

## اثر برنامه توانبخشی بر ضربان قلب و کارایی مکانیکی عضلات اسکلتی پا در بیماران فلج مغزی اسپاستیک

مجتبی ایزدی\*؛ دکتر فرزاد ناظم\*\*؛ دکتر محمدمهدی تقدیری\*\*\*؛ داود خورشیدی\*؛ حمیدرضا ثمری خلج\*

### چکیده

**سابقه و هدف:** کارایی عملکرد عضلانی ارتباط مستقیمی با میزان انرژی مصرفی دارد. شناخت ساز و کار و عملکرد عضلانی این بیماران از جنبه توانبخشی و بالینی دارای اهمیت قابل توجهی می باشد. این تحقیق به منظور مقایسه کارایی مکانیکی و برخی متغیرهای قلبی- عروقی کودکان فلج مغزی اسپاستیک (CP) قبل و بعد از اجرای برنامه تمرینات هوازی زیربیشینه و مقایسه با افراد سالم انجام شد.

**مواد و روش ها:** مطالعه حاضر به روش نیمه تجربی و آزمایشگاهی انجام شده است. ۱۵ کودک فلج مغزی اسپاستیک دایبلژی داوطلبانه (با رضایت والدین) به عنوان گروه تجربی و ۱۸ کودک سالم همتایشان (گروه کنترل) به صورت تصادفی خوشه‌ای در این تحقیق شرکت کردند. گروه تجربی تمرینات ورزشی- توانبخشی هوازی را با میانگین شدت  $HRR = 46 \pm 2/5\%$  (در ضربان قلب ذخیره) برای مدت ۳ ماه، سه نوبت در هفته اجرا کردند. متغیرهای وابسته در گروه تجربی قبل و بعد از برنامه تمرینی سه ماهه و همچنین در گروه کنترل مطابق پروتکل اصلاح شده مک‌مستر روی چرخ کارسنج تنوری (ارگومتر) اندازه‌گیری شدند و در پایان کلیه متغیرها به روش آزمون‌های آماری MANOVA, R و repeated measure با هم مقایسه شدند.

**یافته ها:** نتایج آزمون آماری نشان داد که گروه کنترل هنگام اجرای آزمون ارگومتری دارای ضربان قلب و درصد ضربان قلب ذخیره کمتر و کارایی مکانیکی (خالص، ناخالص) بیشتر از گروه تجربی بودند ( $P < 0/05$ ). کارایی مکانیکی خالص و ناخالص بیماران در پایان برنامه تمرینی به طور معناداری افزایش یافت ( $P < 0/05$ ). همچنین ضربان قلب زیربیشینه بیماران نیز کاهش قابل توجهی داشت ( $P < 0/05$ ).

**بحث:** بیماران فلج مغزی اسپاستیک به دلیل تون عضلانی بالا و درجه اسپاستیسیته شدید از هزینه انرژی بالاتر و کارایی مکانیکی پایین‌تر و ضربان قلب بالاتری (تحت اجرای کار معین) نسبت به افراد سالم برخوردارند. از طرف دیگر، توانبخشی و تمرینات هوازی می‌تواند در بهبود عملکرد فیزیولوژیکی دستگاه عضلانی بیماران CP مؤثر باشد و کارایی مکانیکی آنان را به نحو چشمگیر افزایش دهد.

**کلید واژه ها:** فلج مغزی اسپاستیک، توانبخشی، ورزش هوازی زیربیشینه، کارایی مکانیکی، ضربان قلب، ارگومتر

« دریافت: ۱۳۸۳/۴/۲۲ پذیرش: زمستان ۱۳۸۴ »

\* کارشناس ارشد تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه

\*\* دکتری فیزیولوژی ورزشی و استادیار دانشگاه بوعلی سینا همدان

\*\*\* فوق تخصص مغز و اعصاب و استادیار دانشگاه علوم پزشکی همدان

\* عهده دار مکاتبات: ساوه، میدان فلسطین، دانشگاه آزاد اسلامی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، تلفن: ۰۲۵۵۲۲۴۱۵۱۱

