

اثر سطح مهارت شنا بر سینرژی عضلات منتخب طی فعالیت شبیه ساز شنای کرال سینه

محمد حسن جبر الهمالی^۱، شادمهر میردار^۲، فاطمه سالاری اسکر^۳

چکیده

اهداف: بهبود عملکرد طی حرکت شنای کرال سینه سبب بهبود زمان اجرای شناگر می‌شود، بنابراین تعیین الگوی هماهنگی فعالیت عضلات بسیار مهم است. سینرژی عضلانی یکی از روش‌های تعیین رابطه بین سیستم عصبی مرکزی و عضلات بدن است که طی حرکات مختلف شکل می‌گیرد. هدف پژوهش حاضر بررسی اثر سطح مهارت بر الگوی سینرژی عضلانی در فعالیت شبیه ساز شنای کرال سینه بود.

روش مطالعه: پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی بود. ۱۰ شناگر ماهر و ۱۰ شناگر مبتدی در پژوهش حاضر شرکت کردند. فعالیت الکترومایوگرافی عضلات دوسر بازویی، سر خارجی سه سر بازویی، سر دراز سه سر بازویی، خم کننده انگشتان و پشتی بزرگ مورد بررسی قرار گرفت. الگوی سینرژی بر اساس ماتریس فاکتورسازی غیرمنفی (NNMF) استخراج شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در هر دو گروه تعداد سه سینرژی می‌تواند فعالیت عضلات مورد بررسی را حین شنا بازسازی کند. در ارتباط با وزن نسبی عضلات در هر یک از سینرژی‌ها، در سینرژی اول، سر خارجی عضله سه سر بازویی در گروه شناگران غیرماهر وزن بیشتری نسبت به گروه ماهر داشت ($p = 0/001$). در سینرژی دوم، عضله پشتی بزرگ در گروه مبتدی وزن نسبی بزرگتری را نسبت به گروه ورزشکاران ماهر داشت ($p = 0/033$). در سینرژی سوم، بین وزن نسبی عضلات در دو گروه هیچ اختلافی مشاهده نشد.

نتیجه گیری: این یافته‌ها نشان می‌دهد که این تغییرات مشاهده شده استراتژی سیستم عصبی مرکزی است تا بتواند ساختار کلی سینرژی‌ها را محفوظ نگه دارد و در نتیجه عملکرد شناگران را به صورت بهینه حفظ کند.

واژه‌های کلیدی: الکترومایوگرافی، سینرژی عضلانی، شنا، کرال سینه، سطح مهارت

^۱ دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

^۲ استاد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. نویسنده مسئول: sh.mirdar@umz.ac.ir

^۳ استادیار بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

مقدمه

شنا یک ورزش محبوب است زیرا تقریباً تمام اعضای بدن را درگیر می‌کند و کالری زیادی می‌سوزاند، حرکات مفاصل را آسان و وزن را پشتیبانی می‌کند و قدرت عضلات را افزایش می‌دهد (Morales et al., 2019). رقابت‌های شنا در بازی‌های المپیک تابستانی یکی از رویدادهای محبوب و جذاب برای دوستداران ورزش در سراسر جهان است. شناگران همیشه قصد دارند برای سرعت بیشتر، راهی کارآمد برای مقابله با مقاومت سیال پیدا کنند. یک شناگر برای بهبود مهارت‌ها و سرعت آن‌ها نیاز به تمرین زیاد و ساعت‌های طولانی فعالیت زیر آب دارد (Dekerle et al., 2005). در بین چهار ضربه، ضربه کرال سینه بیشترین خستگی عضلانی را در پی دارد و شناگر برای ایجاد نیروی محرکه از چرخش بازو و شانه استفاده می‌کند (Wang et al., 2020). یکی از فاکتورهای کلیدی در عملکرد شنا، هماهنگی کارآمد عضلات بدن حین اجرای حرکات شنا در آب است. بنابراین اطلاعات جامع در ارتباط با هماهنگی عضلانی می‌تواند به مربیان و ورزشکاران کمک کند.

