

## پیش‌بینی عملکرد سرعتی شنای کراال سینه در شناگران نوجوان با تأکید بر عوامل بیومکانیکی، معماری عضلانی و آنتروپومتریکی

علی‌رضا نصیرزاده\*، علی‌رضا احسان‌بخش\*\*، حامد ارغوانی\*\*\*، مهدی علی‌اکبری بیدختی\*\*\*\*، سیدعباس موسوی\*\*\*\*\*

\* کارشناس ارشد تربیت بدنی دانشگاه بیرجند  
 \*\* استادیار رادیولوژی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند  
 \*\*\* کارشناس ارشد آسیب شناسی ورزشی دانشگاه اصفهان  
 \*\*\*\* کارشناس تربیت بدنی دانشگاه بیرجند  
 \*\*\*\*\* کارشناس ارشد تربیت بدنی دانشگاه آزاد مشهد

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۲/۹

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۸/۲۸

### چکیده

عملکرد شناگران نوجوان می‌تواند تحت تأثیر شاخص‌های بیومکانیکی، فیزیولوژیکی و آنتروپومتریکی مختلفی قرار بگیرد. هدف این پژوهش بررسی تأثیر شاخص‌های بیومکانیکی (طول استروک، تناوب استروک و شاخص استروک) و معماری عضلانی (ضخامت عضلانی، زاویه پنیت و طول فاسیکل) و آنتروپومتریکی (قد، وزن، شاخص توده بدن، طول دو دست، عرض شانه و طول بازو، ران و ساق) بر پیش‌بینی عملکرد شنای کراال سینه ۵۰ متر شناگر پسر نوجوان (سن:  $0/86 \pm 13/86$  سال) بوده است. تحلیل رگرسیون مرحله‌ای برای بررسی چگونگی توصیف واریانس عملکرد شنا توسط این شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفت. شاخص استروک، ضخامت پهن خارجی و طول استروک حدود ۸۹ درصد ( $p < 0/01$ ) از واریانس عملکرد این شناگران را توصیف کردند و شاخص استروک بهترین پیش‌بینی‌کننده منفرد عملکرد شنا بود ( $R^2 = 0/519$ ،  $p < 0/001$ ). در نتیجه عملکرد شنای ۵۰ متر کراال سینه در شناگران نوجوان به طور برجسته توسط شاخص‌های بیومکانیکی و معماری عضلانی تعیین می‌شود و در زمان پیش‌بینی عملکرد شناگران نوجوان باید این شاخص‌ها را در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: معماری عضلانی، شاخص استروک، آنتروپومتری، رگرسیون مرحله‌ای، کراال سینه.

## مقدمه

در حالت کلی عملکرد شنا تحت تأثیر فاکتورهای فیزیولوژیکی (ظرفیت تولید انرژی، فرآیندهای متابولیک)، ریخت‌شناسی (اندازه دست‌ها، سطح فرونتال و کشش فعال تعیین شده)، خصوصیات عصبی-عضلانی (ظرفیت تولید نیرو، انجام کار، و رابری توان و تمامی عوامل مرتبط با تکنیک و هماهنگی) و نیم‌رخ روان‌شناسی (برانگیختگی، هیجان، انگیزه و...) شناگر قرار دارد (۱). همچنین عملکرد سطح بالای شنا تحت تأثیر مؤلفه‌هایی همچون تکنیک (تکنیک استروک، هماهنگی، استارت زدن و برگشت از دیواره)، آمادگی بدنی (آمادگی هوازی، آمادگی بی‌هوازی، انعطاف‌پذیری و قدرت) و آمادگی روانی (کنترل استرس و انگیزه) قرار می‌گیرد (۲).

برای موفقیت در مسابقات شنا در سطح بین‌المللی اعتقاد بر آن است که تمرینات شدید شناگران باید پیش از سنین بلوغ آغاز شود (۳). همچنین شرکت در ورزش قهرمانی در سنین جوانی با خصوصیات فیزیکی و بدنی ویژه‌ای رابطه دارد (۴ و ۵). بدین منظور همواره ارتباط بین ویژگی‌های بدنی، ظرفیت‌های فیزیولوژیکی و چگونگی عملکرد ورزشکاران با سنین مختلف موضوع مورد توجه محققان بوده است. برای مثال چندین تحقیق به بررسی خصوصیات آنروپومتریک و نحوه ارتباط این شاخص‌ها با عملکرد شنا در شناگران نوجوان پرداخته‌اند (۶-۱۱، ۱۵، ۱۹، ۲۸ و ۳۳). در کنار پارامترهای آنروپومتریک، شاخص‌های بیومکانیکی نیز از عوامل تعیین‌کننده عملکرد شنا هستند (۱۲). سرعت متوسط شنا حاصل عمل موفق دست‌ها و پاها در حین فعالیت شنا است. در نتیجه می‌توان آن‌را با عناصر مکانیکی مؤثر بر آن یعنی طول استروک و تناوب استروک توصیف کرد (۱۳). کاهش یا افزایش در سرعت شنا به دلیل افزایش یا کاهش در هر دو عامل طول استروک و تناوب استروک به وجود می‌آید (۱ و ۱۳). بر این اساس بسیاری از مطالعات بیومکانیکی به بررسی این شاخص‌ها و چگونگی ارتباط آن‌ها با عملکرد شناگران نوجوان پرداخته‌اند (۸-۱۳، ۱۵، ۱۷، ۱۹، ۲۵، ۲۸ و ۳۳) و حتی توسط مربیان نیز برای ارزیابی روند تمرینات مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۴). در مورد شناگران مختلف، با توجه به سطح تمرینی و مسافت شنای تحت بررسی، ممکن است این پارامترها مقادیر متفاوتی داشته باشند. به طور ویژه در شناگران نوجوان، وابسته به خصوصیات تمرینی تأثیر این شاخص‌ها بر سرعت شنای کراال سینه ممکن است تغییر کند (۱۵). به‌علاوه کاستیل و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۸۵) شاخص استروک را به صورت حاصل ضرب سرعت متوسط در طول استروک ابداع کردند و از آنجایی که قابلیت حرکت در یک سرعت مشخص با کمترین تعداد استروک را توصیف می‌کند، شاخصی معتبر برای بازده شنا در شناگران نوجوان (۱۷) و بزرگسال (۱۶) شناخته می‌شود. نشان داده شده است که پارامترهای آنروپومتریک در میان دیگر شاخص‌هایی که ممکن است بر ارتباط بین طول استروک و تناوب استروک و همچنین سرعت شنا تأثیرگذار باشند، با تناوب استروک و به‌طور مهم‌تر با طول استروک در بزرگسالان (۱۸ و ۱۹) و نوجوانان (۶)

1. Costill et al

و ۲۰) رابطه دارند. این به‌طور واضح نشان می‌دهد که پارامترهای بیومکانیکی و آنتروپومتریکی با هم در ارتباط هستند.

