**سینتیک جذب اکسیژن پس از شش هفته تمرین ورزش استقامتی برهه ای و مداوم – مطالعه محوری آزمایشی (اکتشافی)**

چکیده

هدف

هدف این مطالعه مقایسه پاسخ سینتیک جذب اکسیژن ریوی و عضلانی قبل (PRE) و بعد (POST) از شش هفته تمرین ورزش استقامتی است.

روش

9 فرد آموزش ندیده توالی های دوتایی (binary) نیمه رندوم با نرخ کاری متغیر بین W30 و W80 را در مداخله پیش از تمرین و پس از تمرین انجام دادند. ضربان قلب (HR) و  به ترتیب به صورت ضربان به ضربان و نفس به نفس را اندازه گیری شد.  از طریق رویکرد Hoffmann و همکارانش برآورد شد.

نتایج

بیشینه جذب اکسیژن، افزایش قابل توجه از PRE تا POST را نشان داد. برای HR، سینتیک  و  از مداخله پیش از تمرین و پس از تمرین تغییر قابل توجهی از خود نشان نداد.

نتیجه گیری

اختلافات موجود در اقتباس ها از تمرین شامل شده، سیستم های فیزیولوژیکی را تحریک می کرد که به ظاهر مسئول تغییرات مشاهده شده قابل توجه در بیشینه V’O2 پس از شش هفته مداخله تمرینی و بر خلاف هیچ گونه تغییری در پاسخ های سینتیک بودند.

واژگان کلیدی

تمرین هوازی، مدلسازی فیزیولوژیکی، دنباله دوتایی نیمه رندوم (PRBS)، ضربان قلب، ارگومتری چرخه ای، تبادل گاز

لیست اختصارات خاص

CCF تابع همبستگی عرضی

CCFlag [s] تأخیر CCFmax

CCFmax [a.u.] ماکسیمم (پیک) تابع همبستگی عرضی

CON پیوسته

HR [min-1] ضربان قلب

INT برهه

POST پس

PRE پیش

PRBS دنباله دوتایی نیمه رندوم

$\acute{Q}$ [L.min-1] بازده قلبی

$\acute{Q}\_{rem}$ [mL.min-1] پرفیوژن بافت های غیر تمرینی

SV [ml] حجم ضربه

$τ$ [s] ثابت زمان

TD [s] تأخیر زمانی

V’O2 [L.min-1] جذب اکسیژن

V’O2peak [L.min-1] ماکسیمم V’O2 کسب شده در عرض تست تمرینی تا خستگی

V’O2musc [L.min-1] جذب اکسیژن عضله در حال تمرین

V’O2pulm [L.min-1] جذب اکسیژن ریوی

V’O2rem [L.min-1] جذب اکسیژن در بافت هایی که در حال تمرین نیستند

Vv [mL] حجم وریدی

WR [W] نرخ کار

1. مقدمه

سینتیک جذب اکسیژن (V’O2) پارامتری کلیدی در ارزیابی پاسخ های چند سیستمی بدن به تنش تمرین می باشد. به عنوان مثال کارایی سینتیک V’O2 وابسته به منبع اکسیژن (O2) و اخذ اکسیژن بوده و انتقال اکسیژن تکیه بر تراکم مویرگی و مقدار پرفیوژن ماهیچه دارد. اخذ اکسیژن تحت تأثیر توزیع فیبر ماهیچه، فعالیت های آنزیمی و تعداد و اندازه میتوکندری است.

برای سنجش سینتیک V’O2، ثابت زمانی تائو ($τ$) را می توان تخمین زد. $τ $ به عنوان زمانی تعریف شده که برای رسیدن به 63% از دامنه نوسان تفاوت میان دو شدت نرخ کار (WR) یا به عنوان گذر از زمان استراحت به شدت کار متوسط یا شدت WR صرف می شود. در این رابطه، $τ$ کوچکتر V’O2 اشاره به پاسخ های سینتیک سریع تری دارد که در واقع نرخ بالای انتقال تری فسفات آدنوزین (ATP) از طریق متابولسیم هوازی به تقاضاهای ATP در عرض تمرین موقتی را بازتاب می دهد. بنابراین سینتیک V’O2 سریع تر مربوط به افزایش تلورانس تمرین می باشد. در این رابطه، بهبودهای ایجاد شده در سینتیک V’O2 نیز مرتبط با قابلیت های هوازی بالاتر هستند و در نتیجه­ی تمرین ورزشی استقامتی سریع شده اند.

سینتیک V’O2 در تمامی انواع ورزش های که روی مولقه استقامتی عملکرد خاص ورزش پیچیده تمرکز دارند جالب توجه است. تمرین ورزش استقامتی نیز درمان شایعی برای بیمارانی است که از مرض قند، چاقی، فشار خون بالا، و بیماری مزمن انسدادی ریه رنج می برند.