تحلیل هم‌افزایی‌های عضلانی به‌عنوان یک رویکرد جدید و متمایز می‌تواند درک عمیق‌تری از کنترل و هماهنگی عصبی عضلانی و بطور کلی عملکرد یکپارچه گروه‌های عضلانی حین اجرای حرکات شنا ارائه دهد. مفهوم هم‌افزایی عضلانی چارچوبی برای درک استراتژی‌های زیربنایی کنترل عصبی-عضلانی حرکات هماهنگ ارائه می‌دهد. با کاهش تعداد متغیرهای کنترلی مورد نیاز، هم‌افزایی عضلانی و مازول‌های حرکتی یک رویکرد کارآمد و مقرون به‌صرفه برای ایجاد الگوهای فعال‌سازی فضایی-زمانی هماهنگ ارائه می‌دهد. تمرین اختصاصی و متمرکز می‌تواند به تغییراتی در نحوه سازماندهی مازول‌های حرکتی از نظر فضایی و زمان منجر شود. به طور خاص، ورزشکاران نخبه تمایل دارند از مازول‌های حرکتی بیشتری استفاده کنند، همپوشانی کمتری بین عضلات داشته و در مقایسه با مبتدیان در انجام کارهای ورزشی دشوار، الگوهای حرکتی با ثبات‌تری از خود نشان دهند و ممکن است کارایی عضلانی را بهبود بخشیده باشند. توانایی یادگیری حرکات جدید بخش حیاتی و مهم زندگی است. در طی کسب و پیشرفت مهارت‌های ورزشی سیستم عصبی باید چگونگی هماهنگ کردن عضلات مختلف برای ایجاد درجه آزادی مطلوبی از حرکت ایجاد کند (Bernstein., 1967). درک ارتباط میزان پیشرفت در مهارت‌های ورزشی از قبیل شنای کرال سینه می‌تواند در درک اصول اساسی تمرین و ورزش موثر باشد.

ماتریس فاکتورسازی غیرمنفی (NMF^1) که بر اساس مفهوم سینرژی عضلانی برنشتاین (۱۹۶۷) مطرح شد (Bernstein., 1967). این مفهوم برای ارزیابی هماهنگی عضلانی استفاده می‌شود. تحلیل NMF داده‌های الکترومایوگرافی را به دو بخش "سینرژی عضلانی" و "ضرایب فعال‌سازی" تقسیم می‌کند. سینرژی عضلانی نشان‌دهنده هماهنگی بین عضلات است در حالی که ضرایب فعال‌سازی نشان‌دهنده زمان فعال شدن عضلات است. این ترکیب بعنوان سینرژی شناخته شده است و یک تئوری وجود دارد که حرکات انسان با سینرژی‌های متفاوت اجرا می‌شود (Chvatal et al., 2013). فعالیت‌های ورزشی نیز با استفاده از NMF مورد بررسی قرار گرفته است (Esmaeili et al., 2019, Hug et al 2011 & Rossi et al., 2018). بررسی اثر سطح مهارت ورزشی بر هماهنگی عضلانی در برخی از فعالیت‌های ورزشی پایه از قبیل راه رفتن، قایق رانی، پرس سینه در پژوهش‌های پیشین انجام شده (Turpin et al., 2011 & Kristiansen et al., 2015)، اما در ارتباط با این موضوع در رشته شنا توجه چندانی نشده است. ماتسورا و همکاران طی مطالعه خود به بررسی سینرژی‌های

¹ Non-negative matrix factorization

کنترل کننده عضلات حین شنای پروانه پرداختند و دریافتند که تعداد سه سینرژی می تواند فعالیت عضلات را حین شنای پروانه کنترل کند. ماتسورا و همکاران همچنین طی مطالعه دیگری نشان دادند که فعالیت عضلات حین شنای کرال سینه توسط سه سینرژی کنترل می شود (Matsuura et al., 2020 & Matsuura et al., 2024). بدلیل ماهیت بنیادی شنا و پرترفدار بودن این رشته ورزشی، درک سینرژی عضلانی برای کمک به شناگران و مربیان اهمیت پیدا می کند.

اگر اطلاعات مربوط به سینرژی عضلانی طی فعالیت کرال سینه شنا مورد بررسی قرار گیرد، می تواند به مربیان ورزشکاران در چگونگی ماهر شدن در این ماده شنا کمک کند. هدف پژوهش حاضر بررسی اثر سطح مهارت شنا بر سینرژی عضلات منتخب تنه و اندام فوقانی طی ضربه شنای کرال سینه است. فرضیه پژوهش حاضر ایست که الگوی سینرژی عضلانی طی فعالیت شبیه ساز کرال سینه بین شناگران مبتدی و ماهر متفاوت است.

