

طراحی آزمون پلهٔ بیشینه با نام آزمون پلهٔ تربیت مدرس (TMST) برای برآورد مداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max})

❖ دکتر حمید آقاعلی نژاد؛ دانشگاه تربیت مدرس*

❖❖ دکتر رضا قراخانلو؛ دانشگاه تربیت مدرس

❖❖❖ مهدیه ملانوری؛ دانشجوی کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزش دانشگاه تربیت مدرس

چکیده: هدف از پژوهش حاضر عبارت است از طراحی آزمون پلهٔ بیشینه با نام آزمون پلهٔ تربیت مدرس (TMST) با تنظیم ارتفاع پله براساس زاویه ۹۰ درجهٔ زانو برای برآورد حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max}) و ارائهٔ فرمول محاسباتی آن. ۳۰ دانشجوی دختر کارشناسی تربیت بدنی با میانگین سن 23.6 ± 0.38 سال، قد 164.63 ± 1.26 سانتی‌متر، تودهٔ بدن 60.97 ± 1.84 کیلوگرم، و درصد چربی بدن 26.18 ± 0.87 درصد آزمودنی‌های پژوهش حاضر را تشکیل می‌دادند. آزمون‌های TMST و چرخ کارسنج با تجزیه و تحلیل نفس به نفس گازهای تنفسی از آزمودنی‌ها گرفته شد. میانگین VO_{2max} آزمون‌های چرخ کارسنج 29.39 ± 0.93 و آزمون TMST 32.8 ± 1.13 اندازه‌گیری شد. با استفاده از رگرسیون خطی فرمول برآورد VO_{2max} در آزمون TMST به دست آمد ($R^2 = 0.98$ و $SEE = 4.39$ ml/kg/min):

$$VO_{2max} \text{ (ml/kg/min)} = 0.71 (\text{وزن}) - 0.18 (\text{ضربان قلب پایانی}) + 0.1 (\text{ضرب‌آهنگ پله زدن پایانی})$$

یافته‌های پژوهش تفاوت معناداری را بین زمان رسیدن به VO_{2max} و زمان کل دو آزمون نشان نداد ($P > 0.05$). همچنین، همبستگی مثبت و معناداری بین VO_{2max} ($R^2 = 0.53$, $P \leq 0.01$)، ضربان قلب بیشینه، و معادل تهویه‌ای اکسیژن در آزمون‌های TMST و چرخ کارسنج به دست آمد ($P \leq 0.01$). بین شاخص‌های میزان تلاش ادراک شده و نسبت تبادل تنفسی دو آزمون همبستگی معناداری دیده نشد ($P > 0.05$). به طور کلی، آزمون TMST آزمونی ساده است که با تجهیزات اندک VO_{2max} را با دقت بالا برآورد می‌کند.

واژگان کلیدی: آزمون پلهٔ تربیت مدرس، حداکثر اکسیژن مصرفی، ارتفاع پله، زاویهٔ ۹۰ درجهٔ زانو

* E.mail: Halinejad@modares.ac.ir

مقدمه

ملاک مانند روش تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی اندازه‌گیری کرد (۱۲). این روش‌ها پرهزینه‌اند و به پرسنل کارآزموده نیاز دارند. بنابراین، آزمون‌های

حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max}) را می‌توان با آزمون‌های بیشینهٔ مستقیم به عنوان روش‌های

جمعیت بزرگ‌تری به کار می‌روند (۲۵). بیشتر آزمون‌های پله روی پله‌هایی با ارتفاع ثابت و بدون در نظر گرفتن افراد با قد‌های مختلف طراحی شده‌اند. پله‌هایی با ارتفاع بلند ممکن است در افراد کوتاه قد پیش از دستیابی به ظرفیت هوازی واقعی خستگی ایجاد کنند و آزمون به جای ظرفیت هوازی، استقامت هوازی پاها را اندازه‌گیری کند (۸). با تطبیق ارتفاع پله براساس قد، احتمال می‌رود تفاوت‌های بیومکانیکی ناشی از قد افراد از بین برود و اعتبار آزمون‌های پله افزایش یابد. تنظیم ارتفاع پله براساس زوایای مختلف ران و زانو انجام شده است (۲۸).