از طرف دیگر، توافق بسیاری وجود دارد که عملکرد سرعتی نیازمند تولید انقباضات با سرعت بالا در عضلات درگیر در حرکت است. سرعت انقباض عضلانی به‌وسیله خصوصیات بیوشیمیایی (فعالیت میوزین ATPase) و شاخص‌های معماری عضلانی (طول فیبر عضلانی: تعداد سارکومرهای قرار گرفته در ردیف‌ها) تعیین می‌شود (۲۱). با این حال، تفاوت حداکثر سرعت انقباض بین عضلات بیشتر به دلیل تفاوت ویژگی‌های معماری عضلات تعیین می‌شود تا خصوصیات بیوشیمیایی آن (۲۲). اخیراً با بررسی شناگران نوجوان (۲۳) ارتباط معنی‌داری بین برخی شاخص‌های معماری عضلانی همچون ضخامت عضلانی، زاویه پنیت و طول فاسیکل و عملکرد شنای کراال سینه سرعتی ۲۵ متر مشاهده کردیم.

در این میان، برای تعیین پارامترهای برگزیده جهت پیش‌بینی موفقیت و طراحی برنامه‌های تمرینی ویژه برای شناگران نوجوان، بررسی هم‌زمان پارامترهای مختلف آنتروپومتریکی، بیومکانیکی و فیزیولوژیکی که می‌تواند بر عملکرد شنا تأثیر بگذارد ضروری است (۸). از طرف دیگر، به دلیل اینکه ظرفیت‌های متابولیکی و کسب مهارت تحت تأثیر رشد و نمو قرار می‌گیرند (۲۴) ممکن است فاکتورهایی که عملکرد شناگران نوجوان را در سنین بلوغ پیش‌بینی می‌کند، در مقایسه با بزرگسالان متفاوت باشد. با توجه به اطلاعات ما تاکنون هیچ مطالعه‌ای به تأثیر شاخص‌های معماری عضلانی همراه با فاکتورهای بیومکانیکی و آنتروپومتریکی در زمان پیش‌بینی عملکرد شناگران نوجوان پرداخته است. فرض کرده‌ایم که عملکرد سرعتی شنای کراال سینه در شناگران نوجوان را می‌توان با تعداد کمی شاخص مؤثر از این سه دسته به طور مطلوب پیش‌بینی کرد. در نتیجه هدف از این مطالعه، بررسی شاخص‌های بیومکانیکی، معماری عضلانی و آنتروپومتریکی منتخب به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های عملکرد ۵۰ متر شنای کراال سینه در شناگران نوجوان پسر بوده است.

## روش‌شناسی

**نمونه:** ۲۳ نفر از شناگران پسر نوجوان (سن:  $13/86 \pm 0/86$ ، دامنه: ۱۳-۱۵ سال) با ۴ تا ۶ سال سابقه تمرین منظم ( $8/3 \pm 1/1$  ساعت تمرین در هفته) در این تحقیق حضور داشتند. شناگران و والدین آن‌ها به طور کامل با اهداف و محتوای تحقیق آشنا شدند و قبل از انجام تحقیق فرم رضایت‌نامه‌ای از والدین دریافت شد.

**اندازه‌گیری شاخص‌های بیومکانیکی عملکرد شنا:** رکوردگیری در استخر ۲۵ متری و با استفاده از تصاویر فیلم‌برداری شده با سرعت ۳۰ فریم در ثانیه از نمای بالا انجام گرفت. برای بررسی‌های بعدی و مشخص کردن مسافت ۱۵ متر وسط استخر، نقاط با فاصله ۵ متر از هر دیواره استخر علامت‌گذاری شد. پس از گرم کردن به مدت ۱۵ دقیقه تمامی شناگران یک بار مسافت ۵۰ متر را از طریق شنای کراال سینه با حداکثر فشار و استارت از درون آب شنا کردند (۲۵). سرعت متوسط شنا (m/s) با تقسیم ۳۰ متر (مجموع ۱۵ متر وسط استخر در

دور رفت و ۱۵ متر وسط استخر در دور برگشت) بر زمان طی این مسافت محاسبه شد (۷). تناوب استروک ( $\text{stroke} \cdot \text{min}^{-1}$ ) به صورت میانگین تعداد استروک‌های کامل انجام‌شده توسط شناگر در طی ۱۵ متر رفت و برگشت در نظر گرفته شد (۱۰) و زمان یک استروک کامل برابر با مدت زمان واردشدن یک دست به آب تا واردشدن دوباره همان دست به آب تعریف شد (۱۱). مسافت طی‌شده در هر استروک (طول استروک) با تقسیم سرعت متوسط بر تناوب استروک متناظر محاسبه شد ( $\text{m} \cdot \text{stroke}^{-1}$ ) (۱۰). سرانجام برای سنجش بازده تکنیک شناگران، شاخص استروک ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{stroke}^{-1}$ ) با ضرب سرعت متوسط شنا در طول استروک محاسبه شد (۱۶).