روش شناسی تحقیق

جامعه آماری این پژوهش را شناگران جوان پسر استان مازندران تشکیل می دادند. تعداد ۱۰ نفر از شناگران پسر از جامعه آماری محدود شناگران ماهر استان مازندران (سن: $1/69 \pm 18/29$ سال، قد: $4/36 \pm 173/27$ سانتی متر، جرم: $6/44 \pm 76/14$ کیلوگرم) و ۱۰ نفر شناگر مبتدی (سن: $1/86 \pm 18/43$ سال، قد: $5/38 \pm 171/22$ سانتی متر، جرم: $9/98 \pm 79/42$ کیلوگرم) به صورت هدفمند انتخاب شدند. آزمودنی ها در صورت دارا بودن معیارهای زیر به فرآیند آزمون وارد می شدند: ۱. سابقه ای شش ماه تمرین منظم ورزشی به صورت حداقل سه جلسه تمرین در هفته به مدت ۳۰ دقیقه. ۲. برخورداری از سلامت کامل و بدون بیماری و فاقد هرگونه آسیب یا التهاب مزمن، حساسیت غذایی و دارویی، اختلال در سیستم ایمنی و مشکلات گوارشی، قلبی - عروقی و تنفسی و هرگونه عارضه جسمی و آسیب در اندام های تحتانی و فوقانی و یا سایر نشانه های بیماری. گروه ماهر حداقل سابقه چهار تا شش سال تمرین حرفه ای شنا و شرکت در مسابقات کشوری را داشتند و علاوه بر این سابقه تمرین ۸-۱۲ بار شنا در هفته را داشتند (تقریباً ۱۶-۲۵ ساعت در هفته). شناگران مبتدی ۳-۲ جلسه در هفته تمرین شنا داشتند (تقریباً ۵-۳ ساعت شنا در هفته را شامل می شد) (Vaz et al., 2016).

از شناگران خواسته شد یک هفته قبل از شروع تست در یک جلسه که هر دو گروه از آزمودنی ها حضور داشتند شرکت کنند، موضوع طرح معرفی شد و اهداف و شیوه انجام طرح بیان شد. سپس سن، قد، وزن آزمودنی ها اندازه گیری شد. سپس از آزمودنی ها خواسته شد به منظور انجام هر چه دقیق تر آزمون ۴۸ ساعت قبل از شروع جلسه آزمون از مصرف مکمل غذایی، دارو، قهوه، دخانیات و کافئین خودداری کنند و همچنین ۲۴ ساعت قبل از انجام آزمون ها از انجام تمرین سنگین و ۳ ساعت قبل از آزمون از خوردن هر گونه مواد غذایی خودداری کنند و همچنین خواسته شد روز قبل از اجرای آزمون الگوهای خواب طبیعی (حداقل ۸ ساعت خواب) و الگوهای فعالیت های روزانه رعایت شود و وعده های غذایی روز آزمون کنترل شد. کلیه آزمودنی ها فرم رضایت نامه را پیش از شروع تحقیق امضا کردند. این پژوهش بوسیله کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه مازندران مورد تایید قرار گرفت.

دستگاه الکترومیوگرافی هشت کاناله بایومتریک ساخت انگلستان (EMG system biometrics Ltd. UK) به منظور اندازه گیری الگوی فعالیت عضلات به کار رفت. الکترودهای دستگاه از جنس کلرید نقره بود. قبل از شروع اندازه گیری ابتدا آماده سازی آزمودنی جهت ثبت فعالیت عضلانی عضلات دوسر بازویی، سر خارجی سه سر بازویی، سر دراز سه سر بازویی، خم کننده انگشتان و پشتی بزرگ انجام شد که غالباً در تحقیقات بررسی فعالیت عضلانی

طی شنای کرال سینه به آن توجه می‌شود. ابتدا تعیین نواحی مدنظر عضله‌ها با استفاده از دستورالعمل سنایم (SENIAM) صورت گرفت (Hermens et al., 1999). بعد از مشخص شدن مناطق الکتروگذاری، به منظور کاهش مقاومت پوست، نواحی شیو و سپس با الکل تمیز شد. در مرحله بعد، الکترودهای سطحی نقره-کلریدنقره با فاصله مرکز تا مرکز ۲۰ میلی‌متر روی محل‌های مشخص شده قرار گرفت. ثبت اطلاعات با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز انجام پذیرفت. نحوه اجرای حرکت کرال سینه شنا با استفاده از دستگاه شبیه ساز شنای کرال سینه صورت گرفت (شکل ۱).