## مقدمه

پژوهش‌های علمی نشان می‌دهد که فعالیت ورزشی در نقش عامل غیردارویی در کنار سایر روش‌های بالینی به بهبود برجسته دستگاه‌های فیزیومتابولیک این بیماران می‌انجامد. گزارش‌های علمی روشن کرده است که اجرای فعالیت زیربیشینه هوازی سبب کاهش هزینه انرژی و شدت اسپاستیک، افزایش کارایی مکانیکی، کاهش شدت تمرین یا افزایش تحمل‌پذیری دستگاه عضلانی و افزایش ظرفیت توانایی متابولیکی عضلات فعال در جذب بیشتر اکسیژن مصرفی ( $VO_2$ ) می‌شود. در این خصوص یافته‌های Lundberg (۱۹۷۸) خاطر نشان کرد که ظرفیت کار بدنی (physical work capacity) گروه اسپاستیک ۵۰ درصد گروه نرمال و گروه اسپاستیک دارای مصرف  $VO_2$  بالاتر و در شرایط کار زیربیشینه روی دوچرخه ارگومتر تفاوت کارایی بیماران CP و سالم در فعالیت سبک اندک بوده، اما در فعالیت‌های سنگین به طور چشمگیر کمتر از افراد سالم هم‌تایشان است (۹ و ۷). این کودکان به دلیل غلبه بر تون عضلانی غیرطبیعی از کارایی مکانیکی بالا بی‌بهره‌اند. در نتیجه آنان وظایف روزمره زندگی خود را با هزینه متابولیکی بالاتر انجام می‌دهند (۱۰ و ۱۱).

کارایی مکانیکی به مفهوم نسبت کار انجام شده هنگام فعالیت ارگومتری (برونده کار) به انرژی هزینه شده است. برونده کار در زمانی که کودک در حال دوچرخه‌سواری، راه رفتن یا دویدن است، قابل محاسبه است. برآوردهای هزینه انرژی شیمیایی مصرفی را می‌توان با معادله کالری مصرفی اکسیژن هنگام اجرای کار به دست آورد (۱۲).

در برخی مطالعات به تأثیرات سودمند تمرینات توانبخشی - ورزشی در کارایی مکانیکی و عوامل قلبی - عروقی این بیماران اشاره شده است (۱۳ و ۱۴). اما مطالعه Barora در قالب برنامه توانبخشی نسبتاً طولانی مدت

فلج مغزی (CP) نوعی اختلال عملکرد دستگاه عصبی - عضلانی است که از آسیب به اعصاب حرکتی فوقانی مغز سرچشمه می‌گیرد (۱). این عارضه و ناهنجاری‌های وابسته به دنبال وقوع ضربه مغزی و نیز عوامل اصلی نظیر هایپوکسی مغزی، یرقان شدید، عفونت‌های ویروسی درون رحمی، کاهش قند خون، علل ژنتیکی و عروقی در پیش، هنگام تولد یا در سال‌های نخستین زندگی حادث می‌گردد و سبب بروز نارسایی‌هایی مانند حرکات غیرارادی، اختلال در گام‌برداری، اجرای دشوار مهارت‌های حرکتی کوچک و بزرگ و مشکلات اجتماعی می‌شود (۲ و ۳). یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهد که کودکان و بزرگسالان مبتلا به CP از توانایی و عملکرد ضعیف بدنی برخوردارند و در فعالیت‌های روزمره با وجود مصرف بیشتر انرژی از خستگی زودرس رنج می‌برند (۳). نیمی از کودکان مبتلا به CP را گونه اسپاستیک دربرمی‌گیرد (۴ و ۵). عضلات اسپاستیک همواره حالت انقباض داشته، به طوری که تون عضلانی بالا در عضلات آگونیست و ضعف عضلات آنتاگونیست به چشم می‌خورد. عضله برای مقابله بر تون بالا هنگام فعالیت، بیشتر از افراد سالم انرژی مصرف می‌کند (۸-۶). اسپاستیسیته موجب محدودیت‌های حرکتی و مقاومت عضله در برابر نیروی خارجی می‌شود که به نوبه خود باعث کندی و ناموزونی الگوی فعالیت یا کم‌حرکی بیمار می‌گردد (۱). این عوامل به تدریج سبب افت دستگاه انتقال اکسیژن و کاهش کارایی قلب و عوامل فیزیولوژیکی از قبیل جذب اکسیژن کافی، دفع دی‌اکسیدکربن و سایر مواد زائد شده و حمل مواد سوختی به بافت‌ها خصوصاً عضلات اسکلتی را محدود می‌کند (۱ و ۲).

کاردردمانی و توانبخشی و ورزش درمانی نسبت به نقش برنامه توانبخشی-ورزشی بر کارایی عضلانی و شاخص‌های کارایی قلبی- عروقی این بیماران و آگاهی از حداقل دوره تمرینی و فشار کاری مناسب انجام شد.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق از نوع نیمه تجربی و آزمایشگاهی است. گروه تجربی را ۱۵ کودک ۹ تا ۱۴ ساله فلج مغزی اسپاستیک دایلزی تشکیل دادند که به صورت نمونه‌گیری دردسترس و داوطلبانه (با رضایت والدین) و با تأیید پزشک متخصص (قد=  $131 \pm 6/34$  و وزن=  $29/83 \pm 5/64$ ) از آموزشگاه‌های استثنایی شهر همدان انتخاب شدند و گروه کنترل را ۱۸ کودک سالم با شرایط سنی و فیزیکی مشابه تشکیل دادند که به شیوه تصادفی خوشه‌ای از مدارس ابتدایی انتخاب گردیدند.