برای افراد مسن، تمرین ورزش استقامتی و سرعت بخشیدن به سینتیک V’O2 برای کیفیت زندگی اهمیت دارد. اامروز، عملکرد تمرینی و تست ورزش کاربرد عملی و مرتبط برای فضانوردانی دارد که مشغول مأموریت های بلند مدتی هستند که در آن ها روی ایستگاه فضایی بین المللی می مانند. نمونه های ذکر شده از رویه های تمرینی یا متدهای مختلف تشکیل شده اند و اهداف خاص خود را دارند. تفاوت اساسی تر نوع برهه ای و تمرین ورزش استقامتی از نوع مداوم (پیوسته) است. بررسی های موجود تنها با تمرکز روی تمیرین ورزشی پیوسته (CON) نشان داده اند که سینتیک V’O2 به طرز قابل توجهی پس از مداخله تمرینی بهبود یافته اند. در مقابل، بررسی هایی که تنها روی تمرین برهه ای (کوتاه مدت) تمرکز داشتند نشان دهنده سرعت یافتن سینتیک V’O2 نیز بودند. به علاوه، مطالعات هم شامل تمرین ورزشی INT بودند و هم تمرین ورزشی CON و این نشان می دهد که یا INT یا CON باعث بهبود سینتیک V’O2 می شوند و یا هر دو رویه تمرینی در سرعت یافتن سینتیک V’O2 یکسان هستند. اما هیچ توافق نظری در این رابطه وجود ندارد که آیا INT یا CON می توانند محرک بهبودهای برتر (عالی) در V’O2 شوند یا خیر. در رابطه با این موضوع و علیرغم تمرین ورزشی INT یا CON، تأثیرات تمرین ورزش استقامتی را می توان به تطبیق های مرتبط با قابلیت ها و سینتیک رده بندی کرد. قابلیت ها محدودیت های بیشینه­ی سیستم های فیزیولوژیکی درگیر در عرض تمرین، نظیر بیشینه V’O2، ماکسیمم ضربان قلب و ماکسیمم بازده قلبی هستند.

در مقابل، سینتیک بازتاب دهنده سرعت انطباق تقاضاهای تمرینی با تغییرات نسبی، نظیر پاسخ های پویای V’O2، ضربان قلب، یا Q’ در پاسخ به تقاضاهای متغیر متابولیکی در عرض تمرین موقتی هستند.

هم قابلیت ها و هم سینتیک ها به ظاهر مرتبط با یکدیگر بوده و برای ارزیابی عملکد استقامتی نباید آن ها را به متغیرهای فیزیولوژیکی یا پارامترهای فیزیولوژیکی مستقل تقسیم کرد. طبق این مسأله، عملکرد استقامتی ترکیبی وابسته به قابلیت ها و پاسخ های سینتیک سیستم قلبی – ریوی و تنفسی می باشد.

در این زمینه، رویه های تست ورزشی قلبی – ریوی مختلفی را می توان با در نظر داشتن تست در سطوح زیر بیشینه و بیشینه یا در تمرین های ورزشی با شدت متوسط زیر آستانه تبادل گاز برای تست سینتیک به کار برد. اما تست سینتیک را می توان بالای آستانه تبادل گاز هم به کار برد که باعث تشدید پیچیدگی پاسخ های مشاهده شده می شود.

از دید (نقطه نظر) عملی، مورد جالب توجه ارزیابی متابولیسم هوازی روی موقعیت عضله است، چون میتوکندری تطبیق یافته و تغییرات سلولی خرد شرح های شایع برای تلورانس تمرین افزایش یافته هستند. در این رابطه، در عرض شرایط غیر از حالت ایستا، ممکن است تفاوت های شایعی میان ارزیابی ریوی V’O2 در دهان و مصرف اکسیژن در ساختمان عضلانی مشاهده شود.

این عدم تطبیق ممکن مبتنی بر تأخیر زمانی و اثرات تحریفی بازگشت مویرگی است که مبنی بر زمان های انتقال غیر خطی تخلیه خون بدون اکسیژن از عضلات در حال تمرین به شش ها و به علاوه اثر لکه دار کردن Q’ روی V’O2 ریوی می باشد.

بنابراین در نظر گرفتن این تفوت ها با سینتیک رویکردهای مناسب امری حیاتی است. از این رو تمایز میان سینتیک V’O2 ریوی و عضلانی بواسطه تمرکز روی نقاط جالب توجه سیستمی و جانبی اهمیت پیدا می کند. بنابراین هدف ما مقایسه پاسخ های سینتیک V’O2plum و V’O2musc قبل و پس از CON و INT در مشارکت کنندگان تمرین ندیده می باشد.

فرضیه زیر آزمایش شد: تمرین ورزش استقامتی به ترتیب باعث سرعت یافتن پاسخ های V’O2plum و V’O2musc می شود. به علاوه، ما سعی در توضیح تأثیرات مختلف CON و INT روی سینتیک V’O2musc در قالب یک آزمایش محوری داریم.

1. روش ها

2-1- آزمودنی ها

مطالعه توسط کمیته اخلاقی دانشگاه ورزش کلن آلمان طبق اطلاعیه Helsinki (1964) و اصلاحیه بعدی آن یا استانداردهای اخلاقی قابل قیاس با آن تأیید شده بود. به علاوه یک چک آپ پزشکی از داوطلبان و رضایتنامه مکتوب آن ها برای مشارکت در مطالعه لازم بود.

نه داوطلب سالم و بدون فعالیت فیزیکی در مطالعه تمرین ورزش استقامتی با تست ورزش قلبی – ریوی قبل و پس از مداخله شرکت کردند.

2-2- تست ورزش قلبی – ریوی

در پیش و پس مداخله، تمامی آزمودنش ها پروتکل WR یکسانی برای تست ورزش قلبی – ریوی روی یک ارگومتر چرخه ای در موقعیت نیمه خوابیده انجام دادند تا بیشتر روی ساختار عضلانی پای در حال تمرین تمرکز شود. تست های پیش از تمرین 5±10 روز قبل و تست های پس از تمرین 2±4 روز پس از مداخله تمرینی انجام شدند.