کالپیر و فرانسیس (۱۹۸۷) زاویهٔ ران 73.3° درجه را بهترین زاویه برای تنظیم ارتفاع پله در افراد با قد‌های مختلف پیشنهاد کردند (۸). از آنجا که کارایی پله زدن از زاویهٔ کشش زانو تأثیر می‌پذیرد، بنابراین تنظیم ارتفاع پله براساس زاویهٔ زانو ممکن است باعث بالا رفتن کارایی پله زدن و اعتبار آزمون‌های پله در برآورد VO_{2max} شود.

شهنواز (۱۹۷۸) ارتباط بین اکسیژن مصرفی و ارتفاع پلهٔ تنظیم شده بین زوایای 50° تا 90° درجه را ناچیز گزارش داد (۲۶).

اشلی و همکاران (۱۹۹۷) برای تنظیم ارتفاع پلهٔ کوئین از زاویهٔ 90° درجهٔ زانو استفاده کردند (۳). به نظر می‌رسد زاویهٔ 90° درجه یکی از زوایای مناسب در تنظیم ارتفاع پله باشد.

علاوه بر تنظیم ارتفاع پله براساس قد آزمودنی، تلاش‌هایی نیز برای طراحی آزمون‌های پلهٔ بیشینه به منظور برآورد دقیق‌تر VO_{2max} انجام شده است. ناگل و همکاران (۱۹۶۵) اولین پژوهشگرانی بودند که آزمون پله‌ای بیشینه را طراحی کردند (۱۸). پس از آن، اشلی و همکاران (۱۹۹۷) و گاسلینگ و

بیشینهٔ غیرمستقیم مانند آزمون بیشینهٔ بروس روی نوارگردان طراحی شده‌اند که VO_{2max} را از زمان فعالیت برآورد می‌کنند (۲۱). در ارزیابی VO_{2max} آزمون باید به گونه‌ای طراحی شده باشد که گروه‌های عضلانی بیشتری را درگیر کند و مدت و شدت آن به اندازه‌ای باشد که دستگاه قلبی-عروقی با آن سازگار باشد. یک پروتکل ورزشی ۸-۱۲ دقیقه‌ای به احتمال زیاد VO_{2max} افراد سالم را با دقت بیشتری برآورد می‌کند (۵). بیشترین VO_{2max} در آزمون‌های دویدن و پله زدن و کمترین آن در آزمون‌های روی کارسنج دستی به دست آمده است (۱۱،۳۱). آزمون‌های بیشینه VO_{2max} را با دقت بالاتری ارزیابی می‌کنند (۱،۱۲).

ایراد مطرح شده دربارهٔ آزمون‌های بیشینه این است که فرد باید به صورت ارادی به حالت بیشینه برسد (۲۳). همچنین این آزمون‌ها نیاز به زمان، تجهیزات و پرسنل کارآموده دارند و در افراد غیرآماده، سالمند و یا کودکان ممکن است با خطراتی همراه باشند (۱۲). در این آزمون‌ها ادامهٔ فعالیت بیشتر به دلیل خستگی موضعی یا درد عضلانی ناممکن می‌شود.

آزمون‌های زیربیشینه به دلیل کم‌خطر بودن استفاده می‌شوند، اما در برآورد ظرفیت هوازی فرد دقت آزمون‌های بیشینه را ندارند (۱۱). از آزمون‌های میدانی در برآورد VO_{2max} می‌توان به آزمون‌های پله اشاره کرد که به صورت زیربیشینه و در موارد اندکی به شکل بیشینه اجرا می‌شوند (۱۴). مزیت آزمون‌های پله نسبت به آزمون‌های دیگر مانند چرخ کارسنج، دویدن، پیاده‌روی، و شنا این است که به تجهیزات گران نیاز ندارند؛ نیازمند کالیبره شدن نیستند؛ و به آسانی در

اجرا شد. پیش از هر مرحله آزمون‌گیری آزمودنی‌ها ۳۰ دقیقه استراحت کامل داشتند تا ضربان قلب به حالت پایدار برسد.

اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریکی

علاوه بر اندازه‌گیری قد و وزن، درصد چربی بدن با اندازه‌گیری لایه چربی زیرپوستی چهار نقطه سهر بازو، فوق خاصره، شکم و ران و به روش جکسون و همکاران (۱۹۸۰) محاسبه شد (۱۵).