شدت اسپاستیسیت در محدوده درجه ۳ مقیاس تون عضلانی آشورد (نوعی مقیاس طبقه‌بندی بیماران فلج مغزی اسپاستیک بر حسب شدت اسپاستیسیت عضلات درگیر که دارای پنج طبقه می‌باشد) برآورد شد (۱۶). پس از بررسی پیشینه پزشکی و آگاهی از میزان حساسیت، تشنج، غش و توانایی پاها، بیماران اسپاستیک بعد از یک جلسه آشنایی با شیوه پدال‌زنی روی ارگومتر، آزمون ارگومتری اصلاح شده مک مستر (۱۷) را که یک آزمون زیربیشینه استاندارد ویژه کودکان و نوجوانان می‌باشد، اجرا کردند (پیش آزمون). با توجه به ناتوانی عضلات درگیر در پدال‌زنی و عدم آمادگی قلبی- عروقی این بیماران نسبت به افراد سالم به روش آزمون و خطا RPM<sup>۱</sup>

دوماهه روی دسته‌ای از بیماران اسپاستیک به تغییرات معنادار این متغیرها منتهی نشد (۱۰). Degroot (۲۰۰۰) پیرامون اثر ورزش هوازی زیربیشینه روی کارایی مکانیکی در قالب برنامه تمرینی ۳ هفته‌ای طولانی مدت روی کودکان معلول افزایش کارایی مکانیکی را گزارش نمود (۴). اما Bowne و همکارانش (۱۹۹۸) هیچ‌گونه تفاوت معناداری را در هزینه انرژی، اکسیژن مصرفی و کارایی مکانیکی بین کودکان اسپاستیک و سالم مشاهده نکردند و اجرای تمرینات ورزشی- توانبخشی به بهبود نسبی این متغیرها در کودکان اسپاستیک منجر نشد (۱۵).

امروزه در بیشتر مراکز توانبخشی و ورزش درمانی افراد معلول یا فلج مغزی، بیشتر به مسائل پوسچر و تعادل آنان توجه می‌شود و در جامعه ما نیز کمابیش پژوهش‌هایی در این خصوص انجام شده است، اما به سایر مسائل نظیر کارایی عضلانی، آمادگی قلبی- عروقی و هزینه انرژی آنان هنگام فعالیت روزمره که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، کمتر توجه می‌شود. از طرفی نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در خصوص مقایسه عوامل مذکور در افراد اسپاستیک و سالم و همچنین تأثیر برنامه‌های توانبخشی- ورزشی در این عوامل در این بیماران تا اندازه‌ای ناهمگون است. در این ارتباط یکی از اهداف این پژوهش تعیین میزان احتمالی ثمربخشی اجرای برنامه توانبخشی- ورزشی با دوره سه‌ماهه، سه‌بار در هفته و با فشار کاری معادل ضربان قلب ۱۴۴ بار در دقیقه روی این دسته از بیماران است. از این رو این تحقیق با هدف آشنایی بیشتر مؤسسات

(به ترتیب ۲۵ وات، ۳۲ وات، ۳۸ وات و ۴۵ وات) انجام می‌گیرد و در پایان هر مرحله ضربان قلب اندازه‌گیری می‌شود. شرط توقف آزمون، مشاهده علائم ظاهری خستگی و رسیدن به آستانه ضربان قلب ۱۷۰ ضربه در دقیقه بود. هر یک از بیماران متناسب با سطح آمادگی، بخشی یا کل آزمون ارگومتر را اجرا می‌کردند. چنانچه در هر مرحله از آزمون، فرد قادر به ادامه فعالیت تحت RPM معین نبود، ضربان قلب آن مرحله به منزله ضربان قلب نهایی ورزش منظور می‌گردد و آزمون پایان می‌گرفت.