پس از فاز استراحت که در آن به آزمودنی ها گفته می شد آرام بنشیننند، تست ورزش قلبی – ریوی با فاز WR ثابت به میزان W30 به مدت s200 آغاز شد. فاز بعدی حاوی دو دنباله باینری (دوتایی) شبه رندوم بود که بین W30 و W80 تغییر می کردند و طول هر دنباله s300 بود. پس از این بخش فاز WR با ثبات بالا بود که پس از آن منتهی به بخش آخر شد که شال افزایش گام تا خستگی (تخلیه انرژی) دلبخواهی بود.در عرض تست ورزش قلبی – ریوی بسامد پدال ها به 60 دور در دقیقه در عرض فازهای متوسط و PRBS رسیده بود، در حالی که در عرض افزایش گام های WR بسامد بین 60 و 90 دور در دقیقه به انتخاب فرد بود. در عرض تست ورزش قلبی – ریوی، V’O2plum نفس به نفس با به کار بردن الگوریتم های Beaver و همکاران برای اصلاحات تبادل گاز حفره ای تخمین زده می شد که در نرم افزار کارت متابولیکی شامل شده بود. HR و حجم ضربه (SV) نفس به نفس با الکتروکاردیوگرافی و کاردیوگرافی امپدانس تعیین شدند. تمام دستگاهی ها ارزیابی مطابق با دستورالعمل های سازنده قبل از آزمایش کالیبره شده بودند.

2-3- رویه های مداخله

پس از تست ورزش قلبی – ریوی، نه داوطلب به دو گروه یکسان تقسیم شدند که با V’O2 پیک مطابقت داشتند. تفاوت میان مصرف اکسیژن در حالت استراحت و V’O2 پیک 100 درصد V’O2reserve تعریف شده بود. چهار آزمونی با روش مداخله CON در 60% V’O2Reserve در اولین هفته از مداخله مقادیر پیش آزمایش آموزش می دیدند، و پنج آزمودنی دیگر با روش تمرین INT با کران های بالای WR در 90% V’O2Reserve در هفته اول مداخله مقادیر پیش تست و کران های پایین WR به میزان W50. هر دو گروه آموزش سه بار در هفته به مدت 6 هفته تمرین می کردند.

هر یک از جلسات تمرینی هر دو گروه آموزش از فاز گرم کردن پنج دقیقه ای در W50 تشکیل شده بود که پس از آن یا فاز WR ثابت (CON) بود یا تغییرات WR پویا بود که به دنبال آن فاز سر کرد =ن 5 دقیقه ای در W50 بود (به شکل 2 مراجعه نمایید).

مداخله تمرینی با ارگومترهای چرخه ای Life Fitness Integrity Series Upright Lifecycle®Heimtrainer (CLSC) انجام شد. با این ارگومترها برنامه ریزی پروتکل های WR خاص برای هر شرکت کننده به صورت فرعی در صورت لزوم برای مداخله ممکن بود. در عرض هر جلسه تمرین، HE مانیتور می شد و مشارکت کنندگان مطالعه توسط مرییان باتجربه نظارت می شدند. در حین شرکت در مطالعه، شرکت کنندگان تشویق می شدند تا تغذیه معمول خود را حفظ کرده و از خوردن مکمل های دارویی علاو بر سازمان اجتناب کنند.

هر دو گروه با تقاضاهای کار کل یکسانی مطابقت یافتند؛ روی یک ارگومتر چرخه ای پا با فرکانس پدال 70 دور در دقیه در موقعیت ایستاده در عرض شش جلسه مداخله درمانی.

یک شرکت کننده از گروه INT مبتلا به فشار خون بود که 5 میلیگرم Amlodipin در روز مصرف می کرد. شرکت کننده دیگری از گروه INT مبتلا به هموکروماتوز بود که هیچ دارویی مصرف نمی کرد. این دو شرکت کننده هیچ تناقضی در تست پیش و پس ورزش و در عرض مداخله تمرینی از خود نشان ندادند.

4-2- پردازش داده ها

داده های تنفس (نفس به نفس) و ضربان به ضربان قلب تخصیص یافته زمانی بودند و به طور خطی در وقفه های زمانی هم فاصله برای تحلیل سری زمانی متعاقب گنجانده شده بودند. رویه درج اول به ترتیب پیش نیاز محاسبه تابع همبستگی اتوماتیک (ACF) WR و توابع همبستگی عرضی WR با HR، V’O2pulm و V’O2musc می باشد. محاسبات ACF و CCF اشاره به تغییر گام به گام 1 ثانیه ای یک مجموعه داده در مقابل همان مجموعه داده یا مجموعه داده دیگر دارد. این تغییر روند به عنوان تأخیر تعریف شده است. به علاوه، تخمین سینتیک V’O2musc از مدلی چرخه ای بهره می برد که مستلزم داده های هم فاصله برای محاسبه زمان انتقال حجم مویرگی میان ساختار عضلانی در حال تمرین و شش ها می باشد. از این رو اولین درج اساساً دو لایه است: یکی برای بکار بردن رویه های تحلیل سری های زمانی و دومین مورد برای تخمین سینتیک V’O2musc با استفاده از مدل چرخه ای. برای پارامترهای جالب توجه، میانگین ها در عرض فاز استراحت محاسبه شدند، یعنی هم PRBPS و در پایان فاز WR ثابت پایین و بالا (به شکل 1 مراجعه نمایید).

5-2- پیش بینی جذب اکسیژن عضلانی و تحلیل سینتیک

جذب اکسیژن عضلانی به صورتی تخمین زده شد که توسط Hoffmann و همکارانش (2013) با به کار بردن مدلی چرخه ای تخمین زده شده بود که امکان بازگشت مویرگی میان عضلات پای در حال تمرین و شش ها و همچنین مصرف اکسیژن و پرفیوژن دیگر عضلاتی که در حال تمرین نبودند را می داد. این رویکرد برای در نظر گرفتن اثرات اختلالی و تأخیر زمانی بازگشت مویرگی و Q’ میان V’O2musc و V’O2pulm به کار برده شد. با استفاده از این رویکرد، تفاوت قایل شدن میان پاسخ های V’O2pulm با اختلالات قلبی عروقی آن و پاسخ های سینتیک V’O2musc ممکن بود. برای اطلاعات بیشتر به مقاله Hoffmann و همکارانش (2013) مراجعه نمایید. برای تحلیل پاسخ های سینتیک HR، V’O2pulm و V’O2musc، توابع همبستگی عرضی WR و پارامتر خاص در ملاحظه ای از دو فاز PRBS تخمین زده شدند. ماکسیمم CCF (CCFmax) و تأخیر مرتبط با آن (CCFlag) نشان دهنده پاسخ های سینتیک پارامتر بودند، در حالی که مقادیر بالاتر CCFmax نشان دهنده پاسخ های سیستمی سریع تر و مقادیر بالاتر CCFlag نشان دهنده پاسخ های سیستمی به تعویق افتاده می باشند و برعکس.