### اندازه‌گیری شاخص‌های آنروپومتریک منتخب: قد و وزن با استفاده از قدسنج و ترازوی پزشکی و به

ترتیب با دقت ۱ سانتی‌متر و ۰/۰۵ کیلوگرم اندازه‌گیری شدند (۱۰). طول اندام‌های بدن با استفاده از متر نواری و از طریق برجستگی‌های آناتومیکی بدن در حالت ایستاده و از طرف راست بدن بدین صورت اندازه‌گیری شد: طول ران، فاصله بین برآمدگی خاصره‌ای و اپی‌کندیل خارجی استخوان ران، طول ساق، فاصله بین قوزک خارجی نازک‌نی و اپی‌کندیل خارجی استخوان درشت‌نی (۲۱) و طول بازو، فاصله بین زائده آخرومی کتف و اپی‌کندیل خارجی استخوان بازو (۲۶). طول دو دست<sup>۱</sup> به‌عنوان فاصله بین نوک انگشتان بزرگ دو دست در حالی که دست‌ها در طرفین کاملاً باز بودند و فاصله عرضی بین دو زائده آخرومی کتف به‌عنوان عرض شانه با استفاده از متر نواری اندازه‌گیری شد (۲۶).

### اندازه‌گیری شاخص‌های معماری عضلات اسکلتی: در این مطالعه ۵ عضله شامل عضله پهن خارجی (در

نقطه وسط طول استخوان ران)، دوقلوی خارجی (در نقطه ۳۰ درصدی طول ساق از سر فوقانی) و دوقلوی میانی (در نقطه‌ای مشابه دوقلوی خارجی) از اندام تحتانی (۲۱) و عضلات سه سر بازویی (سر خارجی) (در نقطه وسط طول بازو) و دو سر بازویی (در نقطه‌ای مشابه سه سر بازویی) از اندام فوقانی (۲۷) مورد بررسی قرار گرفت. این عضلات به‌دلیل به‌کارگیری برای پیش‌روی شناگر در آب و با توجه به الگوی حرکتی شنای کراال سینه (۳۴ و ۳۵) و همچنین قابلیت تصویربرداری توسط دستگاه اولتراسونوگرافی انتخاب شده‌اند.

اندازه‌گیری شاخص‌های معماری عضلانی مطابق روش ارائه‌شده در تحقیقات قبلی انجام گرفته است (۲۱) و (۲۷). اما به‌طور خلاصه، پس از مشخص کردن نقاط اندازه‌گیری و آغشته‌کردن آن‌ها به ژل مخصوص برای ارتباط صوتی مطلوب، پروب اولتراسونوگرافی ابتدا به صورت عمود بر عضله برای داشتن تصویری از سطح مقطع عضله جهت اندازه‌گیری ضخامت عضلانی در محل مورد نظر قرار می‌گرفت. پس از تصویربرداری و نشانه‌گذاری تصاویر برای بررسی‌های بعدی، پروب در همان نقطه به صورت هم‌جهت با عضله قرار می‌گرفت تا برای اندازه‌گیری زاویه پهنیت، تصویری طولی از عضله گرفته شود. با استفاده از تصاویر برداشته‌شده، فاصله بین نیام عمقی<sup>۲</sup> و نیام سطحی<sup>۱</sup> عضله در تصاویر سطح مقطعی به‌عنوان ضخامت عضلانی

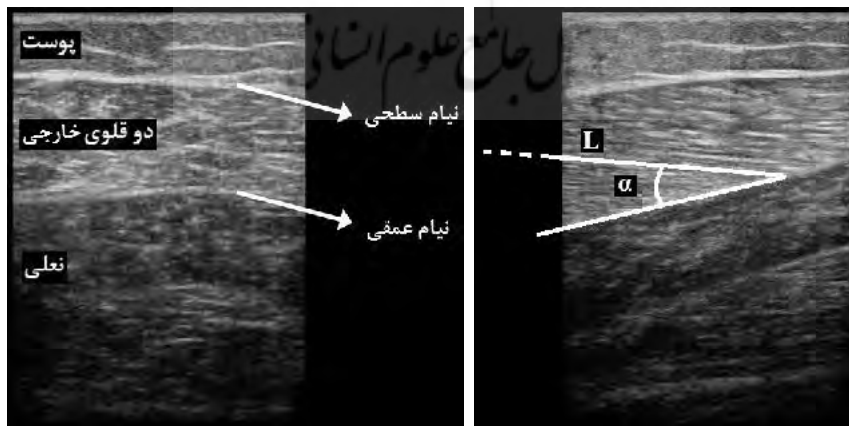
1. Arm span  
2. Deep aponeurosis

(شکل ۱) و زاویه حاده بین نیم عمقی عضله و راستای فاسیکل‌ها در تصاویر طولی به‌عنوان زاویه پنیت عضله در نظر گرفته شد (زاویه  $\alpha$  در شکل ۱). ضخامت عضلانی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر با استفاده از دستگاه اولتراسونوگرافی و زاویه پنیت با دقت ۰/۱ درجه با استفاده از نرم‌افزار اتوکد اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری طول فاسیکل نیز از فرمول هندسی زیر استفاده شد:

$$\text{طول فاسیکل} = (\sin(\alpha))^{-1} \times \text{ضخامت عضله}$$

در این رابطه  $\alpha$  زاویه پنیت عضله مورد نظر بود (۲۱). تمامی تصاویر در هنگام صبح، قبل از انجام هرگونه فعالیت عضلانی، از طرف راست بدن و با رعایت شرایطی یکسان برای تمامی آزمودنی‌ها گرفته شد. تصویربرداری از عضلات دو سر بازویی، پهن خارجی در حالت درازکشیده به پشت و عضلات سه سر بازویی، پهن خارجی و دوقلوی میانی و خارجی در حالت درازکشیده روی شکم انجام گرفت. همچنین تصاویر با استفاده از دستگاه اولتراسونوگرافی Hitachi EUB-405 نوع B، ساخت کشور ژاپن با پروب آرایه خطی ۷/۵ MHz انجام گرفت.