#### یافته‌ها

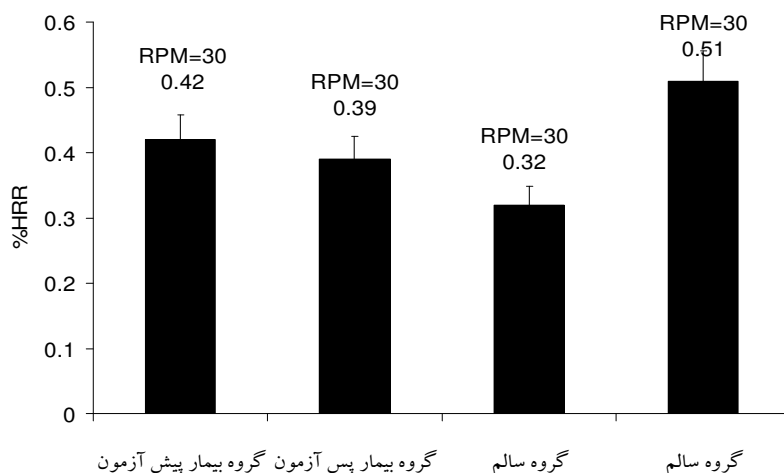
بیماران مبتلا به CP پیش آزمون را با شدت  $\%HRR=42 \pm 0/05$  انجام دادند و برنامه تمرینی سه‌ماهه، شدت فعالیت روی ارگومتر را به میزان ۳ درصد کاهش داد. شدت فعالیت گروه کنترل در آزمون مشابه با گروه تجربی  $32 \pm 0/04$  درصد به دست آمد که به‌طور معناداری کمتر از گروه تجربی در هر دو شرایط پیش و پس‌آزمون بود (نمودار ۱).

پس از برنامه توانبخشی، ضربان قلب گروه بیمار ( $133 \pm 8/5 \text{ bpm}$ ) به‌میزان معناداری نسبت به پیش‌آزمون ( $139 \pm 8/6 \text{ bpm}$ ) کاهش یافت، اما هنوز به مقدار قابل توجهی بالاتر از گروه سالم ( $121 \pm 8/6 \text{ bpm}$ ) بود. ضربان قلب گروه سالم در وضعیت پدال‌زنی طبیعی ۵۰RPM ( $145 \pm 8/6 \text{ bpm}$ ) بالاتر از آزمون‌های ارگومتری با ۳۰RPM در گروه‌های سالم و بیمار بود (نمودار ۲).

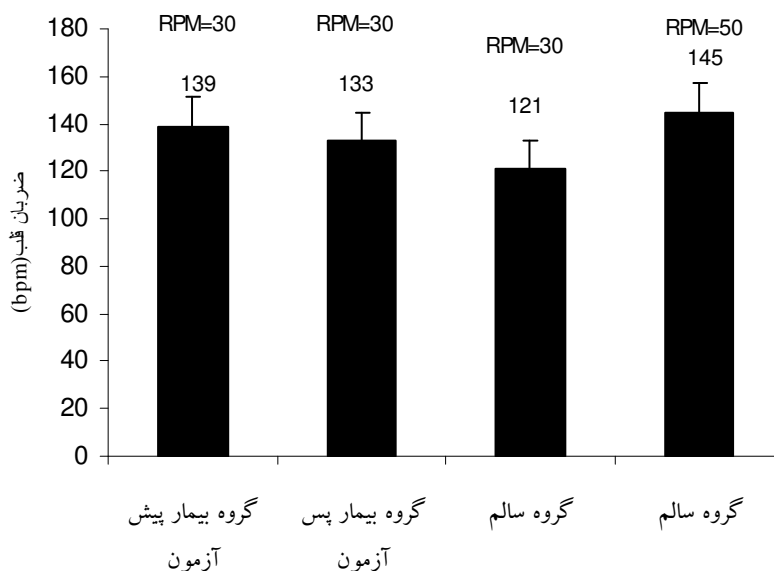
کارایی مکانیکی خالص و ناخالص بیماران در شرایط پیش‌آزمون به ترتیب  $14 \pm 1/4$  و  $12/72 \pm 1/11$  درصد برآورد گردید که پس از پایان برنامه ورزش درمانی

معادل ۳۰ انتخاب‌گردید. سپس برنامه تمرینات هوازی زیربیشینه (ورزشی-توانبخشی) را برای مدت سه ماه (سه نوبت در هفته، هر جلسه ۲۰ تا ۲۵ دقیقه) به‌صورت فعالیت هوازی روی دستگاه‌های ارگومتر، تردمیل مکانیکی، پیاده‌روی و دویدن تناوبی با میانگین ضربان قلب  $144$  ضربه در دقیقه معادل شدت کار  $46 \pm 2/5 = \%HRR$  (در صد ضربان قلب ذخیره<sup>۲</sup>) زیرنظر متخصص کاردرمانی اجرا کردند و یک هفته پس از اتمام دوره تمرینی مجدداً آزمون مک‌مستر را اجرا کردند (پس آزمون). سپس گروه کنترل آزمون ارگومتری مک‌مستر را در دو زمان جداگانه با فاصله زمانی ۱۰ روز، نوبت اول با شرایط مشابه بیماران، یعنی ۳۰RPM و نوبت دوم با شرایط طبیعی افراد سالم یعنی ۵۰RPM اجرا کردند. کارایی مکانیکی و برخی عوامل فیزیولوژیکی قلبی-عروقی بیماران و گروه کنترل هنگام آزمون ارگومتری اندازه‌گیری شد. در محاسبه کارایی خالص، مصرف اکسیژن مربوط به میزان سوخت و ساز استراحت یا پایه باید از میزان کل مصرف سوخت و ساز آزمون کسر شود، اما در محاسبه کارایی ناخالص، نسبت برون‌ده کار انجام‌شده بر کل مصرف سوخت و ساز آزمون لحاظ می‌شود. کلیه داده‌ها و یافته‌های آزمون‌های هر دو گروه از طریق روش‌های آماری *repeated measure* و *manova* با هم مقایسه شدند.

