



مرور Fatmax و MFO در فعالیت ورزشی

کیوان خرمی پور: دکتری فیزیولوژی ورزش، دانشگاه تهران، تهران، ایران
امیرحسین احمدی حکمتی کار: کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزش، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران (*نویسنده مسئول) a.hekmatikar4@gmail.com
هادی ستوان: کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزش، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

کلیدواژه‌ها

MFO

Fatmax

چاقی،

اضافه‌وزن،

فعالیت ورزشی،

پاسخ وابسته به مقدار

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۰۶

امروز چاقی به یکی از مشکلات جوامع در حال توسعه تبدیل شده است و هزینه‌های درمانی گزافی را بر دولت‌ها تحمیل کرده است. به همین دلیلی پژوهشگران شروع به انجام مطالعات گسترده‌ای جهت یافتن موثرترین پروتکل‌های ورزشی برای کاهش چربی بدن کرده‌اند. دو اصلاح رایج در مطالعاتی که تاثیر ورزش بر اکسیداسیون چربی را می‌سنجند شامل حداکثر اکسیداسیون چربی (Maximal Fat Oxidation-MFO) و Fat_{max} (شدتی از فعالیت است که حداکثر اکسیداسیون چربی در آن اتفاق می‌افتد) است. در این مطالعه مطالب مربوط به MFO و Fat_{max} در مطالعات انجام شده تا به امروز مرور و پژوهش‌های انجام شده در حوزه تاثیر فعالیت ورزشی بر چربی سوزی به بحث گذاشته شده است. علی‌رغم اینکه تحقیقات بسیاری برای مشخص کردن Fat_{max} صورت گرفته ولی داده‌ها در این زمینه ضدونقیض است. با این حال اکثر پژوهشگران معتقدند بیشترین میزان اکسیداسیون چربی‌ها در شدت‌های کم تا متوسط بین ۳۵ تا ۶۵ درصد VO_{2max} اتفاق می‌افتد.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: هیات ورزش‌های همگانی شهرستان رفسنجان

شیوه استناد به این مقاله:

Khoramipour K, Ahmadi Hekmatikar A, Sotvan H. An overview of Fatmax and MFO in exercise. Razi J Med Sci. 2020;27(3):49-59.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با 3.0 CC BY-NC-SA صورت گرفته است.



Review Article

An overview of Fatmax and MFO in exercise

Kayvan Khoramipour, PhD in Exercise Physiology, University of Tehran, Tehran, Iran

Amirhossein Ahmadi Hekmatikar, MSc in Exercise Physiology, University of Semnan, Semnan, Iran (*Corresponding author) a.hekmatikar4@gmail.com

Hadi Sotvan, MSc in Exercise Physiology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Abstract

Nowadays, obesity has become a problem in the developing country and left the government with huge treatment costs. Due to this, researchers have started large scale studies to find the best exercise protocols for fat loss. Two popular terms in the studies that investigate the effects of exercise training on fat loss are Maximal Fat Oxidation (MFO) and fatmax (exercise intensity which the maximum fat oxidation is occurred). In this study MFO, fatmax and studies which assess the effect of exercise on fat oxidation are reviewed. Although a lot of research has been done to determine fatmax, the data are inconsistent. However, most researchers believe that the highest amount of lipid oxidation occurs at low to moderate intensities ranging from 35 to 65% of VO_{2max} .

Conflicts of interest: None

Funding: Committee of Public Sports of Rafsanjan

Keywords

MFO,
Fatmax,
Obesity,
Overweight,
Exercise,
Dose response

Received: 04/01/2020

Accepted: 25/04/2020

Cite this article as:

Khoramipour K, Ahmadi Hekmatikar A, Sotvan H. An overview of Fatmax and MFO in exercise. Razi J Med Sci. 2020;27(3):49-59.

*This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence.

(۸). در تست های درجه بندی شده، مدت زمان هر مرحله به طور کلی بین ۲ تا ۶ دقیقه متغیر است (۸). با این وجود گزارش شده است که برای افراد با اضافه وزن بالا، بهتر است از تست های Fat_{max} پیش رونده با فواصل ۶ دقیقه ای استفاده شود (۹). بسته به رویکرد محققان، یک دوره زمانی خاص از داده های مرحله Fat_{max} به طور معمول برای محاسبه MFO استفاده می شود. در مطالعاتی که در آن فواصل ۶ دقیقه انتخاب شده است محققان ۳۰ ثانیه آخر (۱۰)، ۱ دقیقه آخر (۱۱)، ۲ دقیقه آخر (۱۲) و ۳ دقیقه آخر (۱۳) هر مرحله را برای محاسبه MFO انتخاب کرده اند. برای اندازه گیری اکسیداسیون چربی، محقق پس از جمع آوری داده ها، ۲ دقیقه آخر هر مرحله را از طریق فرمول استاندارد زیر محاسبه می کند (۱۴، ۱۵):

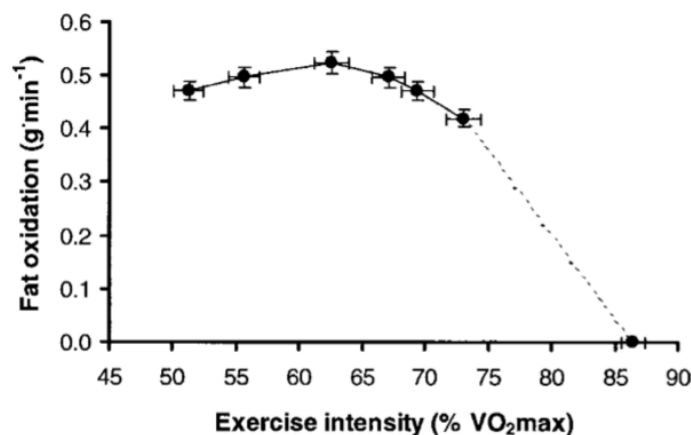
$$VO_2 - 1/70 \times VCO_2 = 1/695 \times \text{اکسیداسیون چربی}$$