آزمون پله تربیت مدرس (TMST)

با مطالعه اولیه دانشجویان ورزشکار، زمان هر مرحله و میزان افزایش ریتم هر مرحله آزمون تعیین شد. با توجه به یافته‌های پژوهش‌های پیشین (۶) آزمون به گونه‌ای طراحی شد که آزمودنی‌ها در دامنه زمانی ۸-۱۲ دقیقه به VO_{2max} دست یابند. ارتفاع پله براساس زاویه ۹۰ درجه زانو برای هر یک از آزمودنی‌ها تنظیم می‌شد (۲، ۲۶). برای تنظیم زاویه ۹۰ درجه در مفصل زانو از شاغول استفاده شد که از اِبی‌کن‌دیل خارجی ران تا قوزک خارجی پا در حالت فلکشن زانو کشیده می‌شد. پیش از اجرای آزمون، آزمودنی‌ها ۵ دقیقه حرکات کششی و گرم کردن سبک انجام دادند. سپس، آزمون با ضرب‌آهنگ ۱۴ پله در دقیقه (۵۶ گام در دقیقه) شروع شد و در هر ۲ دقیقه ۴ پله در دقیقه (۱۶ گام) به پله زدن افزوده شد تا فرد به واماندگی برسد یا نتواند به مدت ۱۵ ثانیه ضرب‌آهنگ مورد نظر را حفظ کند. در طول آزمون، گازهای تنفسی به صورت نفس به نفس توسط دستگاه گازآنالایزر ZAN-600 ساخت آلمان اندازه‌گیری شد. هنگام آزمون، ضربان قلب هر دو دقیقه ثبت شد. همچنین، میزان درک فشار آزمون با استفاده از مقیاس بورگ

کارسون (۲۰۰۰) آزمون‌های پله بیشینه دیگری را طراحی کردند (۳، ۱۳). آزمون گاسلینگ و کارسون برای افراد با سطح پایین آمادگی مناسب بود و VO_{2max} را تا ۸ درصد بالاتر از مقدار واقعی برآورد می‌کرد (۱۳).

با توجه به پیشینه ارائه شده تاکنون آزمون پله بیشینه‌ای با تنظیم ارتفاع پله براساس قد افراد طراحی نشده است. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر طراحی آزمون پله بیشینه‌ای با تنظیم ارتفاع پله بر اساس زاویه ۹۰ درجه زانو و ارائه فرمول محاسبه VO_{2max} در بین دانشجویان دختر ۱۹-۲۹ سال کارشناسی تربیت‌بدنی بود.

روش‌شناسی

آزمودنی‌ها

آزمودنی‌ها ۳۰ دانشجوی دختر کارشناسی تربیت‌بدنی دانشگاه‌های شریعتی، تهران و آزاد تهران مرکز بودند که با روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند (جدول ۱). هیچ کدام از آزمودنی‌ها دارویی که روی ضربان قلب یا فعالیت شدید اثر بگذارد را طی دو هفته برگزاری آزمون مصرف نمی‌کردند. از آزمودنی‌ها خواسته شد ۲ ساعت پیش از هر مرحله آزمون‌گیری از خوردن غذا و مصرف چای یا قهوه خودداری کنند و ۲۴ ساعت پیش از هر مرحله آزمون‌گیری از تمرین با شدت و حجم بالا خودداری کنند.

روش جمع‌آوری اطلاعات

عوامل آنتروپومتریکی اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری VO_{2max} آزمون پله TMST همراه با سنجش گازهای تنفسی و نیز آزمون بیشینه روی چرخ کارسنج در دو جلسه جداگانه به فاصله ۴ روز

هر دو دقیقه ۲۵ وات بر مقاومت افزوده می‌شد. سرعت پدال زدن در 60rpm ثابت بود. در طول فعالیت گازهای تنفسی به صورت نفس به نفس توسط دستگاه گازآنالایزر ZAN-600 ساخت آلمان اندازه‌گیری شد. ضربان قلب هر ۲ دقیقه و میزان درک فشار آزمون با مقیاس بورگ (۱۹۹۸) در هر مرحله کار ثبت شد (۴). ملاک بیشینه بودن فعالیت برخوردار از ۴ نشانه‌ای بود که در مورد آزمون پله TMST استفاده شد. در طول آزمون، آزمودنی‌ها به ادامه فعالیت تشویق شدند. VO_{2max} بالاترین مقدار اکسیژن ثبت شده در یک دوره ۱۰ ثانیه‌ای در نظر گرفته شد.