**روش‌های آماری:** داده‌ها به صورت انحراف معیار  $\pm$  میانگین ارائه شده است. نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنف مورد بررسی قرار گرفت و داده‌ها در تمامی زیرگروه‌ها دارای توزیع نرمال بودند. ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون برای تعیین میزان ارتباط بین متغیرهای اندازه‌گیری شده و عملکرد شنا مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل رگرسیون مرحله‌ای<sup>۲</sup> (۲۸) برای بررسی تأثیر بالقوه دسته متغیرها (بیومکانیکی، آنتروپومتریکی، معماری عضلانی و تمامی متغیرها با هم) در پیش‌بینی بهتر عملکرد شنا و یافتن بهترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ مورد استفاده قرار گرفت. در تمامی تحقیق سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است.



شکل ۱. تصویر اولتراسونوگرافیک عضله دوقلوی خارجی. سمت چپ: تصویر سطح مقطعی عضله که موقعیت آن را نشان می‌دهد. سمت راست: تصویر طولی عضله که زاویه پنیت ( $\alpha$ ) و طول فاسیکل (L) در آن نمایش شده است.

1. Superficial aponeurosis  
2. Stepwise regression analysis

## یافته‌ها

زمان عملکرد شنای کراال سینه ۵۰ متر  $۳۵/۰۷ \pm ۲/۶۷$  ثانیه و سرعت متوسط شناگران  $۱/۳۸ \pm ۰/۰۹$  متر بر ثانیه (دامنه:  $۱/۶۱ - ۱/۲۷$  متر بر ثانیه) بود. آمار توصیفی برای پارامترهای بیومکانیکی، آنتروپومتریکی منتخب و معماری عضلانی و ارتباط آن‌ها با عملکرد کراال سینه ۵۰ متر در جدول ۱ ارائه شده است. تحلیل همبستگی نشان داد که عملکرد شنا از میان پارامترهای آنتروپومتریکی با قد و طول دو دست (به ترتیب  $r = -۰/۴۳$  و  $r = -۰/۵۰$  هر دو  $p < ۰/۰۵$ )، از میان پارامترهای بیومکانیکی با طول استروک و شاخص استروک (به ترتیب  $r = -۰/۵۴$ ،  $r = -۰/۷۲$  هر دو  $p < ۰/۰۱$ ) و از میان شاخص‌های معماری عضلانی با ضخامت عضلانی پهن خارجی ( $r = -۰/۵۶$ ،  $r = -۰/۰۱$ )، زاویه پهنیت دوقلوی خارجی ( $r = ۰/۴۱$ ،  $p < ۰/۰۵$ ) و طول فاسیکل عضلات پهن خارجی و دوقلوی خارجی (به ترتیب  $r = -۰/۴۲$  و  $r = -۰/۴۸$  هر دو  $p < ۰/۰۵$ ) به طور معنی‌دار مرتبط بود (جدول ۱). همچنین تحلیل رگرسیون نشان داد که به ترتیب شاخص استروک ( $R^2 = ۰/۵۱۹$ ،  $p < ۰/۰۰۱$ )، ضخامت پهن خارجی ( $R^2 = ۰/۴۱۸$ ،  $p < ۰/۰۰۱$ ) و طول استروک ( $R^2 = ۰/۳۵۱$ ،  $p < ۰/۰۰۱$ ) بهترین پیش‌بینی‌کننده‌های کلی عملکرد شنای کراال سینه ۵۰ متر در این شناگران نوجوان بودند. همچنین، بر اساس این تحلیل‌ها فاکتورهای بیومکانیکی که وارد مدل شده‌اند، بهترین پیش‌بینی‌کننده‌های عملکرد شنای کراال سینه ۵۰ متر در این شناگران نوجوان بودند ( $r = ۰/۸۴$ ،  $p < ۰/۰۰۱$ ) و شاخص‌های معماری عضلانی ( $r = ۰/۵۲$ ،  $p < ۰/۰۰۱$ ) و آنتروپومتریکی منتخب ( $r = ۰/۲۱/۵$ ،  $p < ۰/۰۰۵$ ) در رده‌های بعدی قرار داشتند (جدول ۲). تحلیل رگرسیون برای تمامی متغیرهای مرتبط با عملکرد شنا نشان داد که فاکتورهای شاخص استروک، طول استروک و ضخامت پهن خارجی حدود ۸۹ درصد از واریانس عملکرد شنای کراال سینه را در این شناگران توصیف می‌کنند (جدول ۲).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۱. پارامترهای آنترپومتریکی منتخب، بیومکانیکی و معماری عضلانی و همبستگی آنها با عملکرد کرال سینه ۵۰ متر در شناگران نوجوان (تعداد= ۲۳ نفر)