با بکار بردن رویکرد Hoffmann و همکاران (2013) که ویژگی های سییتمی مرتبه اول را برای سینتیک V’O2musc در نظر می گیرد، مقادیر CCFmax و CCFlag می تواند به زمان $τ$ و تأخیرهای زمانی انتقال یابند که امکان مقایسه با مدل های نمایی چند فازی را می دهد. TDها به عنوان تفاوت میان CCFlag اندازه گیری شده پارامتر خاص با WR محاسبه شده بودند و CCFlag پیش بینی شده از مقدار CCFmax واقعی تخمین زده شده پارامتر قبلی محاسبه شده بود. مقادیر CCFmax و CCFlag ارتباط مستقیم دارند، از این رو استخراج مقدار CCflag با مقدار CCFmax و برعکس ممکن است و این به معنای پیش بینی شده (سبقت جسته) است با فرض ویژگی های مرتبه اول سیستم هیچ TD ای در پاسخ سیستم پیش بینی نمی شود و تمام نقاط داده ای CCFlag -CCFmax  بواسطه تعریف در بخش نزولی ACF مربوط به WR قرار گرفته اند. پاسخ V’O2pulm ویژگی های ناب سیستم مرتبه اول را نشان نمی دهد و این به دلیل اثرات مخرب بازگشت مویرگی و Q’ است، بنابراین هدف محاسبه TD برای V’O2pulm برای نشان دادن اختلافات ممکن با مشخصه های سیستم مرتبه اول می باشد.

طبق این موضوع، انحراف از صفر مقادیر TD نشان می دهد که مقادیر CCFmax پارامتر ارزیابی شده در مقایسه با ACF مربوط به WR به سمت چپ یا راست شیفت داده شده اند که این اشاره به تناقض ها با ویژگی های سیستم مرتبه اول دارد که در بالا به این نکته اشاره شد. در این رابطه، مقادیر منفی TD نتایج منطقی حاصل از منطق محاسباتی پشت رویکردی دارد که از تحلیل سری زمانی استفاده می کند و یک به یک با مقادیر منفی TD تابع با توان یک که متناسب با کاربرد مکرر رویکرد تغییر گام می باشد، قابل مقایسه نیست.

6-2- تحلیل های آماری

ما تست رتبه ای علامت دار Wilcoxon غیر پارامتری را برای مقایسات پیش تا قبل پارامترهای مورد نظر به کار بردیم، و این کار ما به دلیل اندازه نمونه کوچک بود. در حالی که ما از تحلیل مقیاس های دو طرفه واریانس برای ارزیابی اثرات تعامل استفاده کردیم که نمی توانند با تست رتبه ای علامت دار Wilcoxon محقق گردند. متعاقباً، ما تست های آماری به کار برده شده را به تفصیل در بخش زیر ارائه می کنیم:

برای مقایسه مقادیر پیک و پارامترهای مرتبط با تمرین بین مداخله پیش از تمرین و پس از تمرین، ما تست رتبه امضای علامت دار Wilcoxon را بدون در نظر گرفتن گروه تمرینی به کار بردیم؛ متغیرهای وابسته خروجی توان پیک، پیک V’O2، ضربان قلب در حال استراحت، ضربان قلب پیک، و زمان تمرین بودند.

برای تست روابط خطی ایستا میان WR و HR و V’O2pulm به ترتیب ما یک تحلیل مقیاس های تکراری دو طرفه از واریانس (ANOVA) را با عوامل نرخ کار و زمان، بدون در نظر گرفتن گروه های تمرینی به کار بردیم؛ متغیرهای وابسته به شرح زیر بودند: HR، V’O2pulm.

برای تحلیل شیب های HR و V’O2pulm به عنوان توابع WR میان پیش مداخله و پس مداخله، تست رتبه ای علامت دار Wilcoxon بدون در نظر گرفتن گروه تمرینی به کار برده شد؛ متغیرهای وابسته به شرح زیر بودند: HR، V’O2pulm.

برای تحلیل سنتیک پویای دوره های CCF ما یک ANOVA تکراری دو طرفه با عوامل تأخیر و زمان با در نظر گرفتن تفاوت های محتمل در کل دوره CCF و میان تغییرات قبلی و بعدی، بدون توجه به گروه های تمرینی (آموزشی) به کار بردیم؛ متغیرهای وابسته به شرح زیر بودند: HR، V’O2musc.

تست رتبه ای علامت دار Wilcoxon برای تست تفاوت های موجود در مقادیر CCFmax بین مرحله پیش از مداخله و پس از مطالعه، بدون توجه به گروه تمرینی به کار برده شد؛ متغیرهای وابسته به شرح زیر بودند: HR، V’O2musc.

بر مبنایی آزمایشی، ما یک ANOVA دو طرفه با فاکتورهای گروه و زمان به کار بردیم و سعی در نشان دادن اثات تعامل میان گروه های تمرینی و پیش تست و پس تست داشتیم؛ متغیرهای وابسته به شرح زیر بودند: HR، V’O2pulm و V’O2musc.

برای تحلیل ارتباط میان تغییرات نسبی د CCFmax سینتیک V’O2musc و میانگین شدت WR در عرض شش هفته مداخله، ضریب همبستگی رتبه اسپیرمن بدون توجه به گروه تمرینی به کار برده شد؛ متغیرهای وابسته ΔCCFmax بود.