روش‌های آماری پژوهش

از رگرسیون خطی برای تعیین فرمول برآورد VO_{2max} و تعیین ضریب خطای آن استفاده شد. برای تعیین همبستگی متغیرهای دو آزمون از ضریب همبستگی پیرسون و برای مقایسه متغیرهای دو آزمون از آزمون زوجی استفاده شد.

یافته‌ها

جدول ۱ مشخصات عمومی آزمودنی‌ها شامل سن، قد، وزن، و درصد چربی بدن را نشان می‌دهد. شکل ۱ میانگین VO_2 مصرفی را در دقیق مختلف آزمون‌های TMST و چرخ کارسنج نشان می‌دهد.

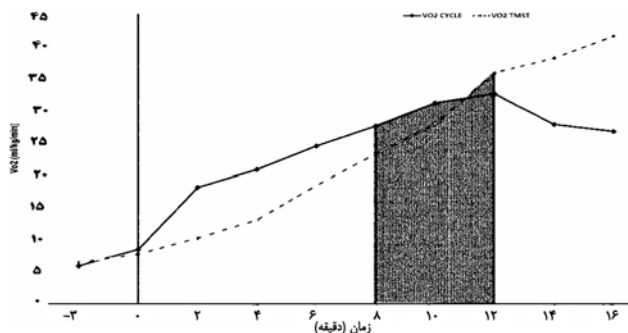
جدول ۱ مشخصات عمومی آزمودنی‌ها

سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	درصد چربی بدن (درصد)
۲۳٫۶±۰٫۳۸	۱۶۴٫۶۳±۱٫۲۶	۶۰٫۹۷±۱٫۸۴	۲۶٫۱۸±۰٫۸۷

(۱۹۹۸) (۴) در هر مرحله ثبت شد. آزمودنی‌ها در هر لحظه از آزمون برای تغییر پای پیش رو به هنگام پله زدن آزاد بودند. در طول آزمون آزمودنی‌ها به ادامه فعالیت تشویق می‌شدند. ملاک بیشینه بودن فعالیت برخوردار از دست کم ۴ نشانه از ۵ نشانه زیر بود: ۱. فلات در مصرف اکسیژن با وجود افزایش ضرب‌آهنگ و ادامه فعالیت (نوسان کمتر از 150ml/min)؛ ۲. معادل تهویه‌ای برای اکسیژن بالاتر از ۳۰؛ ۳. نسبت تبادل تنفسی بالاتر از ۱/۱؛ ۴. میزان درک فشار بیشتر از ۱۷؛ ۵. ضربان قلب در دامنه ۱۰ ضربه بالاتر یا پایین‌تر از ضربان قلب پیش‌بینی شده براساس سن با استفاده از فرمول تاناکا و همکاران (۲۰۰۱) (VO_{2max} بالاترین مقدار اکسیژن ثبت شده در یک دوره ۱۰ ثانیه‌ای در نظر گرفته شد).

آزمون بیشینه چرخ کارسنج

با مطالعه اولیه دانشجویان ورزشکار، پروتکل آزمون بیشینه روی چرخ کارسنج به گونه‌ای طراحی شد که شدت و بار کاری هر مرحله تقریباً معادل آزمون پله بیشینه جدید باشد و آزمودنی‌ها در زمانی مشابه با آزمون پله بیشینه به VO_{2max} دست یابند. پیش از اجرای آزمون، ۵ دقیقه حرکات کششی و گرم کردن سبک انجام دادند. پروتکل شامل ۳ دقیقه پدال زدن بدون مقاومت و به دنبال آن شروع کار با مقاومت ۲۵ وات بود که



شکل ۱. میانگین مصرفی در دقایق مختلف اجرای آزمون‌های TMST و چرخ کارسنج

شده و معادل تهویه‌ای اکسیژن تفاوت معناداری دیده نشد ($P > 0.05$). همچنین، همبستگی مثبت و معناداری بین VO_{2max} ، ضربان قلب بیشینه و معادل تهویه‌ای اکسیژن در آزمون‌های TMST و چرخ کارسنج به دست آمد ($P \leq 0.01$)؛ ولی بین شاخص‌های میزان تلاش ادراک شده و نسبت تبادل تنفسی دو آزمون همبستگی معناداری دیده نشد ($P > 0.05$).