p	r	دامنه	SD ± میانگین	متغیر	
۰/۰۴ *	- ۰/۴۳	۱۵۸ - ۱۸۱	۱۷۱ ± ۶	قد (cm)	آنترپومتریکی
۰/۵۱	۰/۱۴	۴۷/۸ - ۶۸	۵۸/۹ ± ۶/۴	وزن (kg)	
۰/۱۲	- ۰/۳۶	۱۶/۸ - ۲۲/۷	۲۰/۱ ± ۱/۴	شاخص توده بدن (kg.m <sup>-2</sup> )	
۰/۰۱۳ *	- ۰/۵۰	۱۶۴ - ۱۹۵	۱۷۷ ± ۸/۷	طول دو دست (cm)	
۰/۰۷	- ۰/۳۸	۳۱ - ۴۲	۳۶/۵ ± ۲/۹	عرض شانه (cm)	
۰/۵۴	- ۰/۱۳	۳۴/۵ - ۴۰/۵	۳۷/۳ ± ۱/۸	طول بازو (cm)	
۰/۲۲	- ۰/۲۷	۳۶ - ۴۴	۳۹/۹ ± ۱/۹	طول ران (cm)	
۰/۲۷	- ۰/۲۴	۳۷ - ۴۴/۵	۴۰/۹ ± ۲/۱	طول ساق (cm)	
۰/۰۱۱ *	- ۰/۵۴	۱/۴۶ - ۱/۹۹	۱/۶۹ ± ۰/۱۳	طول استروک (m·stroke <sup>-1</sup> )	بیومکانیکی
۰/۱۵	- ۰/۳۱	۴۳ - ۵۸	۴۹/۳ ± ۳/۹۹	تناوب استروک (stroke·min <sup>-1</sup> )	
۰/۰۰۰ **	- ۰/۷۲	۱/۸۵ - ۲/۹۰	۲/۳۴ ± ۰/۲۷	شاخص استروک (m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ·stroke <sup>-1</sup> )	
۰/۰۱ **	- ۰/۵۶	۱/۹۸ - ۲/۴۵	۲/۲۰ ± ۰/۱۳	پهن خارجی	ضخامت عضلانی (cm)
۰/۴۵	- ۰/۱۷	۱/۴۱ - ۲/۱۵	۱/۸۱ ± ۰/۱۹	دوقلوی میانی	
۰/۰۸	- ۰/۳۷	۱/۰۸ - ۲/۰۳	۱/۶۱ ± ۰/۲۳	دوقلوی خارجی	
۰/۵۲	- ۰/۱۴	۱/۹۲ - ۲/۴۸	۲/۱۷ ± ۰/۱۵	سه سر بازویی	
۰/۵۷	- ۰/۱۳	۱/۷۸ - ۲/۵۲	۲/۰۶ ± ۰/۲۱	دو سر بازویی	معماری عضلانی
۰/۴۷	۰/۱۶	۱۲/۳ - ۲۵/۱	۱۷/۲ ± ۳/۴	پهن خارجی	
۰/۱۹	۰/۲۸	۱۳/۳ - ۲۹	۲۰/۸ ± ۴/۵	دوقلوی میانی	
۰/۰۳ *	۰/۴۱	۱۳/۳ - ۲۱/۲	۱۶/۷ ± ۱/۹	دوقلوی خارجی	
۰/۴۳	۰/۱۷	۱۲/۶ - ۲۲/۸	۱۸ ± ۲/۷	سه سر بازویی	زاویه پشیت (°)
۰/۰۳ *	- ۰/۴۲	۴/۹۱ - ۱۰/۷	۷/۶۴ ± ۰/۱۳	پهن خارجی	
۰/۱۳	- ۰/۳۳	۳/۱۸ - ۸/۱۱	۵/۳۱ ± ۰/۱۱	دوقلوی میانی	
۰/۰۲ *	- ۰/۴۸	۳/۲۲ - ۷/۶۹	۵/۶۶ ± ۰/۱۱	دوقلوی خارجی	
۰/۱۳	- ۰/۳۳	۵/۰۸ - ۱۱/۴	۷/۱۸ ± ۰/۱۴	سه سر بازویی	طول فاسیکل (cm)

\* معنی دار در سطح ۰/۰۵ (p < 0.05)، \*\* معنی دار در سطح ۰/۰۱ (p < 0.01).

جدول ۲. نتایج تحلیل رگرسیون مرحله‌ای برای دستیابی به بهترین فاکتورهای پیش‌بینی‌کننده عملکرد شنای کرال سینه ۵۰ متر از میان گروه‌های پارامترها (بیومکانیکی، آنترپومتریکی، معماری عضلانی و تمامی متغیرها)

p	F	R <sup>2</sup> تعدیل شده	R <sup>2</sup>	R	متغیرهای وارد شده به مدل	متغیر
۰/۰۰۱ **	(۲ و ۲۰)=۵۸/۶۴۱	۰/۸۴۰	۰/۸۵۴	۰/۹۲۴	شاخص استروک و طول	بیومکانیکی
۰/۰۱۵ *	(۱ و ۲۱)=۷/۰۱۹	۰/۲۱۵	۰/۲۵۱	۰/۵۰۱	طول دو دست	آنترپومتریکی
۰/۰۰۱ **	(۲ و ۲۰)=۲۴/۷۱۰	۰/۵۱۹	۰/۵۴۱	۰/۷۳۵	ضخامت پهن خارجی، طول	معماری عضلانی
۰/۰۰۱ **	(۳ و ۱۹)=۵۸/۴۶۹	۰/۸۸۷	۰/۹۰۲	۰/۹۵۰	شاخص استروک، ضخامت پهن	تمامی متغیرها

\* معنی دار در سطح ۰/۰۵ (p < 0.05)، \*\* معنی دار در سطح ۰/۰۱ (p < 0.01).

## بحث

مطالعه حاضر به بررسی تأثیر متغیرهای مختلف بیومکانیکی، آنتروپومتریکی و معماری عضلانی بر پیش‌بینی عملکرد سرعتی ۵۰ متر شنای کرال سینه شناگران پسر نوجوان پرداخته است. داده‌ها نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار عملکرد شنای کرال سینه با ۷ متغیر (قد، طول دو دست، طول استروک، شاخص استروک، ضخامت عضلانی پهن خارجی، زاویه پنیت دوقلوی خارجی، طول فاسیکل عضلات پهن خارجی و دوقلوی خارجی) از میان ۲۴ متغیر تحت بررسی بود (جدول ۱).