تفاوت آماری برای سطح آلفا 05/0 تعیین شده بود.

1. نتایج

شکل 3 در هر مورد نمونه ای از داده های نفس به نفس اندازه گیری شده از یک شرکت کننده از گروه INT و CON را نشان می دهد. به علاوه، دوره های CCF فردی برای سینتیک V’O2pulm و V’O2musc تست پیش مداخله و پس مداخله در پانل های تعبیه شده نشان داده شده است.

1-3- مشخصه های مداخله

جدول 1 مرورری اجمالی در رابطه با سوابق ثبت شده هفته به هفته از تحقق تمرین برای WR تمرین متوسط و خروجی توان پیک درصدی مرتبط با تست پیش مداخله، مدت زمان تمرین با طیف آن برای هر دو گروه CON و INT را نشان می دهد. به علاوه، کران های بالایی WR برای گروه تمرین INT نیز در عرض شش جلسه مداخله ثبت شده اند.

2-3- پیک پاسخ ها (پاسخ های پیک)

جدول 2 خلاصه ای از پاسخ های پیک خروجی توان، V’O2، HR و همچنین مقادیر باقیمانده HR و زمان تمین پیش و پس از مداخله تمرین ورزشی را به عنوان میانگین ها در تمامی نه آزمودنی نشان می دهد. به علاوه، همان پارامترها برای گروه تمرین INT و CON مجزا شدند. تفاوت های معنی داری میان پیش مداخله و پس مداخله برای تمامی پارامترهای مشاهده شد، باستثنای HR پیک.

با مقایسه دو گروه تمرین، گروهINT افزایش کمتری در مقدار پیک از پیش مداخله تا پس مداخله نشان داد و این بر خلاف افزایش بیشتر در گروه CON بود. اما این افزایش عددی کوچک تر را نمی توان از نظر آماری تحلیل کرد و این به دلیل اندازه نمونه های کوچک دو گروه تمرینی است. رابطه ذکر شده در V’O2 پیک را در خروجی توان پیک نیز می توان مشاهده کرد. برای HR در زمان استراحت، این رابطه با مقایسه دو گروه تمرین رزرو شده است.

3-3- تحلیل سنتیک ایستا

شاخص رابطه خطی میان WR با HR و V’O=2pulm الزامی حیاتی برای تحلیل سری زمانی متعاقب در شدت های تمرین متوسط است – بخصوص در طیف فازهای PRBS WR. جدول 3 توضیحی از میانگین های پیش HR و پس HR و V’O2pulm در حوزه زمانی برای WR ها به ترتیب در W30، W3/53 و W80 نشان می دهد.

با به کار بردن مقیاش های تکراری دو طرفه ANOVA با فاکتورهای زمان و نرخ کار، هم HR و هم V’O2pulm اثرات قابل توجهی از فاکتور زمان و نرخ کار نشان دادند. برای V’O2pulm، و نه برای HR، تعاملات قابل توجهی مشاهده می شوند.

به علاوه، شیب های HR و V’O2pulm به عوان توابع WR برای تحلیل خطیا ایستا تخمین زده شدند. مقایسات پیشHR تا پس HR و شیب های V’O2plum هیچ تفاوت معنی داری برای هیچ یک از پارامترها نشان ندادند. ضرایب تعیین حاصل شده از WR شامل W30، PRBS1 و 2 و W80 به صورت R2 = 0.9765 ± 0.0204 (PRE) و R = 0.9614 ± 0.0262 برای HR و به صورت R2 = 0.9828 ± 0.0281 و R22 = 0.9944 ± 0.0066 برای V’O2pulm محاسبه شدند.

4-3- تحلیل سسنتیک پویا

شکل 4 در مورد پاسخ های سینتیک قبلی و بعدی برای تمامی شرکت کنندگان مطالعه از HR، V’O2pulm و V’O2musc تخمین زده شده به عنوان CCF پارامتر خاص با WR بدون توجه به گروه تمرینی، توضیح می دهد. پانل کوچک بالایی در هر گراف نشان دهنده بیشینه CCF خاص گروه با تأخیرهای آن برای هر پارامتر و همچنین به عنوان میانگین های قبلی و بعدی و نقاط داده ای فردی می باشد.

مقادیر CCFmax، تأخیرهای آن و پارامترهای مشتق شده پاسخ های سنتیک معمولاً به عنوان تخمین برای تحلیل پاسخ های سنتیک استفاده شده اند. برای تمامی پارامترهای شرح داده شده در جدول 4 هیچ تفاوت قابل توجهی نمی توان در مداخله پیش از تمرین و پس از تمرین، بدون توجه به گروه ها مشاهده نمی شود، به علاوه، مقادیر TD مربوط به سینتیک HR، V’O2pulm و V’O2musc برای تفاوت ها تا صفر به طور مجزا پیش و پس از مداخله تحلیل شدند. TD های سینتیک HR و V’O2pulm تفاوت های علامت گذاری شده تا صفر را به ترتیب در فاز پیش مداخله و پس مداخله نشان دادند. در مقابل، TD سینتیک V’O2musc هیچ تفاوتی در تست پیش مداخله و پس مداخله نشان نداد.

برای تحلیل پیچیده پاسخ های سینتیک، ما یک تست ANOVA تکراری دو طرفه با فاکتورهای زمان و تأخیر برای سینتیک های HR، V’O2pulm و V’O2musc بدون توجه به گروه تمرینی انجام دادیم. در هیچ یک از فازها تأخیر معناداری از فاکتور زمان و تعاملات مشاهده نشد، اما فاکتور تأخیر قابل توجه بودند. شایان ذکر است که برای HR، V’O2pulm و همچنین HR V’O2musc در هر مورد مقادیر CCFmax روندهای منفی از پیش مداخله تا پس مداخله را برای گروه CON و روندهای مثبت برای گروه INT را نشان می دهند.