پروتکل مک‌مستر شامل ۴ مرحله دو دقیقه‌ای است. در این آزمون، ابتدا آزمودنی به منظور گرم‌کردن، مدت ۲ دقیقه با بازده کار ۵ تا ۱۰ وات روی ارگومتر پدال می‌زند. سپس مراحل اصلی کار شامل ۴ مرحله متوالی ۲ دقیقه‌ای که فشار کار در هر مرحله افزایش می‌یابد



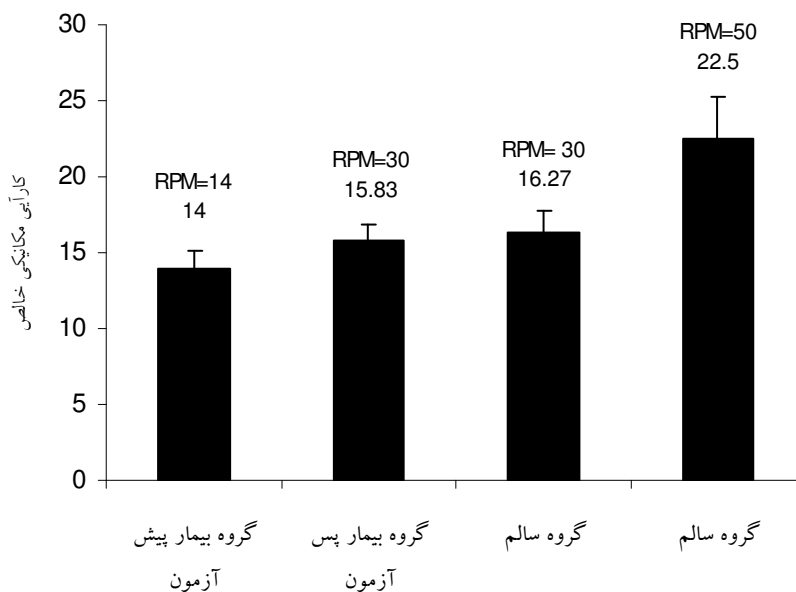
نمودار ۱- تغییرات شدت ورزش بین آزمودنی‌ها از نظر %HRR



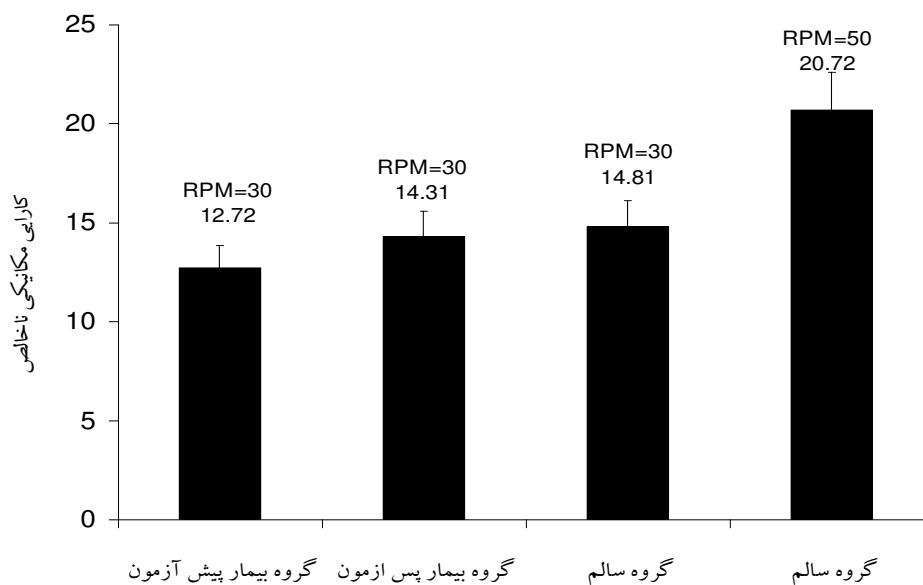
نمودار ۲- تغییرات ضربان قلب گروه‌های تحقیق در آزمون‌های زیربیشینه ارگومتری

در پیش‌آزمون به نحو چشمگیری کمتر از گروه سالم در هر دو شرایط پدال‌زنی ۳۰RPM و ۵۰ ارگومتری بود. بدین معنا که هر دو شاخص کارایی خالص و ناخالص بیماران CP، متعاقب برنامه ورزشی از ۸۶ درصد به سطح ۹۷ درصدی گروه سالم یعنی معادل ۱۱ درصد افزایش پیدا کرد، به طوری که آنان تقریباً توانستند اندازه کارایی مکانیکی عضلات اسکلتی خود را هم‌تراز گروه سالم نمایند.