شکل ۱: دستگاه شبیه ساز شنای کرال سینه

پنج سیکل شنای کرال سینه برای بررسی نهایی انتخاب شد. از یک الکتروگونیاور سه بعدی برای جدا کردن سیکل‌های شنا استفاده شد. سیکل شنا با موازی شدن دستان با سطح به سمت جلو (زاویه اکستنشن کامل مفصل آرنج) شروع می‌شد و با همان حالت سیکل تمام شده و سیکل جدید شروع می‌شد. نحوه انتخاب سیکل‌ها داده‌های خام با فیلتر میان گذر باترورث مرتبه چهارم ۲۰ تا ۴۵۰ هرتز فیلتر شدند. سپس دیتا فیلتر شده یکسوسازی و به نقاط اوج بدست آورده برای هر عضله نرمالیز شد. تمامی مراحل مربوط به آنالیز و محاسبه داده‌ها در محیط نرم افزار متلب (MATLAB R2020, MstbWorks, Ins) صورت گرفت. متداول‌ترین روش فاکتورسازی جهت استخراج و تحلیل هم‌افزایی عضلانی، روش NMF است. در این الگوریتم، الگوهای فعال‌سازی عضلانی «Mt» از طریق حاصلضرب جزء فضایی ثابت «Wi» و جزء زمانی متغیر «Ci» بازسازی می‌شوند (Schoenfeld et al., 2015).

$$M(t) = \sum_{i=1}^{N_{syng}} W_i C_i(t) + e(W_i \geq 0, C_i \geq 0)$$

در رابطه M، الگوهای فعال‌سازی عضلات یا همان سیگنال EMG بازسازی شده، یک ماتریس با m سطر (تعداد عضله) و n ستون (نقاط زمانی) می‌باشد. W، وزن یا سهم نسبی هر عضله در هر هم‌افزایی، یک ماتریس با m سطر (تعداد عضله) و k ستون (تعداد هم‌افزایی) می‌باشد. ماتریس C، شامل هم‌افزایی‌های زمانی می‌باشد، یک ماتریس با k سطر (تعداد سینرژی) و n ستون (نقاط زمانی) می‌باشد. e نیز یک ماتریس با m سطر و n ستون، نشان دهنده خطای بازسازی الگوی فعال‌سازی هر عضله در هر نقطه زمانی می‌باشد.

$$[M]_{m \times n} = [W]_{m \times k} \times [C]_{k \times n} + [e]_{m \times n}$$

عملکرد یک روش فاکتورسازی به شدت به واریانس سیگنال‌های EMG ثبت شده بستگی دارد. شمول واریانس (VAF)^۱ معمولاً برای تعیین مقدار دقیق سیگنال بازسازی شده، استفاده می‌شود (رابطه زیر). همچنین از VAF برای تعیین حداقل تعداد هم‌افزایی مورد نیاز برای بازسازی الگوهای فعال‌سازی عضلات برای هر وظیفه حرکتی استفاده می‌شود.

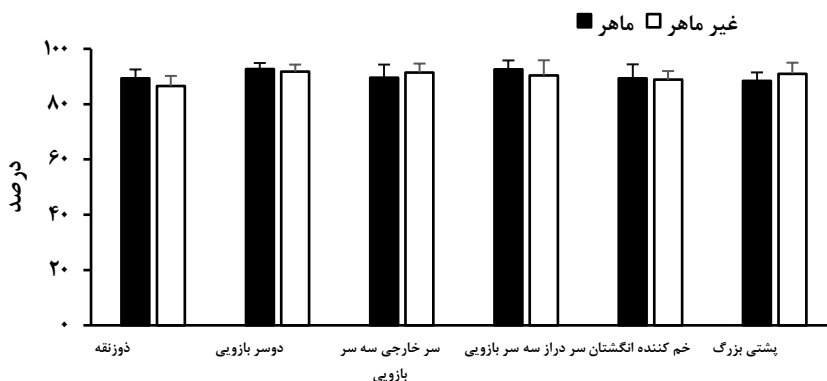
$$VAF = 1 - \frac{||EMG - W * C||^2}{||EMG||^2}$$

VAF صددرصد، نشان دهنده بازسازی صددرصد سیگنال EMG در حال پردازش است. کمترین تعداد سینرژی که بتواند بیش از ۹۰ درصد VAF کلی و بیش از ۷۵ درصد VAF را در هر عضله تشکیل دهد، بعنوان تعداد مطلوب هم‌افزایی تعیین شد (Hajiloo et al., 2020).