$$VO_2 \times 226/3 - VCO_2 \times 585/4 = \text{اکسیداسیون کربوهیدرات}$$

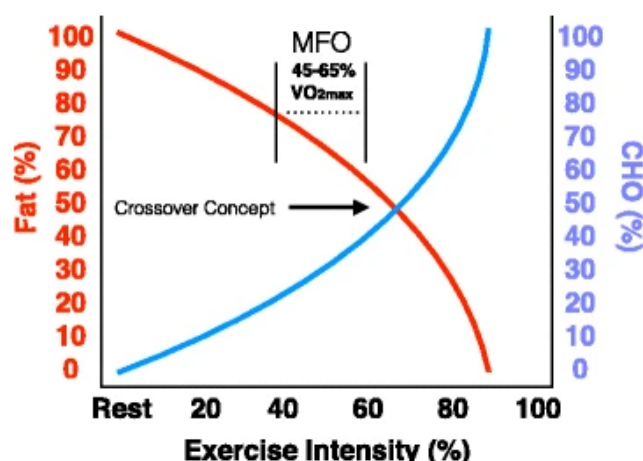
پروتکل تعیین شدت برای حداکثر اکسیداسیون چربی اغلب از طریق Fat_{max} به دست می آید و پس از پیدا کردن شدت مورد نظر می توان یک نسخه ورزشی برای افراد چاق جهت چربی سوزی با شدت مناسب تجویز کرد (۱۲، ۱۶). گروهی از محققان گزارش کرده اند که حداکثر اکسیداسیون چربی در شدت های ۴۷ تا

نداشتن فعالیت بدنی و مصرف مواد غذایی پر کالری باعث می شود بدن انسان هزینه انرژی کم و دریافت انرژی زیادی داشته باشد و در نهایت تراز انرژی به سمت چاقی می رود (۱). چاقی به عنوان عامل مهمی در ایجاد و توسعه بیماری های مزمن مانند بیماری های قلبی - عروقی، پرفشارخونی، دیابت نوع دو، سکته مغزی، استئوآرتریت و سرطان های خاص شناخته شده است (۲). یکی از استراتژی های مهم برای جلوگیری از چاقی، افزایش هزینه انرژی به وسیله فعالیت ورزشی می باشد. پژوهش ها نشان داده است با دست کاری متغیرهای تمرین می توان کالری سوزی و همچنین سهم چربی را در کالری سوخته افزایش داد. پژوهش گران نشان داده اند که مهم ترین متغیر تعیین کننده در این زمینه، شدت فعالیت است (۳).

شدتی از فعالیت که حداکثر اکسیداسیون چربی (Maximal Fat Oxidation rate-MFO) در آن رخ می دهد را Fat_{max} می نامند (۴). محققان در برخی منابع از واژه های $Lipox_{max}$ یا $Fatox_{max}$ به جای Fat_{max} استفاده کرده اند (۷-۵). برای اندازه گیری Fat_{max} از دستگاه های کالری سنجی استفاده می شود که از طریق این دستگاه ها می توان تست های درجه بندی شده ورزشی را تجویز و اندازه گیری های مربوطه را انجام داد



شکل ۱- شدت های مختلف فعالیت ورزشی و اکسیداسیون چربی. برگرفته از مطالعه جاکاندروپ و همکاران (۲۰۰۵) (۱۹).



شکل ۲- اصل کراس اور نقطه تقاطع کربوهیدرات و چربی. در این شکل که از تحقیق بروک و مارسیس (۱۹۹۴) گرفته شده است MFO بین ۴۵ تا ۶۵ درصد VO_{2max} می باشد (۲۰).

کمتری به MFO می رسند. از طرفی زنان نسبت به مردان اکسیداسیون چربی بیشتری در یک فعالیت مشابه دارند چون مقدار چربی بدن آنها بیشتر است (۲۱). ضمن اینکه وضعیت تغذیه ای افراد می تواند بر MFO تأثیرگذار باشد. زمانی که قبل از فعالیت از مواد کربوهیدراتی بیشتر استفاده شود، ترشح انسولین افزایش یافته که این افزایش از چربی سوزی جلوگیری خواهد کرد. زمانی که فرد در حالت ناشتا فعالیت می کند زودتر به MFO خواهد رسید (۲۱).

پروتکل های مختلفی برای تعیین Fat_{max} وجود دارد اما متداول ترین آنها پروتکل های انجام شده روی تردمیل و دوچرخه کارسنج است (۳، ۱۹، ۲۵-۲۳).

تردمیل

بیشتر تحقیقات از یک پروتکل استاندارد برای تمام آزمایش های Fat_{max} استفاده کرده اند. در این پروتکل دستگاه های مربوطه به آزمودنی متصل شده و پس از ۵ دقیقه گرم کردن فرد موردنظر بر روی نوار گردان قرار گرفته، فعالیت خود را با سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و با شیب ۱٪ شروع کرده اند. سرعت دستگاه هر سه دقیقه به میزان ۱ کیلومتر بر ساعت افزوده شده تا زمانی که به سرعت ۷/۵ کیلومتر بر ساعت برسد. در این نقطه، شیب دستگاه هر سه دقیقه ۲٪ افزایش یافته تا زمانی که نسبت تبادل تنفسی (Respiratory - RER Exchange Ratio) برابر با یک شود. در نهایت؛ سرعت و شیب تا رسیدن به سرحد واماندگی، به طور همزمان

۷۵ درصد VO_{2max} اتفاق می افتد (۳، ۱۷). از طرفی مطالعات دیگر گزارش کردند که Fat_{max} در شدت های ورزش کم تا متوسط ۳۵ تا ۶۵ درصد VO_{2max} حاصل می شود (۱۸). جاکاندروپ و همکارانش نیز گزارش کرده اند که اکسیداسیون چربی در شدت های بین ۵۵ تا ۷۵ درصد VO_{2max} اتفاق می افتد (شکل ۱) (۱۹).