به دلیل این مشاهدات، ما یک ANOVA دو طرفه با فاکتورهای گروه و زمان بر مبنای آزمایشی برای مقادیر CCFmax سینتیک HR، V’O2pulm و V’O2musc به طور مجزا انجام دادیم. برای HR و V’O2pulm هیچ تأثیر معناداری برای فاکتور گروه و زمان و همچنین برای تعاملات مشاهده نشد. برای سینتیک V’O2musc، فاکتورهای گروه و زمان هیچ تأثیر قابل توجه و معناداری نشان ندادند، اما برای تعامل می تواند روندی مشاهده کرد.

شکل 5 رابطه بین تغییرات در CCFmax سینتیک V’O2musc از پیش کداخله تا پس مداخله را به عنوان تابع WR تمرین میانگین نشان داده و گروه های تمرین INT و CON را برجسته می سازد. می توان مشاهده کرد که تمامی شرکت کنندگان گروه INT افزایشاتی در ΔCCFmax سینتیک V’O2musc نشان می دهند. در مقابل، سه نفر از چهار شرکت کننده گروه تمرین CON کاهش در ΔCCFmax سینتیک V’O2musc را نشان دادند، باستثنای یک شرکت کننده که توصیف گر افزایش هایی در سینتیک V’O2musc بود. برای تحلیل ارتباط سیستماتیک میان ΔCCFmax سینتیک V’O2musc و WR میانگین تمرین، ما روی اسپیرمن را محاسبه کردیم. رابطه ای منفی مستقل از گروه تمرین مشاهده شد.

1. بحث

هدف مطالعه حاضر تحلیل تأثیر تمرین ورزش استقامتی بر حسب پاسخ های HR و V’O2pulm و سینتیک تخمین زده شده V’O2musc می باشد. یافته اصلی این مطالعه به شرح زیر هستند:

الف) سینتیک V’O2pulm، V’O2musc و HR هیچ تغییر قابل توجهی از پیش مداخله تا پس مداخله، بدون توجه به گروه تمرینی، نشان ندادند.

ب) تمریون وزش استقامتی افزایشات قابل توجهی در V’O2 پیک مستقل از گروه تمرینی نشان داد.

ج) می توان ارتباطی میان تغییرات قبل تا پس از مداخله در پاسخ های سینتیک V’O2musc به عنوان تابع WR تمرین متوسط مشاهده کرد.

د) بر مبنایی آزمایشی: برای سینتیک V’O2musc اثر تعامل می تواند در گرایش مشاهده شود که این حاکی از آن است که تمرین INT می تواند باعث تسریع سینتیک V’O2musc در شدت های متوسط WR شود.

1-4- پاسخ های پیک

تغییرات کلی پاسخ های پیک میان پیش مداخله و پس مداخله نشانگر نتایج معمول و مورد انتظار تمرین ورزش استقامتی هستند. خروجی توان پیک، V’O2 پیک و زمان تمرین افزایش های قابل توجهی در زمان پس مداخله نشان دادند. در مقابل، ما علاوه بر انطباق معمول در مورد تمرین استقامتی، HR استراحت به طرز قابل توجهی پس از مداخله تمرینی کاهش یافته است.

Milanovic، Sporiš و Weston (2015) در بررسی خود نتیجه گرفتند که هم استقامت و هم تمرین INT با شدت بالا می توانند باعث بهبود V’O2max شوند که این نکته توسط Poole و Gaesser (1985) نیز ذکر شده است. آن ها نیز فرض را بر این گذاشتند که شرکت کنندگان با تناسب اندام پایین تر بیش از افراد تمرین کرده نفع می برند، و این علیرغم رویه تمرینی به کار برده شده است. به علاوه، Milanovic و همکارانش اعلام کردند که حالت تمرین INT با شدت بالا باعث ایجاد مزایا بالاتری در انطباق های V’O2max می شود.

Turnes و همکارانش چهار هفته دو رویه های تمرینی مختلف را در حیطه شدت بالا به کار برده و نتیجه گفتند که این شدت ها کاربرد امیدوار کننده انطباق های استقامتی است، در حالی که شدت تمرین بالاتر می تواند باعث بهبود عملکرد دو سرعت شود. مطالعه فوق الذکر از نتایج مطالعه ما پشتیبانی می کنند: تمرین WR بالاتر می تواند محرک بهبودهای بالاتر در V’O2 پیک شود. این نیز مطابق با یافته های Helegerud و همکارانش (2007) است که ثابت کردند که وقفه های با شدت بالای هوازی نسبت به شدت متوسط تمرین ورزشی می تواند باعث بهبود بیشتر V’O2 پیک شود.

به علاوه، از تمرین INT با شدت بالا مشخص می شود که انطباق های مثبت در خروجی توان پیک و V’O2 پیک مربوط به افزایشاتی است که در کارکرد میتوکندریایی عضله اسکلتی مشاهده می شوند. چون نقطه تمرکز مطالعه فعلی روی پاسخ های سینتیک V’O2pulm و V’O2musc تخمینی است، ما هیچ اطلاعات علاوه بر سازمانی در مورد فعالیت آنزیمی میتوکندریایی و نمود پروتئین نداریم. بنابراین بازتاب اکسیداسیون چربی، سیکل اسید تری کربوکسیلیک یا زنجیره انتقال الکترون در رابطه با نتایج مطالعه حاضر ممکن نیست.

2-4- تحلیل سینتیک

1-2-4- خطیت ایستا

شیب های HR و V’O2pulm هیچ تغییر قابل توجهی از تست پیش مداخله تا پس مداخله نشان نمی دهند. شیب های V’O2pulm در مقایسه با مطالعات دیگر در طیف مورد انتظار (پیش بینی شده) قرار دارند. همان طور که در بالا نشان داده شد، ارتباط خطی بالایی میان پاسخ های V’O2pulm به عنوان تابع WR با ضرایب تعیین بالاتر از 96/0 وجود دارد که پیش نیاز تحلیل سینتیک بعدی است.