یکی از مهم‌ترین یافته‌های مطالعه حاضر این است که پارامترهای بیومکانیکی (شاخص استروک و طول استروک) به‌خوبی عملکرد سرعتی شنای کرال سینه در این شناگران نوجوان را توصیف کرده‌اند و شاخص استروک بهترین پارامتر بیومکانیکی منفرد در توصیف عملکرد شنا بوده است. این یافته با دیگر مطالعات این زمینه هم‌خوانی دارد (۸، ۱۰، ۲۸ و ۲۹). لات و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۰) ارتباط معنی‌داری بین عملکرد شنای ۱۰۰ متر کرال سینه و شاخص‌های بیومکانیکی طول استروک، فرکانس استروک و شاخص استروک (به ترتیب  $r = -0.506$ ،  $r = -0.785$  و  $r = -0.643$ ، همگی  $p < 0.05$ ) را در شناگران نوجوان  $15/2 \pm 1/9$  ساله گزارش کرده‌اند و شاخص استروک و طول استروک حدود ۹۰ درصد از واریانس عملکرد این شناگران را توصیف کرده است. ویتور و بوهمه<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) ارتباط معنی‌داری بین عملکرد شنای کرال سینه ۱۰۰ متر و فاکتورهای شاخص استروک و طول استروک (به ترتیب  $r = -0.82$  و  $r = -0.53$  هر دو  $p < 0.05$ ) در شناگران  $13 \pm 0.7$  ساله گزارش کردند که این ارتباط در مورد فرکانس استروک ( $r = 0.03$ ،  $p > 0.05$ ) برقرار نبود. همچنین باریوسا و همکاران (۲۰۱۰) ارتباط معنی‌داری بین عملکرد شنا (۲۰۰ متر کرال سینه) و شاخص استروک در پسران ۱۲ ساله گزارش کرده‌اند و تأثیر شاخص استروک بر عملکرد شنا را در نتیجه بهبود راندمان پیش‌روی حرکات بدن در آب دانسته‌اند و پیشنهاد کردند که از شاخص استروک به‌طور منظم می‌توان به‌عنوان ملاک ارزیابی عملکرد شنا در شناگران نوجوان استفاده کرد. بنابراین، نتایج این مطالعات اهمیت در نظر گرفتن پارامترهای بیومکانیکی تکنیک شنا را در زمان پیش‌بینی موفقیت شناگران نوجوان نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج مطالعه حاضر شاخص‌های معماری عضلانی فاکتورهای مطلوب برای پیش‌بینی عملکرد شنای کرال سینه ۵۰ متر شناگران نوجوان تحت بررسی بوده‌اند و ضخامت عضلانی عضله پهن خارجی بهترین پیش‌بینی‌کننده منفرد عملکرد از میان شاخص‌های معماری عضلانی در این شناگران بوده است. اخیراً در مطالعه‌ای (۲۳) ارتباط معنی‌داری را بین برخی شاخص‌های معماری عضلانی و عملکرد سرعتی شنای کرال سینه ۲۵ متر مشاهده کردیم. به نظر می‌رسد عملکرد سرعتی شنا با طول فاسیکل و ضخامت عضلانی بیشتر و زاویه پنیت کوچک‌تر مربوط باشد. تاکنون مطالعه دیگری به بررسی این شاخص‌ها در شناگران نپرداخته است.

1. Lätt et al  
2. Vitor and Bohme



از طرفی، در مطالعه حاضر ارتباط منفی معنی‌داری بین عملکرد شنای کرال سینه ۵۰ متر و طول فاسیکل عضلات پهن خارجی و دوقلوی خارجی مشاهده شده است. در حالت کلی، دو توضیح برای توجیه اینکه طول فاسیکل بیشتر به عملکرد سرعتی بهتر منجر می‌شود وجود دارد. اولاً، طول فاسیکل بلندتر موجب حداکثر سرعت بیشتر در انقباض عضلانی می‌شود. سرعت بیشتر منجر به توان بالاتر می‌شود که بهبود عملکرد سرعتی را به دنبال دارد (۲۳). ثانیاً براساس رابطه هیل<sup>۱</sup> (۳۰)، با افزایش سرعت انقباض عضله نیروی تولیدی آن کاهش می‌یابد. با این حال زمانی که سارکومرهای بیشتری در یک ردیف قرار گرفته باشند، برای یک انقباض با سرعت مشخص کل فیبر عضلانی، سرعت انقباض هر سارکومر در فیبر یا فاسیکل آهسته‌تر خواهد بود و بر اساس رابطه نیرو-سرعت، نیروی سارکومر مشابه افزایش سرعت انقباض فیبر کاهش نخواهد یافت (۲۱). بنابراین در انقباضات با سرعت بالا، فاسیکل‌های بلندتر قادر به تولید نیروی بیشتری هستند (۳۱). در نتیجه توان نیز بالاتر خواهد بود و به طور بالقوه عملکرد سرعتی را بهبود خواهد بخشید.

شروع تمرینات جدی شناگران با رسیدن به سنین بلوغ معلوم می‌کند که پارامترهای آنروپومتریک همراه با ویژگی‌های ترکیب بدن می‌توانند عملکرد شنا را به طریقی تحت تأثیر قرار بدهند (۳۲). یافته اصلی مطالعه حاضر این است که متغیرهای شاخص استروک، طول استروک و ضخامت پهن خارجی بهترین پیش‌بینی‌کننده‌های عملکرد شنا در شناگران نوجوان  $13/86 \pm 0/86$  ساله تحت بررسی بوده‌اند. به عبارت دیگر، به نظر می‌رسد خصوصیات تکنیکی و شاخص‌های معماری عضلانی فاکتورهای تعیین‌کننده‌تری نسبت به شاخص‌های آنروپومتریک منتخب تحت بررسی در این مطالعه بوده‌اند. از طرف دیگر، در این مطالعه هیچ‌یک از شاخص‌های آنروپومتری در مدل نهایی پیش‌بینی عملکرد شنای ۵۰ متر سرعت کرال سینه شناگران نوجوان وارد نشده‌اند.

مطالعات گذشته (۶، ۸، ۱۰ و ۳۳) گزارش کرده‌اند که عملکرد شنای کرال سینه در شناگران نوجوان با توده بدن، توده خالص بدن، قد و طول دو دست رابطه دارد. در مطالعه حاضر، عملکرد سرعتی شنای کرال سینه با فاکتورهای قد و طول دو دست به طور معنی‌دار رابطه داشته است. ارتباط موجود بین قد و عملکرد شنا را می‌توان در نتیجه این حقیقت دانست که شناگران با قد بلندتر، پیش‌روی بهتری در آب دارند و بهتر سر می‌خورند (۶) و همچنین شناگران بلندقدتر دارای طول دو دست بیشتری هستند که راندمان شنای بهتری (برای مثال از طریق دستیابی به طول استروک بیشتر) برای آن‌ها فراهم می‌کند (۹). ارتباط معنی‌دار بین عملکرد شنای کرال سینه و طول دو دست، با دیگر مطالعات این حوزه هم‌خوانی دارد (۶ و ۹) که نشان می‌دهد ترکیب طول دو دست و قد می‌تواند بر فاکتورهای بیومکانیکی مرتبط با پیش‌روی در آب تأثیرگذار باشد.