با این حال مشخص کردن شدت مناسب برای اکسیداسیون چربی کار بسیار دشواری است. بروک و مارسیس در تحقیقی نشان دادند که سوختن کربوهیدرات و چربی با افزایش شدت به ترتیب افزایش و کاهش می یابد تا در نقطه ای برابر می شود که به آن نقطه تقاطع کربوهیدرات و چربی یا نقطه کراس اور می گویند. به این دلیل اصل به نام کراس اور معرفی شد (شکل ۲) (۲۰).

تعیین MFO از طریق Fat_{max} کار بسیار دشواری است؛ زیرا عوامل بسیار زیادی قبل از انجام تست یا در حین تست می تواند بر MFO تأثیر بگذارد. در یک مطالعه مروری محققان عوامل اثرگذار بر MFO را مشخص کردند که مهم ترین آن وضعیت تمرینی (افراد تمرین کرده یا تمرین نکرده، ورزشکاران استقامتی یا مقاومتی) می باشد (۲۱). به طور مثال یک ورزشکار استقامتی تمرین کرده در مقایسه با یک ورزشکار تمرین نکرده بدون تغییر در Fat_{max} - اکسیداسیون چربی بیشتری خواهد داشت (۲۲). از عوامل تأثیرگذار دیگر سن و جنس می باشد. افراد مسن نسبت به افراد جوان اکسیداسیون چربی کمتری دارند و در شدت

افزوده شده است (۲۶، ۲۷). هدف از بخش پایانی آزمون، اندازه گیری VO_{2max} است. معیارهای رسیدن به VO_{2max} رسیدن ضربان قلب معادل با ۱۰ ضربه کمتر از ضربان قلب بیشینه (سن - ۲۲۰)، عدم افزایش اکسیژن مصرفی با توجه به افزایش شدت فعالیت و RER بزرگتر از ۱/۰۵ می باشد (۲۵). تحقیقات مرتبط با Fatmax که با تردمیل انجام شده است در جدول ۱ آورده شده است.

دوچرخه

در دوچرخه نیز مانند تردمیل اکثر تحقیقات از یک پروتکل استاندارد استفاده کرده اند. آزمودنی ها پس از ۵ دقیقه گرم کردن، شروع به فعالیت روی دوچرخه کارسنج مونارک با توان ۹۵ وات کرده اند و هر ۵ دقیقه، ۳۵ وات اضافه شده تا RER به ۱ برسد. زمانی که RER به ۱ رسید هر دو دقیقه ۳۵ وات افزایش یافته است (۲۴، ۲۵). تحقیقات مرتبط با Fatmax که با دوچرخه انجام شده است در جدول ۱ آورده شده است.

روش کار

مقالات مورد استفاده در این مطالعه با جستجو واژه های انگلیسی و فارسی زیر در پایگاه های Science، PubMed، Direct، Web of Science، Scopus، Google Scholar و SID پیدا شدند. Exercise and Fatmax

(فعالیت ورزشی و Fatmax)

Physical activity and Fatmax

(فعالیت بدنی و Fatmax)

Exercise and MFO

(فعالیت ورزشی و MFO)

Physical activity and MFO

(فعالیت بدنی و MFO)

مقالات شامل آزمودنی انسانی در این مطالعه مروری استفاده شد. معیار ورود به مطالعه، استفاده از دستگاه گاز آنالیزر برای اندازه گیری Fat_{max} و MFO بود. همچنین، هر مطالعه ای که از فعالیت ورزشی در کنار سایر تداخل های محیطی استفاده کرده بود، نیز وارد مطالعه شد.

یافته ها

پس از بررسی مطالعات یافت شده، ۵۸ مقاله شرایط ورود به این مطالعه را داشتند. از این بین ۳۶ مطالعه با استفاده از دوچرخه و ۲۲ مطالعه با استفاده از تردمیل انجام شده است. پژوهشگران در سال ۲۰۰۳ شروع به انجام مطالعات در زمینه Fat_{max} کردند. سپس ۵ مطالعه تا سال ۲۰۱۰ و ۵۸ مطالعه بین سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ انجام شده است که ۲۲ مطالعه مربوط به سال

جدول ۱- تغییرات Fat_{max} و MFO با تردمیل و دوچرخه

نام نویسندگان	نوع آزمودنی	نوع فعالیت ورزشی	Fat_{max} (VO_{2max})	MFO (g/min)	منبع
کرم و همکاران (۲۰۱۹)	۳۵ مرد دارای اضافه وزن غیرفعال	تردمیل	$39/8 \pm 1/17$ VO_{2max}	$0/0 \pm 32/02$ گرم در دقیقه	(۲۸)
حسن و همکاران (۲۰۱۹)	۲۰ مرد دارای اضافه وزن	دوچرخه	$48/02 \pm 0/9$ VO_{2max}	$0/37$ گرم در دقیقه	(۲۹)
فرانسیسکو و همکاران (۲۰۱۹)	۱۲۴ مرد غیرفعال	دوچرخه	$65/12 \pm 0/15$ VO_{2max}	$0/0 \pm 70/93$ گرم در دقیقه	(۳۰)
پریس و همکاران (۲۰۱۸)	۵۶ مرد تمرین کرده	تردمیل	$47/7 \pm 1/0/59$ VO_{2max}	$0/0 \pm 59/24$ گرم در دقیقه	(۳۱)
تان و همکاران (۲۰۱۸)	۳۴ زن مبتلا دیابت نوع ۲	تردمیل	$38/5 \pm 7/5$ VO_{2max}	$0/37 \pm 3/7$ گرم در دقیقه	(۳۲)
پریز و همکاران (۲۰۱۸)	۳۰ زن چاق	دوچرخه	$49/02 \pm 0/9$ VO_{2max}	$0/1 \pm 41/12$ گرم در دقیقه	(۳۳)

