of Sports Medicine. 1994; 28(4):267-71. [DOI:10.1136/bjsm.28.4.267] [PMID] [PMCID]

[26] Kim HT. Effect of hydroxytyrosol supplementation on muscle damage in healthy human following an acute bout of exercise [MSc. thesis]. Texas: The University of Texas at Austin; 2013. https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/22280?show=full

[27] Newham D, Mills K, Quigley B, Edwards R. Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contractions. Clinical Science. 1983; 64(1):55-62. [DOI:10.1042/cs0640055] [PMID]

[28] Ebbeling CB, Clarkson PM. Exercise-induced muscle damage and adaptation. Sports Medicine. 1989; 7(4):207-34. [DOI:10.2165/00007256-198907040-00001] [PMID]

[29] Mohammadi H, Afzalpour ME, Ievary SHA. Response of creatine kinase and lactate dehydrogenase enzymes to rest interval between sets and set-repetition configuration during bouts of eccentric exercise. Interventional Medicine and Applied Science. 2018; 10(2):83-6. [DOI:10.1556/1646.10.2018.09] [PMID] [PMCID]

[30] Arazi H, Rahimi R. The effect of different rest intervals between multiple bench press bouts. South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation. 2011; 33(1):1-8. [DOI:10.4314/sajrs.v33i1.65480]

[31] Mayhew DL, Thyfault JP, Koch AJ. Rest-interval length affects leukocyte levels during heavy resistance exercise. Journal of Strength and Conditioning Research. 2005; 19(1):16-22. [DOI:10.1519/R-14113.1] [PMID]

[32] Hosseini E, Daneshjoo A, Sahebozamani M, Behm D. The effects of fatigue on knee kinematics during unanticipated change of direction in adolescent girl athletes: A comparison between dominant and non-dominant legs. Sports Biomechanics. 2021:1-10. [DOI:10.1080/14763141.2021.1925732]

[33] Golden CL, Dudley GA. Strength after bouts of eccentric or concentric actions. Medicine and Science in Sports and Exercise. 1992; 24(8):926-33. [DOI:10.1249/00005768-199208000-00015]

[34] Kim J, Lee J. The relationship of creatine kinase variability with body composition and muscle damage markers following eccentric muscle contractions. Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry. 2015; 19(2):123-9. [DOI:10.5717/jenb.2015.15061910] [PMID] [PMCID]

[35] Saka T, Akova B, Yazici Z, Sekir U, Gür H, Ozarda Y. Difference in the magnitude of muscle damage between elbow flexors and knee extensors eccentric exercises. Journal of Sports Science & Medicine. 2009; 8(1):107-15. [DOI:10.1373/jmed.24150563]