به ترتیب به ۱۵/۸۳±۱/۲۵ و ۱۴/۳۱±۰/۸۵ درصد افزایش معناداری داشت. اندازه کارایی‌های گروه سالم تحت‌آزمون مشابه بیماران به ترتیب ۱۶/۲۷±۱/۴۳ و ۱۴/۸۱±۱/۱۸ درصد و در شرایط پدال‌زنی طبیعی (RPM=۵۰) به ترتیب برابر با ۲۰/۷۲±۲/۵۲ و ۲۲/۵۰±۲/۸۲ درصد بود. کارایی مکانیکی بیماران قبل از ورزش‌درمانی به طور معناداری پایین‌تر از گروه سالم (۳۰RPM) بودند (نمودارهای ۳ و ۴). به بیان دیگر کارایی خالص و ناخالص گروه تجربی



نمودار ۳- تغییرات کارایی مکانیکی خالص در آزمونهای ارگومتری گروههای تحقیق



نمودار ۴- تغییرات کارایی مکانیکی ناخالص در آزمونهای ارگومتری گروههای تحقیق

### بحث

هوای زیربیشینه فرد را در فعالیتهای ورزشی روزانه پیش‌بینی می‌کند. در صورتی که شخصی توانایی اجرای فعالیت بدنی را با شدت (فشار) کمتر از افراد دیگر داشته باشد، از آمادگی بدنی برتر او حکایت می‌کند. یافته‌های تحقیق حاضر آشکار می‌کند که گروه بیمار قبل از

شواهد پژوهشی آشکار می‌کند که اندازه کارایی مکانیکی و شدت کار بیماران اسپاستیک تحت شرایط کار معین به دنبال اجرای تمرینات هوایی به گروه سالم نزدیک می‌شود (۷). اندازه شدت ورزش (%HRR) سطح آمادگی

تحت کار زیر بیشینه نسبت به افراد سالم همتایشان اشاره دارد. در این باره Lund berg کارایی مکانیکی خالص بیماران مبتلا به CP را ۱۲ تا ۱۷ درصد و در گروه سالم ۲۰ تا ۲۳ درصد گزارش کرده است (۷). در مطالعه‌ای دیگر، کارایی مکانیکی روی ارگومتر ۱۳/۸ تا ۲۳ درصد (۲۲) و در تحقیق Taylor کارایی خالص پسران ۷ تا ۱۵ ساله ۱۹/۷ درصد گزارش شد (۲۳). Venkataramana کارایی مکانیکی ناخالص ورزشکاران جوان را ۲۳ تا ۲۴ درصد به دست آورد (۲۴). در این خصوص Susaki نشان داد که بعد از ۷ تا ۱۴ روز استراحت، با وجود کاهش  $VO_2 \max$  هیچ‌گونه افتی در کارایی مکانیکی رخ نمی‌دهد (۲۵).

دو عامل عمده تعیین‌کننده کارایی مکانیکی هنگام فعالیت ورزشی یا سایر فعالیت‌های روزمره، یکی کارایی عضلات فعال است که انرژی شیمیایی ذخیره‌شده کربوهیدرات و چربی را به انرژی مکانیکی برای کوتاه‌شدن عناصر انقباضی عضله تبدیل می‌کند و دیگری مهارت عصبی - عضلانی فرد هنگام اجرای فعالیت است. کارایی مکانیکی به سرعت انقباض الیاف انقباضی نیز بستگی دارد. بیشترین مقدار کارایی هنگامی ایجاد می‌شود که سرعت انقباض الیاف ماهیچه‌ای حدود  $\frac{1}{3}$  سرعت بیشینه آنها باشد (۳، ۱۲ و ۲۶). نوع تار عضلانی نیز تأثیر بسزایی در کارایی مکانیکی دارد. بررسی‌های علمی روشن می‌کند که چنانچه عضلات پهن خارجی در صد بالاتری از تارهای کندانقباض را دارا باشد، کارایی مکانیکی هنگام فعالیت روی ارگومتر یا دوچرخه‌سواری به‌طور معناداری بیش از عضلات هم‌نام خود می‌باشند که تارهای کندانقباض کمتری دارند. بدین معنا که تارهای کندانقباض هنگام فعالیت روی