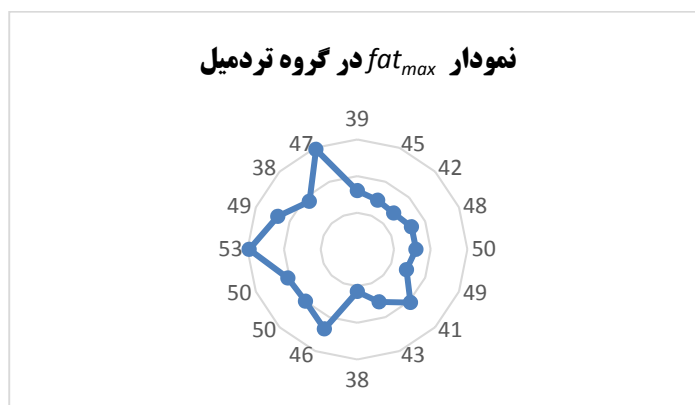
جدول ۱- ادامه

نام نویسندگان	نوع آزمودنی	نوع فعالیت ورزشی	Fat _{max} (V _{O2max})	MFO (g/min)	منبع
آستورینو و همکاران (۲۰۱۷)	۳۹ مرد و ۲۰ زن فعال	دوچرخه	۳۹/۶±۶/۸ V _{O2max} مرد ۴۱/۰±۶/۸ V _{O2max} زن	۰/۴۳±۰/۱۹ گرم در دقیقه مرد ۰/۴۸±۰/۳۷ گرم در دقیقه مرد	(۳۴)
برادر و همکاران (۲۰۱۷)	۳۶ دختر	دوچرخه	۴۴/۴±۵۱/۴۷ V _{O2max} مرد	۰/۶۸±۰/۱۸ گرم در دقیقه	(۳۵)
جاکوب و همکاران (۲۰۱۷)	۶۱ مرد ورزشکار	تردمیل	۴۹/۲±۱۱/۸۱ V _{O2max}	۰/۴۷±۰/۳۸ گرم در دقیقه	(۳۶)
رندل و همکاران (۲۰۱۷)	۲۸۱ مرد ورزشکار	تردمیل	۵۳±۱۵ V _{O2max}	۰/۵۹±۰/۱۷ گرم در دقیقه	(۳۷)
تان و همکاران (۲۰۱۶)	۳۰ زن غیر فعال ۱۵ گروه تمرین ۱۵ گروه کنترل	تردمیل	۵۰±۷ V _{O2max} گروه تمرین ۵۴±۱۲ V _{O2max} گروه کنترل	۰/۴۱±۱/۰۷ گرم در دقیقه (گروه تمرین) ۰/۴۰±۰/۰۹ گرم در دقیقه (گروه کنترل)	(۳۸)
راینسون و همکاران (۲۰۱۶)	۵۷ مرد جوان سالم	تردمیل	۴۶/۱±۱۲/۲۰ V _{O2max}	۰/۴۸±۰/۱۱ گرم در دقیقه	(۳۹)
اپوگلو و همکاران (۲۰۱۶)	۱۱ مرده تمرین کرده	تردمیل	۳۸/۱±۶/۴ V _{O2max}	۰/۲۳±۰/۰۲ گرم در دقیقه	(۴۰)
لاوای ما و همکاران (۲۰۱۵)	۹ مرد تمرین کرده	تردمیل	۳۸/۵±۱/۵ V _{O2max}	۰/۳۲±۰/۵۲ گرم در دقیقه	(۴۱)
تان و همکاران (۲۰۱۵)	۲۶ پسر چاق ۲۰ پسر لاغر	تردمیل	۴۳±۱۱ V _{O2max} گروه تمرین ۴۱±۱۰ V _{O2max} گروه کنترل	۰/۳۱±۰/۰۷ گرم در دقیقه (گروه تمرین) ۰/۴۲±۰/۰۹ گرم در دقیقه (گروه کنترل)	(۴۲)
ونگ و همکاران (۲۰۱۵)	۳۰ زن چاق	تردمیل	۴۹±۱۳ V _{O2max} گروه تمرین ۵۲±۱۰ V _{O2max} گروه کنترل	۰/۲۹±۰/۰۱۲ گرم در دقیقه (گروه تمرین) ۰/۳۲±۲/۱۹ گرم در دقیقه (گروه کنترل)	(۴۳)
ماروزوکی و همکاران (۲۰۱۵)	۱۲ مرد سالم	دوچرخه	۴۸/۱۰±۲/۶۵ V _{O2max}	۰/۳۵±۰/۱۱ گرم در دقیقه	(۴۴)
سوک و همکاران (۲۰۱۵)	۲۴ زن دارای اضافه وزن	دوچرخه	۴۶/۴±۴/۹ V _{O2max}	۰/۳۸±۰/۹۲ گرم در دقیقه	(۴۵)
رامی و همکاران (۲۰۱۴)	۱۱ مرد فعال	تردمیل	۲۹/۳۸±۰/۲۱ V _{O2max}	۰/۳۹±۰/۲۰ گرم در دقیقه	(۴۶)
تاکاگی و همکاران (۲۰۱۴)	۲۰ مرد سالم	تردمیل	۴۲/۹±۳/۰۲ V _{O2max}	۰/۲۸±۱/۱۲ گرم در دقیقه	(۴۷)
موسویان و همکاران (۲۰۱۳)	۱۵ زن تمرین نکرده	تردمیل	۴۳/۲±۰/۹ V _{O2max}	۰/۲۳ گرم در دقیقه	(۴۸)
ونابلز و همکاران (۲۰۰۵)	۳۰۰ مرد غیرفعال	تردمیل	۴۰/۹۲±۶/۱۷ V _{O2max}	۰/۳۰±۰/۰۵ گرم در دقیقه	(۴۹)
			۴۸/۳±۰/۹ V _{O2max}	۰/۳۹±۰/۲۵ گرم در دقیقه	