2-2-4- تحلیل سری زمانی

برای تحلیل سینتیک HR، V’O2pulm و V’O2musc ما یک مقیاس ANOVA دو طرفه تکراری با فاکتورهای زمان و تأخیر انجام دادیم که نتیجه آن این بود که هیچ اثر قابل توجهی برای فاکتور زمان و تعاملات وجود ندارد، اما فاکتور تأخیر قابل توجه و معنادار بود.

چون فاکتور زمان و تعاملات برای سینتیک HR، V’O2pulm و V’O2musc قابل توجه نیستند، باید فرض را بر این گذاشت که تمرین ورزش استقامتی - علیرغم رویه تمرین – هیچ اثری روی سینتیک HR، V’O2pulm یا V’O2musc ندارد.

به دلیل اینکه مقادیر منفرد CCFmax در مقادیر مختلف CCFlag­ ­در مقایسه با دیگر شرکت کنندگان قرار داده شده اند، اطلاعات بنیادی در مورد پاسخ های سینتیک می تواند زمانی مختل و منحرف گردد که از کل دوره CCF در شرایط و شرکت کنندگان مختلف میانگین گرفته می شود. بنابراین رویکرد معمول برای تحلیل پاسخ های سینتیک HR، V’O2pulm و V’O2musc مقایسات مقادیر CCFmax در هر مورد هستند. مقادیر CCFmax مبتنی بر تغییرات با گذر زمان پارامتر قبلی بوده و از این رو شامل اطلاعات سینتیک فشرده شده ای است که به نظر می رسد به تغییرات ایجاد شده در پویایی پارامتر مشاهده شده حساس باشد.

با تحلیل این مقادیر CCFmax ما اثر تعامل بواسطه روند (گرایش) را تنها برای V’O2musc یافتیم. اثر تعامل بالقوه برای سینتیک V’O2musc میان گروه تمرین INT و CON از پیش تست تا پس تست مشوق این فرض است که دو رویه تمرین متفاوت می توانند تأثیرات پیچیده ای روی ساختار عضله در حال تمرین داشته باشد. برای حمایت از این فرضیه ما توان حاصله تعقیبی را برای اثر تعامل برای مقادیر CCFmax سینتیک ‘O2musc با اندازه اثر f=0.874 محاسبه کردیم که نشان دهنده توان 941/0 می باشد. اگر تعداد آزمودنی های تمین دیده افزایش یابد، تفاوت میان گروه های تمرین می تواند از نظر آماری معنادار گردد، یا، در مقابل، گرایش مشاهده شده از دست برود. اما این فرضیه شک برانگیز است، چون اندازه نمونه بسیار کوچک است و بنابراین باعث محدود شدن پیش بینی می شود.

مقالات قبلی نشان می دهند که INT، CON و همچنین هر دو رویه تمرین INT و CON اثرات مثبتی روی پاسخ های سینتیک V’O2 می گذارند. علاوه بر این در این مقاله ها نشان داده شده که هیچ شاخص واضحی وجود ندارد، خواه تمرین INT تأثیرات خاصی روی پاسخ های سینتیک سیستم قلبی – ریوی و تنفسی ارزیابی شده د سطح ریوی و بخصوص تأثیر روی سینتیک V’O2musc مشاهده شده باشد یا خیر. به علاوه، ناتوانی در مقایسه بررسی های تمرینی مانع از نتیجه گیری دقیق در مورد اثرات سیستم تمرین ورزشی بکار برده شده می شود.

4-2-3- تحلیل زمینه

رابطه مشاهده شده میان تغییرات در سینتیک V’O2musc و WR تمرین متوسط هر شرکت کننده نشان می دهد که تمام شرکت کنندگان گروه INT افزایش در پاسخ های سینتیک نشان دادند. در مقابل، تنها یک شرکت کننده از گروه CON افزایش در CCFmax سینتیک V’O2musc از پیش تست تا پس تست نشان داد. سه شرکت کننده دیگر گروه CON تفاوت های منفی در سینتیک CCFmax نشان دادند. این انطباق های خاص گروه و سازگار می توانند مبتنی بر د رویه تمرینی مختلفی باشند که هدف علاوه بر سازمان یک مبنای آزمایشی از مطالعه حاضر است. یعنی، تغییرات سریع و تکراری در WR در تمرین INT می تواند محرک افزایش در پاسخ های سینتیک سیستم قلبی – ریوی و تنفسی باشد. احتمال این وجود دارد که WR تمرین متوسط پایین تر مربوط به افزایش بیشتر مقادیر CCFmax سینتیک V’O2musc باشد که این موضوع را می توان در شکل 5 مشاهده کرد. این بدین معناست که شدت تمرینی که بسیاار بالاست نمی تواند محرک افزایش مثبت در سینتیک V’O2musc شود.

با استنباط از شکل 5 محدودیت انطباق مثبت یا منفی V’O2 سینتیک V’O2musc را می توان حدوداً W150 تا W160 تخمین زد که نشان دهنده 75%~ و 68%~ WR پیک در پیش تست و پس تست می باشد.

4-2-4- محدودیت ها

اندازه نمونه های کوچک برای گروه تمرین CON و INT عامل محدود کننده صریحی در مطالعه فعلی است. در رابطه با این مسأله، رویه های آماری غیر پارامتری بکار برشده ای که بدون توجه به گروه های تمرین استفاده شدند هیچ محدودیتی با توجه به اهمیت آماری و نتایج نشان ندادند.