تمرینات هوازی سه ماهه (پیش‌آزمون) قادر به اجرای کامل آزمون مک مستر نبودند و تنها شمار اندکی از آنان هر چهار مرحله آزمون را پدال زدند، اما پس از تمرینات سه‌ماهه (پس‌آزمون) اکثر آزمودنی‌ها نه تنها مراحل بیشتر آزمون را با بازده کار بالاتر پشت‌سر گذاشتند، بلکه آزمون را با شدت و فشار کمتر اجرا کردند. این رخداد فیزیولوژیک نشان می‌دهد که ورزش‌های هوازی از فشار وارد بر دستگاه گردش خون می‌کاهد و ارگانسیم را قادر می‌سازد که همان کار مکانیکی را با ضربان قلب کمتر و شدت پایین‌تر (%HRR) انجام دهد.

Lubanen دامنه کارایی خالص و ناخالص را به ترتیب ۱۸-۲۲ و ۱۷-۲۰ درصد به دست آورد (۱۸). برای اندازه‌گیری کارایی، فعالیت بدنی باید با شدتی انجام گیرد که باعث تحریک آستانه لاکتات (متابولیسیم غیرهوازی) نشود و همچنان روند سوخت و ساز در زیر آستانه بی‌هوازی ادامه یابد (۱۹-۲۱). در تحقیق حاضر به علت ناتوانی کودکان CP در پدال‌زنی با شرایط طبیعی ۵۰RPM، میزان سرعت پدال‌زدن به شیوه آزمون و خطا متعاقب محاسبات مقاومت (R) چرخ لنگر و بازده کار جدید ۳۰RPM به دست آمد.

در مطالعه‌ای دیگر روی دسته‌ای از بیماران نوجوان فلج اسپاستیک به دنبال اجرای یک سال برنامه ورزش به میزان دوبار در هفته افزایش قابل توجه کارایی را نشان داد (۱۰). در این تحقیق نیز کارایی مکانیکی کودکان مبتلا به CP به‌طور معناداری کمتر از افراد سالم به دست آمد و به دنبال برنامه تمرینی سه‌ماهه افزایش قابل توجهی یافت. مطالعات علمی به کارایی انرژی و مکانیکی پایین‌تر بچه‌ها و بزرگسالان مبتلا به CP روی ارگومتر

### نتیجه گیری

یافته‌های تحقیق آشکار می‌سازد که متغیرهای وابسته در بیماران فلج مغزی اسپاستیک به مراتب پایین‌تر از گروه سالم هم‌تایشان است. افزایش تون عضلانی و اسپاستیسیته عضلانی، مصرف انرژی بیماران را برای انجام فعالیت بدنی و سایر فعالیت‌های روزانه نسبت به افراد سالم افزایش می‌دهد. با وجود این، اجرای برنامه‌های ورزشی-توانبخشی هوازی می‌تواند سبب افزایش بهبود عملکرد فیزیولوژیک قلبی-عروقی و نیز کارایی مکانیکی عضلات اسکلتی مربوطه شوند. میزان بهبودی بسته به شدت و مدت اجرای برنامه ورزشی متفاوت است. این دگرگونی مثبت در کارایی فیزیولوژیکی و مکانیکی عضلات اسکلتی به دلیل محدودیت اجرا و عدم تحمل شدت‌های بالاتر برنامه ورزشی همواره کمتر از ارزش‌های مشابه در افراد سالم است.

ارگومتر در تبدیل انرژی ATP به کارایی مکانیکی به مراتب از کارایی بیشتری نسبت به تارهای تندانقباض برخوردارند (۳).

بروز نارسایی عصبی - عضلانی و ابتلا به بیماری اسپاستیک مزمن ممکن است عملکرد عضلات فعال را محدود نماید. البته ممکن است هیچ‌گونه تظاهر مرضی فیزیولوژیک در ارگانسم (قلب و عروق) مشهود نباشد. با این حال، سطح فیزیولوژیک با توانایی دستگاه انتقال اکسیژن بر اثر کم‌حرکی و شیوه زندگی یکنواخت کاهش پیدا می‌کند. این دگرگونی، احتمالاً به کاهش حجم ضربه‌ای، افزایش تواتر ضربان قلب و کاهش کارایی مکانیکی هنگام پاسخ به آزمون ورزشی استاندارد و خستگی زودرس می‌انجامد.