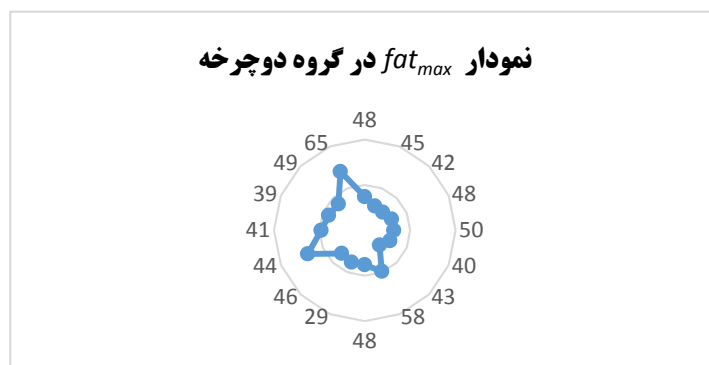
۲۰۱۹ بوده است (جدول ۱).
همان طور که گفته شده در این مطالعات از دو وسیله تردمیل و دوچرخه استفاده شده است و جالب اینکه نتایج تا حدی با هم تفاوت دارند. بررسی مطالعه حاضر

۵ خلاصه شده و نتیجه نشان داد که مستقل از پروتکل و وسیله مورد استفاده fat_{max} در دامنه ۳۸ تا ۵۰ درصد VO_{2max} اتفاق می‌افتد. این نمودار همچنین نشان می‌دهد که بیشترین مقدار سوختن چربی در تمرین با fat_{max} حاصل می‌شود (شکل ۵).

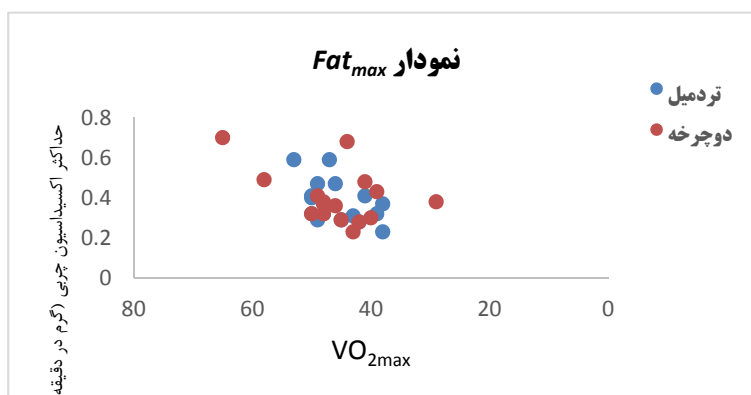
نشان می‌دهد که fat_{max} در مطالعاتی که از تردمیل استفاده کرده‌اند در دامنه ۴۷ تا ۵۳ درصد از VO_{2max} رخ داده است (شکل ۳)، در حالی که در مطالعاتی که از دوچرخه استفاده کرده‌اند در دامنه ۴۴ تا ۶۵ درصد VO_{2max} رخ داده است (شکل ۴). در پی یافتن یک دامنه کلی برای fat_{max} کل مطالعات را صرف نظر از اینکه با دوچرخه یا تردمیل انجام شده بودند- در شکل



شکل ۳- Fat_{max} در مطالعاتی که از تردمیل استفاده کرده‌اند. نمودار نشان می‌دهد که fat_{max} در دامنه ۴۷ تا ۵۳ درصد VO_{2max} رخ داده است.



شکل ۴- Fat_{max} در مطالعاتی که از دوچرخه استفاده کرده‌اند. نمودار نشان می‌دهد که fat_{max} در دامنه ۴۴ تا ۶۵ درصد VO_{2max} رخ داده است.



شکل ۵- Fat_{max} در مطالعاتی که از دوچرخه و تردمیل استفاده کرده‌اند. نمودار نشان می‌دهد که fat_{max} در دامنه ۳۸ تا ۵۰ درصد VO_{2max} اتفاق می‌افتد و بیشترین اکسیداسیون چربی در حین تمرین با دوچرخه اتفاق افتاده است.

بحث و نتیجه گیری

هدف از مطالعه حاضر مرور تحقیقات انجام شده در زمینه $\text{fat}_{\max}$ و MFO بود. پس از بررسی مطالعات مشخص شد که MFO در شدت‌های گوناگون و بر اساس شرایط فیزیولوژیک هر شخص مشخص می‌شود. آمارو و همکاران حداکثر میزان اکسیداسیون چربی را در مردان ورزشکار مورد بررسی قرار دادند. این محققان در نتایج خود عنوان کردند اکسیداسیون چربی در این افراد سریع‌تر از افراد بدون تمرین رخ می‌دهد (۵۰). همچنین در تحقیق لانزی و همکاران مشخص شد زمانی که تمرین تداومی با شدت $\text{fat}_{\max}$ انجام می‌شود اکسیداسیون چربی بیشتری نسبت به زمانی که تمرین تناوبی با شدت بالا انجام می‌شود، وجود دارد. از طرفی هم در تمرینات $\text{fat}_{\max}$ و هم در تمرینات تناوبی با شدت بالا اکسیداسیون چربی قابل توجه‌ای حاصل شد. اما پس از بررسی داده‌ها مشخص شد اکسیداسیون چربی تمرینات $\text{fat}_{\max}$ بیشتر بود (۵۱). تان و همکاران نشان دادند که تمرینات $\text{fat}_{\max}$ می‌تواند باعث افزایش اکسیداسیون چربی و کاهش درصد چربی بدن در زنان چاق شود (۵۲). جاکاندروپ و همکاران نیز در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که تمرین در دامنه $\text{fat}_{\max}$ می‌تواند برای پیشگیری از بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت، کاهش وزن و افزایش چربی سوزی بسیار مفید باشد (۵۳). گزارش شده است که با افزایش شدت فعالیت ورزشی سهم اکسیداسیون چربی هم افزایش می‌یابد اما در شدت‌های زیاد مجدداً کاهش می‌یابد و تأمین انرژی بدن بر عهده کربوهیدرات خواهد بود (۲۵).