VO_{2max} و ضربان قلب بیشینه به دست آمده در دو آزمون و شاخص‌های نسبت تبادل تنفسی، معادل تهویه‌ای برای اکسیژن و میزان تلاش ادراک شده در هنگام رسیدن به VO_{2max} در دو آزمون TMST و چرخ کارسنج در جدول ۲ آورده شده است. نتایج آزمون t زوجی تفاوت معناداری را بین VO_{2max} ، ضربان قلب بیشینه، و نسبت تبادل تنفسی نشان داد ($P > 0.05$). بین میزان تلاش ادراک

جدول ۲. VO_{2max} و معیارهای تعیین آن در آزمون‌های TMST و چرخ کارسنج و نتایج آزمون t و همبستگی بین آن‌ها

نوع آزمون	VO_{2max} (ml/kg/min)	معادل تهویه اکسیژن (لیتر در دقیقه)	نسبت تبادل تنفسی	میزان تلاش ادراک شده	ضربان قلب بیشینه (ضربه در دقیقه)
TMST	32.18 ± 1.13	36.76 ± 2.31	1.14 ± 0.005	18.33 ± 0.46	195.96 ± 1.65
چرخ کارسنج	29.39 ± 0.93	36.83 ± 2.69	1.28 ± 0.02	18.56 ± 0.43	184.63 ± 1.51
آماره t	۲.۵	-۰.۰۶	-۵.۹	-۰.۴	۵.۰۴
ارزش P	*۰.۰۱	۰.۹۴	*۰.۰۰۱	۰.۶۵	**۰.۰۰۱
r	۰.۷۳	۰.۴۹	-۰.۱۹	-۰.۱۴	۰.۸۲
ارزش P	*۰.۰۰۱	*۰.۰۰۵	۰.۲۹	۰.۴۴	**۰.۰۰۱

* معنادار در سطح $P \leq 0.05$ ** معنادار در سطح $P \leq 0.001$

با مقایسهٔ زمان کل آزمون و زمان رسیدن به VO_{2max} در دو آزمون TMST و چرخ کارسنج تفاوت معناداری بین زمان کل و زمان رسیدن به VO_{2max} در دو آزمون دیده نشد ($P > 0.05$). زمان کل آزمون در چرخ کارسنج 9.85 ± 0.31 دقیقه و در آزمون TMST 10.4 ± 0.39 دقیقه بود. همچنین زمان رسیدن به VO_{2max} در آزمون چرخ کارسنج 9.35 ± 0.32 دقیقه و در آزمون TMST 9.21 ± 0.4 دقیقه بود.

جدول ۳ نتایج رگرسیون خطی آزمون TMST را در برآورد VO_{2max} با استفاده از وزن بدن، ضرب‌آهنگ، و ضربان قلب پایانی نشان می‌دهد.

فرمول برآورد VO_{2max} با آزمون پلهٔ تربیت مدرس (TMST) در دانشجویان دختر ۱۹-۲۹ سال کارشناسی تربیت‌بدنی عبارت بود از ($SEE=4/39 \text{ ml/kg/min}, R^2=0.98$):

$$VO_{2max} (\text{ml/kg/min}) = 0.71 (\text{ضرب‌آهنگ پله‌زدن پایانی}) + 0.1 (\text{وزن}) - 0.18 (\text{ضربان قلب پایانی})$$

بحث

توانایی تحویل اکسیژن و مصرف آن در عضلات فعال باعث وابستگی اندازه‌گیری

با مقایسهٔ زمان کل آزمون و زمان رسیدن به VO_{2max} در دو آزمون TMST و چرخ کارسنج تفاوت معناداری بین زمان کل و زمان رسیدن به VO_{2max} در دو آزمون دیده نشد ($P > 0.05$). زمان کل آزمون در چرخ کارسنج 9.85 ± 0.31 دقیقه و در آزمون TMST 10.4 ± 0.39 دقیقه بود. همچنین زمان رسیدن به VO_{2max} در آزمون چرخ کارسنج 9.35 ± 0.32 دقیقه و در آزمون TMST 9.21 ± 0.4 دقیقه بود.

جدول ۳ نتایج رگرسیون خطی آزمون TMST را در برآورد VO_{2max} با استفاده از وزن بدن، ضرب‌آهنگ، و ضربان قلب پایانی نشان می‌دهد.