### منابع

۱. تقی منش طوسی. تربیت بدنی و بازپروری. مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی؛ سال ۱۳۶۶، صفحات: ۷۱-۸۳.
۲. پولاک، ویلمور. فیزیولوژی ورزشی بالینی. ترجمه: ناظم فرزاد. همدان: انتشارات دانشگاه بوعلی سینا. سال ۱۳۷۹، صفحات: ۳۱-۳۶.
3. David R, Lamb P. Exercise physiology laboratory. Vol 31, 4<sup>th</sup> ed. Ohio: Sport and Exercise Science Faculty the Ohio State University Columbus; 1996, pp.68-69.
4. Degroot S, Veeger DH. Wheel chair propulsion technique and mechanical efficiency after 3 week of practice. Med Sci Sport 2002; 34(5):756-66.
5. Lawrence A, Coldin G. YMCA fitness testing and assessment manual. Vol 8, 4<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Human Kinetic Publishing; 2000, pp.453-62.
۶. ویلمور جی اچ، کاستیل دی ال. فیزیولوژی ورزشی و فعالیت بدنی. ترجمه: ضیاء معین. چاپ اول، تهران: انتشارات مبتکران؛ سال ۱۳۷۵، صفحات: ۱۳۱-۱۲۳.
7. Lundberg A. Mechanical efficiency in bicycle ergometer work of young adult with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol 1995; 17(4): 434-9.



8. Rubner M. Ueber den einfluss der korper gross and stoffund kraftwechsel. Dev Med Child Neurol 1983; 19(3):533-7.
9. Lundberg A. Maximal aerobic capacity of young people with spastic cerebral palsy. Med Child Neural 1978; 20(2):205-10.
10. Bar ORO. Pathophysiological factors which limit the exercise capacity of the sick child. Med Sci sports Exercise 1986; 18(3):276.
11. Karlman A, Wasserman F, James H, Hansen Darryl Y, Whipp D. Principles of exercise testing and interpretation. Vol 6, 4<sup>th</sup> ed. California: Department of Medicine Harbor-Ucla Medical Center Torrance; 1990, pp.116-124.
۱۲. تامس دبلیو رولند. فیزیولوژی ورزشی دوران رشد. ترجمه: عباسعلی گائینی. تهران: انتشارات مؤسسه دانش افروز؛ سال ۱۳۷۹. صفحات: ۶۷-۷۸.
13. Kleiber M. The fire of life An Introduction to animal energetics. Med Sci Sports Exercise 1975; 11(3):245-51.
14. Kang J. Robertson RJ. Metabolic efficiency during arm and leg exercise at the same relative intensity. Med Sci Sports Exercise 1997; 29(3):377-82.
15. Bowen TR, Lennon N, Castagno P, et al. Variability of energy consumption measures in children with cerebral palsy. J Pediatr Orthop 1998; 18:738-742.
16. Gaesser GA, Brooks GA. Muscular efficiency during steady state exercise: effect of speed and work. J Appl Physiol 1975; 38(4):1132-39.
17. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Vol 4, 6<sup>th</sup> ed. Baltimore: Lippincott, Williams & Wilkins; 2000, pp.663-668.
18. Lubanen P. Mechanical work and efficiency in ergometer bicycling at aerobic and anaerobic thresholds. Acta Physiol Scand 1987; 131(3):331-7.
۱۹. سازوار اکبر. سنجش اعتبار آزمون هوازی بیشینه شاتل ران و پایایی دستگاه الکتریکی طراحی شده (SH.R). پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه بوعلی سینای همدان؛ سال ۱۳۷۹. صفحات: ۶۸-۶۱.
20. Cooke CB, Mconagh MN, Nevill A. Effects of load on oxygen intake in trained boys and men during treadmill running. J Applied Physiol 1991; 71(3):1237-44.
21. McDogall JD, Roche PD, Bor ORO, Mroz JR. Maximal aerobic capacity of Canadian school children: prediction based on age-related oxygen cost of running. Int J Sports Med 1983; 4(2):194-198.

22. Rowland TW, Staab JS. Mechanical efficiency during cycling in prepubertal and adult males. *Int J sport Med* 1990; 11(4):452-455.
23. Taylor CM, Bal ME. Mechanical efficiency in cycling of boys seven to fifteen years of age. *J Apple Physiol* 1950; 2(5): 563-570.
24. Venkataramana Y, Rao MS. Energy cost of graded work loads: mechanical efficiency of sport men. *Indian J Med Res* 1995; 101(6):120-4.
25. Susaki Y, Harana Y. Effect of 20 day bed rest on mechanical efficiency during upright cycling and leg muscle mass in young males. *J Gravit Physiol* 1995; 2(1): 74-5.
26. Holliday MA, potter DJ, Arrab A, Bearg S. The relation of metabolic-rate to body weight and organ size. *Pediatr Res* 1984; 1(4):185-195.