تری گلیسرید شکل چربی ذخیره شده در بدن است که از ۳ اسید چرب و یک گلیسرول تشکیل شده است. فرایند تجزیه این چربی‌ها را لیپولیز می‌نامند. هنگامی که این اتفاق رخ دهد، اسیدهای چرب در خون رها شده و برای اکسیداسیون به عضلات در حال فعالیت منتقل می‌شوند (۵۴). در تحقیقی گزارش شد اگر شدت فعالیت ورزشی زیر ۶۵ درصد $\text{VO}_{2\max}$ باشد، به دلیل اکسیداسیون اسیدهای چرب، می‌توان از نظر فیزیولوژیکی برای مدت زمان طولانی تری به فعالیت پرداخت و چربی سوزی بیشتری داشته باشیم. با این حال اگر شدت بیشتر از ۶۵ درصد $\text{VO}_{2\max}$ برسد

اکسیداسیون کربوهیدرات‌ها غالب می‌شود (۵۴). روند لیپولیز تا حد زیادی از طریق سیستم غدد درون ریز کنترل می‌شود (۵۵). ترشح اپی نفرین باعث تحریک لیپولیز می‌شود و بنابراین غلظت اسیدهای چرب سرم را افزایش می‌دهد، اما در حالت استراحت سطوح اپی نفرین در بدن کم است. با این حال با شروع فعالیت ورزشی سطوح اپی نفرین افزایش پیدا می‌کند و هم زمان با افزایش شدت اپی نفرین بیشتری تولید می‌شود (۵۶). بسته به شدت فعالیت ورزشی و / یا مدت زمان، غلظت اپی نفرین می‌تواند تا ۲۰ برابر سطح پایه افزایش یابد. طی فعالیت ورزشی با شدت ۶۰ درصد $\text{VO}_{2\max}$ ، غلظت اسیدهای چرب سرم ۲-۳ برابر حالت استراحت افزایش می‌یابد (۵۷). این یافته‌ها می‌تواند نتایج تحقیقاتی که در ارتباط با $\text{fat}_{\max}$ انجام شده است را تأیید کند.

اتصال اپی نفرین به گیرنده β -آدرنرژیک بر روی غشای سلول‌های چربی باعث ایجاد آبشار حلقوی می‌شود که با تری گلیسرید لیپاز بافت چربی Adipose (triglyceride lipase) آغاز می‌شود. یافته‌های اخیر نشان می‌دهد که لیپولیز توسط ATGL و لیپاز حساس به هورمون (Hormone-sensitive lipases) تنظیم می‌شود (۵۷، ۵۸). اکثر تحقیقات نشان دادند که ATGL در مقایسه با HSL حساسیت بیشتری به اپی نفرین دارد (حدود ۱۰ برابر). پس در پروتکل‌های درجه بندی شده $\text{fat}_{\max}$ که فعالیت بین ۵۰ تا ۶۵ درصد $\text{VO}_{2\max}$ است اپی نفرین در اوج خود قرار دارد و ATGL اولین اسید چرب را از تری گلیسرید‌ها جدا

می‌کند. سپس HSL مسئولیت جداسازی زنجیره دوم اسیدهای چرب را بر عهده دارد (۵۴). سرانجام، کاتابولیسم مونوآسیل گلیسرول توسط مونوگلیسرول لیپاز در جایی که اسیدهای چرب به آن منتقل می‌شود تسهیل می‌شود و گلیسرول در مسیرهای گلیکولیتیک یا گلوکونوژنیک در کبد استفاده می‌شود (۵۴). این مطالب می‌تواند توضیح دهد که چرا در شدت‌های تا ۶۵ درصد $\text{VO}_{2\max}$ بیشترین مقدار چربی سوزی اتفاق می‌افتد. مطالعاتی که در حوزه $\text{fat}_{\max}$ انجام شد نقطه اوج MFO را ۶۵ درصد $\text{VO}_{2\max}$ گزارش کرده‌اند.

پس از بررسی مطالعات مشخص شد که $\text{Fat}_{\max}$ در

mesures physiologiques aux applications cliniques. Realites et incertitudes. Sci Sports J. 2011;26(2):57-71.

7. Brun JF, Malatesta D, Sartorio A. Maximal lipid oxidation during exercise: A target for individualizing endurance training in obesity and diabetes? J Endocrinol Invest. 2012;35(7):686-91.

8. Croci I, Hickman IJ, Wood RE, Borrani F, Macdonald GA, Byrne NM. Fat oxidation over a range of exercise intensities: fitness versus fatness. Appl Physiol Nutr Metab. 2014;39(12):1352-9.

9. Bordenave S, Flavie S, Fedou C, Brun JF, Mercier J. Exercise calorimetry in sedentary patients: procedures based on short 3 min steps underestimate carbohydrate oxidation and overestimate lipid oxidation. Diabetes Metab. 2007;33(5):379-84.

10. Schwindling S, Scharhag-Rosenberger F, Kindermann W, Meyer T. Limited benefit of Fatmax-test to derive training prescriptions. Int J Sports Med. 2014;35(4):280-5.

11. Isacco L, Thivel D, Pereira B, Duclos M, Boisseau N. Maximal fat oxidation, but not aerobic capacity, is affected by oral contraceptive use in young healthy women. Eur J Appl Physiol. 2015;115(5):937-45.