در مقایسه با دیگر مطالعاتی که به بررسی تأثیر ترکیبی از شاخص‌ها بر عملکرد شناگران نوجوان پرداخته‌اند، گلاداس و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۵) حدود ۵۹ درصد از واریانس عملکرد سرعتی ۱۰۰ متر کرال سینه شناگران ۱۲

1. Hill

2. Geladas et al

تا ۱۴ ساله را در نتیجه فاکتورهای طول اندام فوقانی، پرش عمودی و قدرت چنگ‌زدن دانسته‌اند. لات و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که ۹۳ درصد از واریانس عملکرد شنای ۱۰۰ متر شناگران نوجوان  $15/2 \pm 1/9$  ساله از طریق فاکتورهای شاخص استروک و طول استروک قابل توصیف است. همچنین ویتور و بومه (۲۰۱۰) گزارش کردند که ۸۸ درصد عملکرد شنای کراول سینه ۱۰۰ متر شناگران نوجوان  $13 \pm 0/7$  ساله ناشی از توان بی‌هوازی، شاخص استروک و سرعت بحرانی بوده است. در دو مطالعه اخیر نیز همچون مطالعه حاضر فاکتورهای آنتروپومتریکی به مدل نهایی پیش‌بینی عملکرد شناگران وارد نشده‌اند. با این حال، با توجه به اینکه مسافت شنای تحت بررسی و روش مورد استفاده در تحقیقات این زمینه بسیار متفاوت است، ارائه ایده و نتیجه‌ای کلی امکان‌پذیر نیست و انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه ضروری است.

### نتیجه‌گیری

در مجموع، شاخص استروک، طول استروک و ضخامت عضلانی عضله پهن خارجی ۸۹ درصد از عملکرد ۵۰ متر شنای کراول سینه شناگران نوجوان را توصیف کردند. همچنین فاکتورهای بیومکانیکی بهترین پیش‌بینی‌کننده‌های عملکرد ۵۰ متر شنای کراول سینه در شناگران نوجوان بودند و شاخص‌های معماری عضلانی و آنتروپومتریکی در رده‌های بعدی قرار داشتند. مطالعه حاضر به بررسی مدلی ساده برای پیش‌بینی زمان عملکرد شنای کراول سینه ۵۰ متر در شناگران نوجوان براساس شاخص‌های آنتروپومتریکی، بیومکانیکی و معماری عضلانی پرداخته است که می‌تواند مورد استفاده مربیان قرار بگیرد. از چنین مدلی می‌توان برای پیش‌بینی موفقیت، طراحی و بهبود برنامه تمرینی و استعدادیابی و انتخاب شناگران نوجوان استفاده کرد.

\* این پژوهش با حمایت و همکاری اداره کل تربیت بدنی و هیات شنای استان خراسان جنوبی انجام گرفته است.

### منابع

- 1- Toussaint, H.M., Beek, P.J. 1992. Biomechanics of front-crawl swimming. Sports Med. 13, 8-24.
- 2- Olbrecht, J. 2007. The science of winning: planning, periodizing and optimizing swim training. F&G Partners, London.
- 3- Erlandson, M.C., Sherar, L.B., Mirwald, R.L., Maffulli, N., Baxter-Jones, A.D. 2008. Growth and maturation of adolescent female gymnasts, swimmers, and tennis players. Med Sci Sports Exerc. 40(1), 34-42.
- 4- Claessens, A.L., Veer, F.M., Stijnen, V., Lefevre, J., Maes, H., Steens, G., Beunen, G. 1991. Anthropometric characteristics of outstanding male and female gymnasts. J Sports Sci. 9(1), 53-74.
- 5- Damsgaard, R., Bencke, J., Matthiesen, G., Petersen, J.H., Müller, J. 2001. Body proportions, body composition and pubertal development of children in competitive sports. Scand J Med Sci Sports. 11(1), 54-60.
- 6- Geladas, N.D., Nassis, G.P., Pavlicevic, S. 2005. Somatic and Physical Traits Affecting Sprint Swimming Performance in Young Swimmers. Int J Sports Med. 26(2), 139-44.
- 7- Duché, P., Falgairette, G., Bedu, M., Lac, G., Robert, A., Coudert, J. 1993. Analysis of performance of prepubertal swimmers assessed from anthropometric and bio-energetic characteristics. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 66(5), 467-71.