فرمول برآورد VO_{2max} با آزمون پلهٔ تربیت مدرس (TMST) در دانشجویان دختر ۱۹-۲۹ سال کارشناسی تربیت‌بدنی عبارت بود از ($SEE=4/39 \text{ ml/kg/min}, R^2=0.98$):

$$VO_{2max} (\text{ml/kg/min}) = 0.71 (\text{ضرب‌آهنگ پله‌زدن پایانی}) + 0.1 (\text{وزن}) - 0.18 (\text{ضربان قلب پایانی})$$

بحث

توانایی تحویل اکسیژن و مصرف آن در عضلات فعال باعث وابستگی اندازه‌گیری

جدول ۳. نتایج رگرسیون در برآورد VO_{2max} با استفاده از تودهٔ بدن، ضرب‌آهنگ، و ضربان پایانی

مدل	ضرایب مدل	انحراف استاندارد ضرایب	مقدار آمارهٔ آزمون	احتمال معناداری
وزن (kg)	-۰٫۱۸	۰٫۰۷	-۲٫۴۷	*۰٫۰۲
ضربان قلب پایانی (bpm)	۰٫۱	۰٫۰۴	۲٫۵۹	*۰٫۰۱
ضرب‌آهنگ پایانی (ضربه در دقیقه)	۰٫۷۱	۰٫۱۸	۳٫۹۴	**۰٫۰۰۱

* معنادار در سطح $P \leq 0.05$ ** معنادار در سطح $P \leq 0.001$

نوارگردان را گزارش دادند (۲۴). در پژوهش حاضر VO_{2max} حاصل از آزمون‌های TMST و چرخ کارسنج همبستگی را برابر با $r=0.73$ نشان داد. همبستگی VO_{2max} گزارش شده در پژوهش‌های مختلف بین آزمون‌های پله و چرخ کارسنج دامنه $0.92-0.68$ را نشان داده است (۱۱). همچنین، بالاترین همبستگی‌ها در آزمون‌های پله چندمرحله‌ای در مقایسه با آزمون‌های تک‌مرحله‌ای به دست آمده است (۲۷). آزمون پله TMST نیز آزمونی چندمرحله‌ای بیشینه است که با توجه به دقت بالاتر آزمون‌های بیشینه همبستگی نسبتاً بالایی با آزمون چرخ کارسنج داشت. همچنین، همبستگی بالایی ($r = 0.83$) بین ضربان قلب بیشینه در دو آزمون TMST و چرخ کارسنج مشاهده شد. همبستگی‌های بین نسبت تبادل تنفسی و معادل تهویه‌ای اکسیژن نسبتاً پایین‌تر بود. با توجه به رابطه اکسیژن مصرفی و نسبت تبادل تنفسی با مصرف انرژی و به دلیل تفاوت در هزینه‌های اکسیژن و انرژی مصرفی در دو آزمون، احتمالاً همبستگی پایین بین دو آزمون به دلیل هزینه‌های اکسیژن و انرژی مصرفی متفاوت در دو آزمون است (۷، ۱۷). همبستگی اندک بین میزان تلاش ادراک شده در دو آزمون دیده شد. همبستگی پایین میزان تلاش ادراک شده در آزمون‌های چرخ کارسنج و TMST احتمالاً به دلیل تفاوت در ماهیت دو آزمون بوده است. در آزمون پله TMST وجود ضرب‌آهنگ مشخص، نوعی حالت برانگیختگی و تشویق برای ادامه فعالیت در آزمودنی ایجاد می‌کند. وجود ضرب‌آهنگ، نقش موسیقی را هنگام فعالیت ایفا می‌کند. به نقش موسیقی در کاهش خستگی در بعضی از پژوهش‌ها اشاره شده است (۱۰).

ایرادی که معمولاً بر آزمون‌های بیشینه مطرح است، ایجاد خستگی یا درد عضلانی است (۱۲). در پلکان با ارتفاع ثابت خستگی موضعی پیش از دستیابی فرد به VO_{2max} رخ می‌دهد (۸). به نظر می‌رسد تنظیم ارتفاع پله براساس زاویه ۹۰ درجه زانو در آزمون پله TMST تا حد زیادی خستگی عضلانی ناشی از پله زدن را کاهش داد و آزمودنی‌ها توانستند به حد بالایی از ظرفیت خود برسند و تا حدود ۱۰۰ درصد ضربان قلب بیشینه به کار ادامه دهند.