12. Besnier F, Lenclume V, Gerardin P, Fianu A, Martinez J, Naty N, et al. Individualized exercise training at maximal fat oxidation combined with fruit and vegetable-rich diet in overweight or obese women: The LIPOXmax-Reunion Randomized Controlled Trial. PLoS One. 2015;10(11):e0139246.

13. Borel B, Coquart J, Boitel G, Duhamel A, Matran R, Delsart P, et al. Effects of endurance training at the crossover point in women with metabolic syndrome. Med Sci Sports Exerc. 2015;47(11):2380-8.

14. Rohani H, Damirchi A, Hasannia S, Rohani M. The effect of dehydration on maximal fat oxidation (MFO) and the exercise intensity at which MFO occurred (fat max). Olympic. 2009;16(4 (SERIAL 44)):89-98.

15. Ahmadi Hekmatikar AH, Ebrahimi M. Substrate oxidation changes during exercise after white tea consumption in obese men. J Sport Physiol. 2019;11(43):17-34.(farsi)

16. Tan S, Wang J, Cao L, Guo Z, Wang Y. Positive effect of exercise training at maximal fat oxidation intensity on body composition and lipid metabolism in overweight middle-aged women. Clin Physiol Funct Imaging. 2016;36(3):225-30.

17. Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. Med Sci Sports Exerc. 2002;34(1):92-7.

18. Valizadeh A, Khosravi A, Azmoon H. Fat

شدت های مختلفی اتفاق می افتد که محدوده آن در مقالات مختلف زود نقیض می باشد؛ اما در تحقیق مروری حاضر پس از بررسی مطالعات مشخص شد حداکثر اکسیداسیون چربی در شدت ۳۸ تا ۵۰ درصد VO_{2max} اتفاق می افتد. همچنین بیشترین اکسیداسیون چربی مربوط به تردمیل بوده است. با توجه به مطالعات بررسی شده می توان اظهار داشت حداکثر اکسیداسیون چربی در زنان و مردان و ورزشکاران و افراد غیر فعال بسیار متفاوت است. در نتیجه برای افراد غیر فعال که انجام فعالیت های با شدت بالا سخت می باشد، انجام تمرینات Fat_{max} می تواند به عنوان یکی از بهترین پروتکل های تمرینی پیشنهاد کرد.

تقدیر و تشکر

بر خود لازم می دانم از کمک مالی و معنوی هیات ورزش های همگانی شهرستان رفسنجان و به ویژه رئیس این هیات جناب آقای محسن کریمی کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

References

- Gray CL, Messer LC, Rappazzo KM, Jagai JS, Grabich SC, Lobdell DT. The association between physical inactivity and obesity is modified by five domains of environmental quality in U.S. adults: A cross-sectional study. PLoS One. 2018;13(8):e0203301-e.
- Marcus MD, Levine MD, Kalarchian MA, Wisniewski L. Cognitive behavioral interventions in the management of severe pediatric obesity. Cog Behav Pract. 2003;10(2):147-56.
- Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. Med Sci Sports Exerc. 2002;34(1):92-7.
- Ghanassia E, Brun JF, Fedou C, Raynaud E, Mercier J. Substrate oxidation during exercise: type 2 diabetes is associated with a decrease in lipid oxidation and an earlier shift towards carbohydrate utilization. Diabetes Metab. 2006;32(6):604-10.
- Achten J, Jeukendrup AE. The effect of pre-exercise carbohydrate feedings on the intensity that elicits maximal fat oxidation. J Sports Sci. 2003;21(12):1017-25.
- Brun J, Romain A, Mercier J. Lipoxmax ou oxydation maximale des lipides lors de l'exercice: des

oxidation rate during and after three exercise intensities in non-athlete young men. *World Appl Sci J*. 2011;15(9):1260.

19. Amaro-Gahete FJ, Sanchez-Delgado G, Helge JW, Ruiz JR. Optimizing maximal fat oxidation assessment by a treadmill-based graded exercise protocol: When should the test end? *Front Physiol*. 2019;10:909.

20. Jeukendrup A. Modulation of carbohydrate and fat utilization by diet, exercise and environment. Portland Press Limited; 2003.

21. Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *J Appl Physiol*. 1994;76(6):2253-61.

22. Maunders E, Plews DJ, Kilding AE. Contextualising maximal fat oxidation during exercise: determinants and normative values. *Front Physiol*. 2018;9(599).

23. Schwindling S, Scharhag-Rosenberger F, Kindermann W, Meyer T. Limited benefit of Fatmax-test to derive training prescriptions. *Int J Sports Med*. 2014;35(04):280-5.

24. Maunders E, Plews DJ, Kilding AE. Contextualising Maximal Fat Oxidation During Exercise: Determinants and Normative Values. *Front Physiol*. 2018;9:599-.

25. Achten J, Jeukendrup A. Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *Int J Sports Med*. 2003;24(08):603-8.

26. Achten J, Jeukendrup A. Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *Int J Sports Med*. 2003;24(08):603-8.

27. Venables MC, Achten J, Jeukendrup AE. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J Appl Physiol*. 2005;98(1):160-7.

28. Özgönen KT, Özdemir Ç, Korkmaz-Eryılmaz S, Kılıcı A, Günaştı Ö, Kurdak SS. A comparison of the maximal fat oxidation rates of three different time periods in the fatmax stage. *J Sports Sci Med*. 2019;18(1):44.

29. Hansen MT, Rømer T, Frandsen J, Larsen S, Dela F, Helge JW. Determination and validation of peak fat oxidation in endurance-trained men using an upper body graded exercise test. *Scand J Med Sci Sports*. 2019;29(11):1677-1690.

30. Amaro-Gahete FJ, Sanchez-Delgado G, Helge JW, Ruiz JR. Optimizing maximal fat oxidation assessment by a treadmill-based graded exercise protocol: when should the test end? *Front Physiol*. 2019;10:909. Published 2019 Jul 23.