هر دو گروه تمرین با پنج شرکت کننده کار خود را شروع کردند. در عرض فاز تمرین یک شرکت کننده از گروه CON بیمار شد و از مطالعه حذف شد. تمام شرکت کنندگان در آغاز مطالعه تمرین نکرده بودند و عادات زندگی عادی خود و شغل های قبلی خود را دندبال می کردند. به دلیل محدودیت های مطالعه تنها یک شرکت کننده می توانست برای مطالعه به کار گرفته شود، که با شرایط مطالعه موافق بود.

برای تخمین سینتیک V’O2musc، Hoffmann و همکارانش (2013) مدلی چرخه ای متشکل از متغیرهای Vv، Q’rem و V’O2rem به کار بردند که برای مصرف دیگر بخش های باقیمانده بدن یک پروکسی محسوب می شد. اما این تنها یک ساده سازی است و باید به عنوان محدودیت های رویکرد Hoffmann و همکارانش (2013) ذکر شود.

4-3- ملاحظات عملی

برای ورزش هایی که تأکید آن ها روی مولفه تمرین استقامتی است، بهبود قابلیت های و کسرهای سینتیک برای بهبود کلی ورزش خاص مرتبط با عملکرد مقاومتی از موارد حاضر اهمیت است. پاسخ های سینتیک در عرض تغییرات تمرین ورزشی اهمیت دارند، به عنوان نمونه از شدت تمرین پایین تر به بالاتر و بنابراین در عرض افزایش تقاضاهای تمرین. کسرهای قابلیتی به ظاهر برای عملکردهای بیشینه سیستم قلبی – ریوی و تنفسی مهم تر می آیند. اما پاسخ های سینتیک می توانند عامل محدود کننده بخش های آماده سازی عملکرد ورزش استقامتی باشند، در حقیقت اگر سینتیک بسیار کند باشد، به گونه ای که مدت زمان تقاضاهای تمرین بالاتر نتوانند به طور کامل در متابولیسم هوازی انجام شوند. بنابراین، پاسخ های سینتیک سیستم های قلبی – ریوی و تنفسی مبنایی برای توسعه و سودمند این قابلیت ها هستند. از اینجا تمامی انواع ورزش های مرتبط با اغلب عملکردای استقامتی باید بهبود همزمان و پیچیده قابلیت ها و مولفه ای تنظیمی سیستم های فیزیولوژیکی درگیر را در نظر بگیرد. نکته عملی دیگر در دید تست تمرین این است که بدون افتراق میان V’O2pulm ارزیابی شده و V’O2musc تخمینی، تحلیل رویه های تمرین ورزشی مختلف ممکن نخواهد بود یا موانع سختی بر سر راه آن هاست. این مخصوصاً برای کسانی جالب توجه است که به ارزیابی متمایزتر تأثیرات اثرات مختلف روی سیستم قلبی – ریوی و تنفسی علاقه دارند. در اغلب موارد مکان عضله جالب توجه تر از تست ریوی در دهان، و مصرف اکسیژن در ماهیچه های در حال تمرین در فازهای WR موقتی است. بنابراین، جنبه عملی تفاوت قایل شدن میان شش ها و مکان ماهیچه برای ارزیابی پیچیده تر مکان مورد نظر ساختار عضلانی در حال تمرین است.

4-4- نتیجه گیری

در مطالعه حاضر ما پاسخ های سینتیک V’O2  و HR را قبل و پس از شش هفته تمرین استقامتی INT و CON تحلیل کردیم. برای در نظر گرفتن اختلالات پویای قلبی و بازگشت مویرگی میان ساختار عضله در حال تمرین و شش ها، ما V’O2 ­ را به مولفه ریوی و عضلانی تخمینی جدا کردیم.

به طور خلاصه می توان گفت نتایج نشان می دهند که: (الف) سینتیک V’O2pulm، V’O2musc و HR هیچ تغییر قابل توجهی از پیش مداخله تا پس مداخله نشان ندادند. (ب) تمرین وزش استقامتی باعث افزایشات قابل توجهی در V’O2 پیک شد. (ج) می توان ارتباطی میان تغییرات در پاسخ های سینتیک V’O2musc به عنوان تابع WR تمرین متوسط مشاهده کرد و (د) بر مبنایی آزمایشی: برای سینتیک V’O2musc اثر تعامل می تواند در گرایش مشاهده شود که این حاکی از آن است که تمرین INT می تواند باعث افزایش سینتیک V’O2musc شود.

شش هفته تمرین ورزش استقامتی باعث افزایش پیک V’O2 شد، اما اثری روی پاسخ های سینتیک قلبی – ریوی و تنفسی نداشت. تفاوت ها در انطباق های سیستم های فیزیولوژیکی متأثر از تمرین به ظاهر مسئول تغییرات قاابل توجه مشاهده شده در پیک V’O2 پس از شش هفته مداخله ورزشی می آیند که بر خلاف هیچ گونه تغییر در پاسخ های سینتیک می باشد. تغییرات محتمل در پاسخ های سینتیک سیستم های قلبی – ریوی و تنفسی را می توان به عنوان پاسخ های به تعویق افتاده در انطباق های زمانی در نظر گرفت و این در صورتی است که مداخله تمرین ورزشی بسط ابد.

در حال حاضر هیچ توافق نظر واضحی در این زمینه وجود ندارد که آیا تمرین ورزش استقامتی INT یا CON می توانند محرک سرعت بخشیدن صریح به سینتیک V’O2 شوند یا خیر. با این وجود تفاوت میان V’O2plumو سینتیکV’O2musc تخمینی به نظر رویکرد امیدبخشی در افتراق میان تأثیرات مختلف شبه برهه ای یا شبه مداوم تمرین ورزش استقامتی در محل مورد نظر می آد: ساختار عضلاه در حال تمرین که شامل میتوکندری و پروفیوژن عضلاه ای می باشد.