اشلی و همکاران (۱۹۹۷) پایین بودن ضربان قلب، نسبت تبادل تنفسی، و میزان تلاش ادراک شده هنگام آزمون پله بیشینه را به عدم دستیابی به حداکثر تلاش فرد در آزمون نسبت دادند (۳). تنظیم ارتفاع پله با زاویه ۹۰ درجه زانو در آزمون پله TMST احتمالاً به بهبود اقتصاد حرکت و ضربان‌های قلب پایین‌تر هنگام آزمون می‌انجامد و امکان ادامه فعالیت تا سطوح بیشینه را فراهم می‌کند. به این ترتیب، بیش‌تر آزمودنی‌ها به ضربان قلب، نسبت تبادل تنفسی، و میزان تلاش ادراک شده بالا رسیدند.

با تجزیه و تحلیل نفس به نفس گازهای تنفسی هنگام آزمون پله TMST از دستیابی به VO_{2max} در آزمودنی‌ها اطمینان حاصل شد. همچنین، بررسی همبستگی متغیرهای دو آزمون TMST و چرخ کارسنج همبستگی معناداری را بین VO_{2max} ($r=0.73$ ، $P \leq 0.01$)، ضربان قلب بیشینه، و معادل تهویه‌ای اکسیژن و عدم همبستگی معنادار بین مقیاس بزرگ و نسبت تبادل تنفسی را نشان داد. سانتو و گولدینگ (۲۰۰۳) با تطبیق ارتفاع آزمون پله YMCA براساس قد همبستگی به میزان $r=0.6$ در زنان و $r=0.64$ در مردان با VO_{2max}

نتیجه‌گیری

آزمون TMST به دلیل سادگی اجرا در مقایسه با آزمون‌های روی چرخ کارسنج یا نوارگردان و نیز ماهیت بیشینه آن VO_{2max} را با دقت بالایی برآورد می‌کند. بیشینه بودن این آزمون بسیاری از معایب آزمون‌های زیربیشینه مثل خطای ضربان قلب یا آثار مکانیک حرکت را ندارد. تنظیم ارتفاع پله براساس زاویهٔ ۹۰ درجهٔ زانو موجب همسان شدن ارتفاع پله در افرادی با قد‌های متفاوت و در نتیجه به تأخیر افتادن خستگی عضلانی و اقتصادی شدن فعالیت می‌شود. با توجه به قابلیت آزمون پلهٔ TMST در تغییر ریتم در مراحل مختلف این آزمون می‌توان از معادلات ویژه در برآورد VO_{2max} استفاده کرد که آزمونی نسبتاً معتبر در گروه‌های جنسیتی، سنی، و سطوح فعالیت متفاوت است.

ایراداتی که معمولاً به آزمون‌های پله و از جمله TMST وارد است حرکات مداوم سر و بازو به هنگام اجرای این آزمون‌ها و محاسبه نشدن اکسیژن مصرفی این اقدام‌ها در معادلات پیش‌بینی VO_{2max} است. همچنین، عدم امکان استفاده از این آزمون‌ها در افراد با مشکلات ارتوپدی و محدودیت تحمل وزن نیز مطرح است.

سپاسگزاری

از پژوهشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و مرکز تربیت بدنی دانشگاه تربیت مدرس که ما را در اجرای این پژوهش یاری کردند، سپاسگزاریم.