31. Peric R, Meucci M, Bourdon PC, Nikolovski Z. Does the aerobic threshold correlate with the maximal fat oxidation rate in short stage treadmill tests? *J Sports Med Phys Fit*. 2018;58(10):1412-7.

32. Tan S, Du P, Zhao W, Pang J, Wang J. Exercise training at maximal fat oxidation intensity for older women with type 2 diabetes. *Int J Sports Med*.

2018;39(05):374-81.

33. Corral-Pérez J, Pérez-Bey A, Velázquez-Díaz D, Fernández-Santos J, Grao-Cruces A, Sandubete M, et al. Breaking-up sedentary time can regulate maximal fat oxidation capacity during exercise. *Circulation*. 2019;139(11):1422-1434.

34. Astorino TA, Edmunds RM, Clark A, Gallant R, King L, Ordille GM, et al. Change in maximal fat oxidation in response to different regimes of periodized high-intensity interval training (HIIT). *Eur J Appl Physiol*. 2017;117(4):745-55.

35. Nohbaradar H, Nazarali P, Hanachi P, Alizadeh R. The effect of Mode of Exercise Testes and Age on Fat Oxidation Rate among 9- to 17-year-old girls. *J Appl Exerc Physiol*. 2017;13(25):147-58.(farsi)

36. Frandsen J, Vest SD, Larsen S, Dela F, Helge JW. Maximal fat oxidation is related to performance in an ironman triathlon. *Int J Sports Med*. 2017;38(13):975-82.

37. Randell RK, Rollo I, Roberts TJ, Dalrymple KJ, Jeukendrup AE, Carter JM. Maximal fat oxidation rates in an athletic population. *Med Sci Sports Exerc*. 2017;49(1):133-40.

38. Tan S, Wang J, Cao L, Guo Z, Wang Y. Positive effect of exercise training at maximal fat oxidation intensity on body composition and lipid metabolism in overweight middle-aged women. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2016;36(3):225-30.

39. Robinson SL, Chambers ES, Fletcher G, Wallis GA. Lipolytic Markers, Insulin and Resting Fat Oxidation are Associated with Maximal Fat Oxidation. *Int J Sports Med*. 2016;37(08):607-13.

40. Gökhan İ, Şükrü Serdar B. Comparison between continuous and intermittent submaximal exercise at the intensity of maximal fat oxidation. *Diabetes Metab J*. 2015;39(4):328-34.

41. Iwayama K, Kawabuchi R, Park I, Kurihara R, Kobayashi M, Hibi M, et al. Transient energy deficit induced by exercise increases 24-h fat oxidation in young trained men. *J Appl Physiol*. 2015;118(1):80-5.

42. Tan S, Wang J, Cao L. Exercise training at the intensity of maximal fat oxidation in obese boys. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2015;41(1):49-54.

43. Wang J, Tan S, Cao L. Exercise training at the maximal fat oxidation intensity improved health-related physical fitness in overweight middle-aged women. *J Exerc Sci Fit*. 2015;13(2):111-6.

44. Marzouki H, Gmada N, Farhani Z, Hssin N, Shephard R, Bouhlef E. Crossover and maximal fat oxidation points during running and cycling in sedentary subjects. *Sci Sports*. 2015;30(4):196-203.

45. Suk MH, Moon Y-J, Park SW, Park C-Y, Shin YA. Maximal fat oxidation rate during exercise in Korean women with type 2 diabetes mellitus. *Diabetes Metab J*. 2015;39(4):328-34.

46. Rami M, Habibi A, Shakerian S. Comparison between FATmax and maximal fat oxidation in

active and sedentary males. *Jentashapir J Health Res.* 2014;5(2):53-64.

47. Takagi S, Sakamoto S, Midorikawa T, Konishi M, Katsumura T. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation in short-time testing. *J Sports Sci.* 2014;32(2):175-82.

48. Mousavian A, Jafarzadeh G, Darvakh H, Valizadeh A. Effect of circadian rhythm on maximal fat oxidation mean in untrained female university student during a session of submaximal aerobic exercise. *Int Res J Appl Basic Sci.* 2013;7(13):1014-1017.

49. Venables MC, Achten J, Jeukendrup AE. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J Appl Physiol.* 2005;98(1):160-7.

50. Amaro-Gahete FJ, Jurado-Fasoli L, Triviño AR, Sanchez-Delgado G, Helge JW, Ruiz JR. Diurnal variation of maximal fat oxidation rate in trained male athletes. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019;1(aop):1-20.

51. Lanzi S, Codecasa F, Cornacchia M, Maestrini S, Capodaglio P, Brunani A, et al. Short-term HIIT and Fatmax training increase aerobic and metabolic fitness in men with class II and III obesity. *Obesity.* 2015;23(10):1987-94.

52. Tan S, Wang X, Wang J. Effects of supervised exercise training at the intensity of maximal fat oxidation in overweight young women. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2012;10(2):64-9.

53. Jeukendrup A, Achten J. Fatmax: A new concept to optimize fat oxidation during exercise? *EJSS.* 2001;1(5):1-5.

54. Ogasawara J, Izawa T, Sakurai T, Sakurai T, Shirato K, Ishibashi Y, et al. The molecular mechanism underlying continuous exercise training-induced adaptive changes of lipolysis in white adipose cells. *J Obes.* 2015;2015.

55. Tank A, Wong D. Peripheral and central effects of circulating catecholamines. *Compr Physiol.* 2015;5(1):1-15.

56. van Hall G. The physiological regulation of skeletal muscle fatty acid supply and oxidation during moderate-intensity exercise. *Sports Med.* 2015;45(1):23-32.

57. Frayn K. Fat as a fuel: emerging understanding of the adipose tissue-skeletal muscle axis. *Acta Physiol.* 2010;199(4):509-18.

58. Watt MJ, Spriet LL. Triacylglycerol lipases and metabolic control: implications for health and disease. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2010;299(2):E162-E8.