- 8- Jürimäe, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Lätt, E., Purge, P., Leppik, A., Jürimäe, T. 2007. Analysis of swimming performance from physical, physiological, and biomechanical parameters in young swimmers. *Pediatr Exerc Sci.* 19(1), 70-81.
- 9- Saavedra, J.M., Escalante, Y., Rodríguez, F.A. 2010. A multivariate analysis of performance in young swimmers. *Pediatr Exerc Sci.* 22(1), 135-51.
- 10- Lätt, E., Jürimäe, J., Mäestu, J., Purge, P., Rämson, R., Haljaste, K., Keskinen, K.L., Rodríguez, F.A., Jürimäe, T. 2010. Physiological, biomechanical and anthropometrical predictors of sprint swimming performance in adolescent swimmers. *J Sports Sci Med.* 9, 398-404.
- 11- Strzala, M., Tyka, A. 2009. Physical endurance, somatic indices and swimming technique parameters as determinants of front crawl swimming speed at short distances in young swimmers. *Med Sport.* 13(2), 99-107.
- 12- Zamparo, P., Bonifazi, M., Faina, M., Milan, A., Sardella, F., Schena, F., Capelli, C. 2005. Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *Eur J Appl Physiol.* 95(5-6), 35-41.
- 13- Barbosa, T.M., Fernandes, R.J., Keskinen, K.L., Vilas-Boas, J.P. 2008. The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *Eur J Appl Physiol.* 103(2), 139-49.
- 14- Maglischo, E.W. 2003. *Swimming fastest.* Champaign: Human Kinetics, USA.
- 15- Strzala, M., Tyka, A., Zychowska, M., Woznichi, P. 2005. Components of physical work capacity, somatic variables and technique in relation to 100 and 400m time trials in young swimmers. *J Hum Kinet.* 14, 105-16.
- 16- Costill, D.L., Kowaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., King, D. 1985. Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med.* 6, 266-70.
- 17- Barbosa, T.M., Costa, M., Marinho, D.A., Coelho, J., Moreira, M., Silva, A.J. 2010. Modeling the links between young swimmers' performance: energetic and biomechanic profiles. *Pediatr Exerc Sci.* 22(3), 379-91.
- 18- Grimston, S.K., Hay, J.G. 1986. Relationships among anthropometric and stroking characteristics of college swimmers. *Med Sci Sports Exerc.* 18, 60-8.
- 19- Pelayo, P., Sidney, M., Kherif, T., Chollet, D., Tourny, C. 1996. Stroking characteristics in freestyle swimming and relationship with anthropometric characteristics. *J Appl Biomech.* 12, 197-206.
- 20- Poujade, B., Hautier, C.A., Rouard, A. 2002. Determinants of the energy cost of front-crawl swimming in children. *Eur J Appl Physiol.* 87(1), 1-6.
- 21- Kumagai, K., Abe, T., William, F., Ryushi, T., Takano, S., Mizuno, M. 2000. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol.* 88, 811-6.
- 22- Burkholder, T.J., Fingado, B., Baron, S., Lieber, R.L. 1994. Relationship between muscle fiber types and sizes and muscle architecture properties in the mouse hind limb. *J Morphol.* 221, 177-90.
- 23- Nasirzade, A.R., Ehsanbakhsh, A.R., Ilbeygi, S., Argavani, H., Aliakbari, M. 2012. Relationship between sprint performance of front crawl swimming and muscle fascicle length in young swimmers. *J Sports Sci & Med, In press.*
- 24- Malina, R.M. 1994. Physical growth and biological maturation of young athletes. *Exerc Sport Sci Rev.* 22, 389-433.
- 25- Garrido, N., Marinho, D.A., Barbosa, T.M., Costa, A.M., Silva, A.J., Pérez-Turpin, J.A., Marques, A.C. 2010. Relationships between dry land strength, power variables and short sprint performance in young competitive swimmers. *J Hum Sport Exerc.* 5(2), 240-9.
- 26- Stewart, A., Marfell-Jones, M., Olds, T., de Ridder, H. 2011. *International standards for anthropometric assessment.* ISAK: Lower Hutt, New Zealand.
- 27- Matta, T., Simão, R., de-Salles, B.F., Spinetti, J., Oliveira, L.F. 2011. Strength training's chronic effects on muscle architecture parameters of different arm sites. *J Strength Cond Res.* 25(6), 1711-7.
- 28- Vitor, F.M., Bohme, M.T. 2010. Performance of young male swimmers in the 100-meters front crawl. *Pediatr Exerc Sci.* 22(2), 278-87.
- 29- Klika, R.J., Thorland, W.G. 1994. Physiological determinants of sprint swimming performance in children and young adults. *Pediatr Exerc Sci.* 6, 59-68.

- 30- Hill, A.V. 1970. First and Last Experiments in Muscle Mechanics. Cambridge Univ. Press, England.
- 31- Blazeovich, A.J. 2006. Effects of Physical Training and Detraining, Immobilization, Growth and Aging on Human Fascicle Geometry. Sports Med. 36(11), 1003-17.
- 32- Chatarad, J.C., Padilla, S., Cazora, G., Lacour, J.R. 1985. Influence of body height, weight, hydrostatic lift and training on energy cost of the front crawl. N Z Sports Med. 13, 82-4.
- 33- Silva, A.J., Costa, A.M., Oliveira, P.M., Reis, V.M., Saavedra, J., Perl, J., Rouboa, A., Marinho, D.A. 2007. The use of neural network technology to model swimming performance. J Sports Sci & Med. 6, 117-25.
- 34- McLeod, I. 2010. Swimming anatomy. Human Kinetics, USA.
- 35- Birrer, P. 1986. The shoulder, EMG and the swimming stroke. J Swimming Res. 12, 20-3.



# Predicting sprint performance of front-crawl swimming in young swimmers with an emphasis on biomechanical, muscle architectural and anthropometrical factors

Nasirzade, A. R<sup>1</sup>., Ehsanbakhsh, A. R<sup>2</sup>., Arghavani, H<sup>3</sup>., Aliakbari Beydokhti, M<sup>4</sup>., Moosavi, S. A<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> M.A., Physical Education and Sport Sciences, Birjand University

<sup>2</sup> Ph.D., Department of Radiology, Birjand University of Medical Science

<sup>3</sup> M.A., Physical Education and Sport Sciences, Esfahan University

<sup>4</sup> BA., Physical Education and Sport Sciences, Birjand University

<sup>5</sup> M.A., School of Physical Education and Sport Sciences, Islamic Azad University, Mashhad Branch

## Abstract

Youth swimming performance may be influenced by anthropometric, physiology, and biomechanical factors. The purpose of this study was to analyze the relationships between 50-m front-crawl swimming performance and relevant anthropometrical (body height, body mass, body mass index, arm span, shoulders width, thigh, leg and upper arm lengths), muscle architectural (muscle thickness, pennation angle, and fascicle length) and biomechanical (stroke rate, stroke length, and stroke index) parameters in male young swimmers, with  $13.86 \pm 0.86$  years of age ( $n = 23$ ). Multiple regression analysis was used to examine the variance of the 50 meters front-crawl. Results indicate that stroke index, muscle thickness of Vastus Lateralis, and stroke length explained %89 ( $p < .01$ ) of 50-m front-crawl swimming performance variability in these young male swimmers, and stroke index was the best single predictor of swimming performance ( $R^2=0.519$ ,  $p<0.001$ ). To conclude, performance of young male swimmers in the 50 meters front-crawl is determined predominantly by biomechanical and muscle architectural factors, and must be considered when predicting success in young swimmers.

**Keywords:** Muscle architecture, Stroke index, Anthropometry, Stepwise regression, Front-crawl.