منابع

1. Anderson, GS. (1992). "A comparison of predictive tests of aerobic capacity". *Can J Sport Sci.* 17:304-308.
2. Ariel, G. (1969). "The effect of knee-joint angle on Harvard step test performance". *Ergonomics*, 12:33-37.
3. Ashley, CD.; Smith, JF.; Reneau, PD. (1997). "A modified step test based on a function of subject's stature". *Percept Mot Skills*, 85:987-993.
4. Borg, G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign, IL: Human Kinetics.
5. Buchfuhrer, MJ.; Robinson, JE.; Sue, DY.; Wasserman, K.; Whipp, BJ. (1983). "Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment". *JAPPL Physiol.* 55:558-564.
6. Chatterjee, S.; Chatterjee, P.; Bandyopadhyay, A.(2006). "Prediction of maximal oxygen consumption from body mass, height and body surface area in young sedentary subjects". *Indian J Physiol Pharmacol.* 50(2):181-186.
7. Claudio, L.; Lafortuna, MP.; Fiorenza, A.; Alessandro, S. (2006). "The energy cost of cycling in young obese women". *Eur J Appl Physiol.* 97:16-25.
8. Culpepper, ML.; Francis, KT. (1987). "An anatomical model to determine step height in step testing for estimating aerobic capacity". *J Theor Biol.* 129:1-8.
9. Fitchet, MA. (1985). "Predictability of VO₂max from sub maximal cycle ergo meter and bench stepping tests". *Br J Sport Med.*19:85-88.
10. Gertjanl LW. (2005). "Interactive music for sports: a personalized music system for motivation in sport performance". (master, thesis).University of Amsterdam.
11. Glassford, RG.; Baycroft, GHY.; Sedgwick, AW.; Macnab, RBJ. (1964). "Comparison of maximal oxygen uptake values determined by predicted and actual methods". *J Appl Physiol.* 20:509-513.
12. Glen FA. (1998). "The test-retest reliability of the united states air forces sub maximal bicycle ergo meter aerobic fitness test". (master, thesis). Oklahoma City, OK: University of Oklahoma
13. Gosling, CM.; Carlson, J S. (2000). "A multi- stage step test protocol for people with low exercise capacity". *Exercise Rehabilitation. Res Clin Kinsiology*, 54(3):67-71.
14. Heyward, VH. (1997). Advanced fitness assessment and exercise prescription. 3rd ed, Human Kinetics.
15. Jackson, AS.; Pollock, M L.; Ward, A. (1980). "Generalized equations for predicting body density of women". *Med Sci Sports Exer.* 12:175-182.
16. Jette, M.; Campbell, J.; Mongeon, J.; Routhier, R. (1974). "The Canadian home fitness test as a predictor of aerobic activity". *Can Med Assoc J.* 114:680-682.
17. Milani, R.V.; Lavie, CJ.; Mehra, MR.; Venrura, HO. (2006). "Understanding the basics of cardiopulmonary exercise testing". *Mayo Clinic Proceedings*, 12:1603.
18. Nagle, FJ. (1973). "Physiologic assessment of maximal performance". *Exerc Sport Sci Rev.* 313-338.
19. Niels, UT.; Sorensen, H.; Overgaard, K.; Pedersen, k. (2004). "Estimation of vo₂max from the ratio between HRmax and HRrest: the heart rate ratio method". *Eur J Appl Physiol.* 91:111-115.
20. Pollock, ML.; Bohannon, RL.; Cooper, KH. (1976). "A comparative analysis four protocols for maximal treadmill stress testing". *Am Heart J.* 92:39-46.
21. Pollock, ML.; Foster, C.; Schmidt, D. (1982). "Comparative analysis of physiologic responses to three different maximal graded exercise test protocols in healthy women". *Am Heart J.* 103:363-373.
22. Pollock, ML.; Garzarella, L.; Dehoyos, D. (1994). The cross-validation of the United states air forces sub maximal cycle ergo metery test to estimate aerobic capacity. United States Air Force/ Armstrong Laboratory, Publication Number 15. 10 June.
23. Robbins, A.S.; Chao, SY.; Fonseca, VP.; Snedecor, MR.; Knapik, JJ. (2001) "Predictors of Low Physical Fitness in a Cohort of Active-Duty U.S. Air Force Members". *Am J Prev Med*; 20(2):90-96.

24. Santo, AS.; Golding, LA. (2003). "Predicting maximum oxygen uptake from a modified 3-minute step test". *Res Quart Exerc Sports*, 74:110-11.
25. Selig, SE.; Gosling, CM.; Carlson, JS. (2000). "A multi-stage step test protocol for people with low exercise capacity". *Clin Kinesiol*. 54:67-71
26. Shahnnavaz, H. (1978). "Influence of limb length on a stepping exercise". *J Appl Physiol*. 44(3):346-349.
27. Shephard, RJ.; Thomas, S.; Weller, I. (1991). "The Canadian home fitness test 1991 uptake". *Sports Med*. 11(6):358-66.
29. Siconolfi, SF.; Garber, CE.; Lasater, TM.; Carleton, RA. (1985). "A simple valid step test for estimating maximal oxygen uptake in epidemiologic studies". *Am J Epidemiol*. 121:382-290.
30. Tanaka, H.; Monhan, KD.; Seals, DG. (2001). "Age-predicted maximal heart rate revisited". *Am Coll Cardiol*. 37:153-56.
31. Teh, KC.; Aziz, AR.(2000). "A stair-climb test of cardio respiratory fitness for Singapore". *Singapore Med J*.
32. Zwiren, LD.; Freedson, PS.; Ward, A. et al. (1991). "Estimation of VO₂ma:a comparative analysis of five exercise tests". *Res Quart Exerc Sport*. 62:73-78.