در ابتدا داده‌های مربوط به وزن نسبی عضلات در سینرژی‌های مختلف برای بررسی نرمال بودن، توسط آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها، از آزمون تحلیل واریانس سنشش مکرر برای مقایسه وزن نسبی عضلات در سینرژی‌های مختلف استفاده شد. از روش هولم-بنفرونی برای کنترل نرخ خطای Family-wise استفاده شد. برای مقایسه سینرژی‌ها، از روش مشابهت کسینوسی (Cosine Similarity, CS) استفاده شد. در این روش، اگر مقدار مشابهت بین ۰/۴۹ - ۰ بود به معنی مشابهت کوچک، ۰/۶۹ - ۰/۵ به معنی مشابهت متوسط و ۱ - ۰/۷ به معنی مشابهت بزرگ بین دو سینرژی بود. تحلیل‌های آماری توسط نرم افزارهای متلب و SPSS انجام شد. سطح معناداری برای مقایسه وزن نسبی عضلات در سینرژی‌ها مختلف (p = ۰/۰۵) در نظر گرفته شد.

نتایج

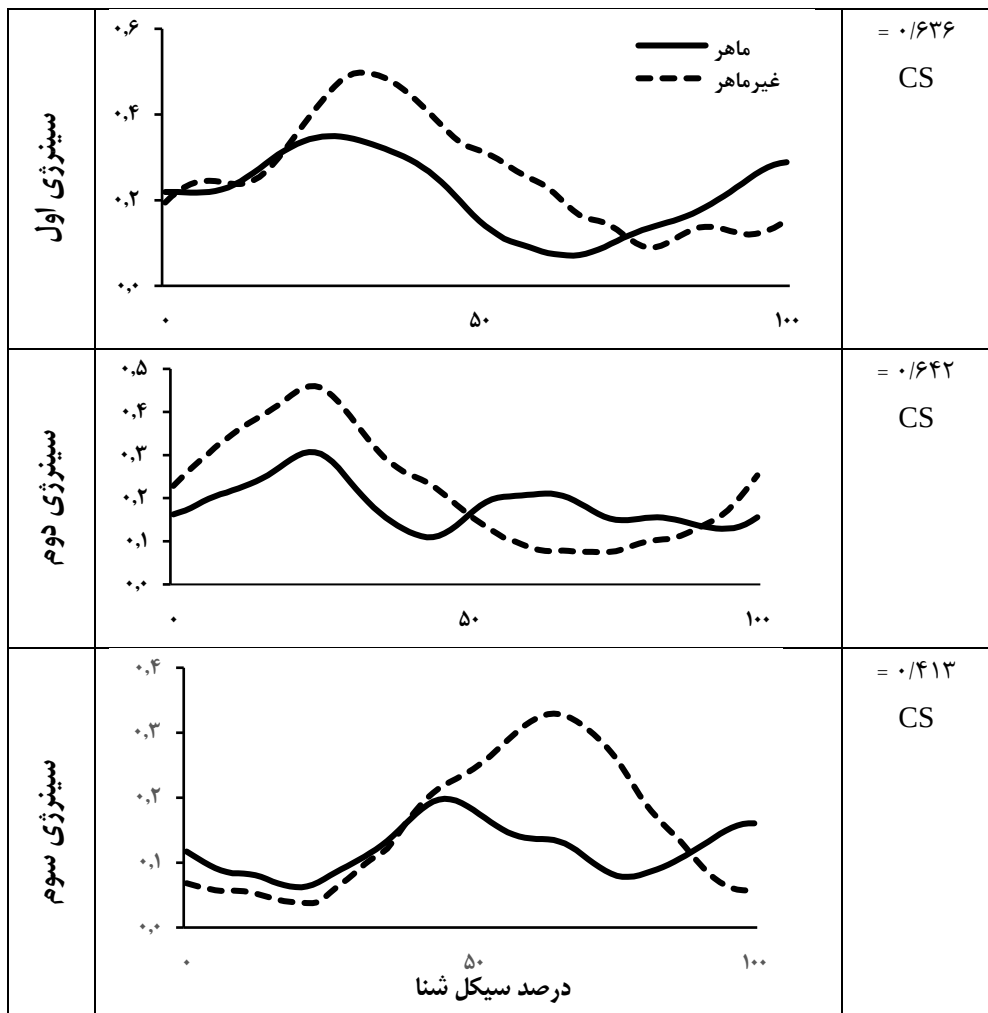
نتایج VAF نشان داد که در هر دو گروه تعداد ۳ سینرژی می‌تواند فعالیت عضلات مورد بررسی را حین شنا بازسازی کند.



شکل ۲. نتایج VAF برای نشان دادن تعداد سینرژی مورد نیاز برای بازسازی سیگنال اصلی

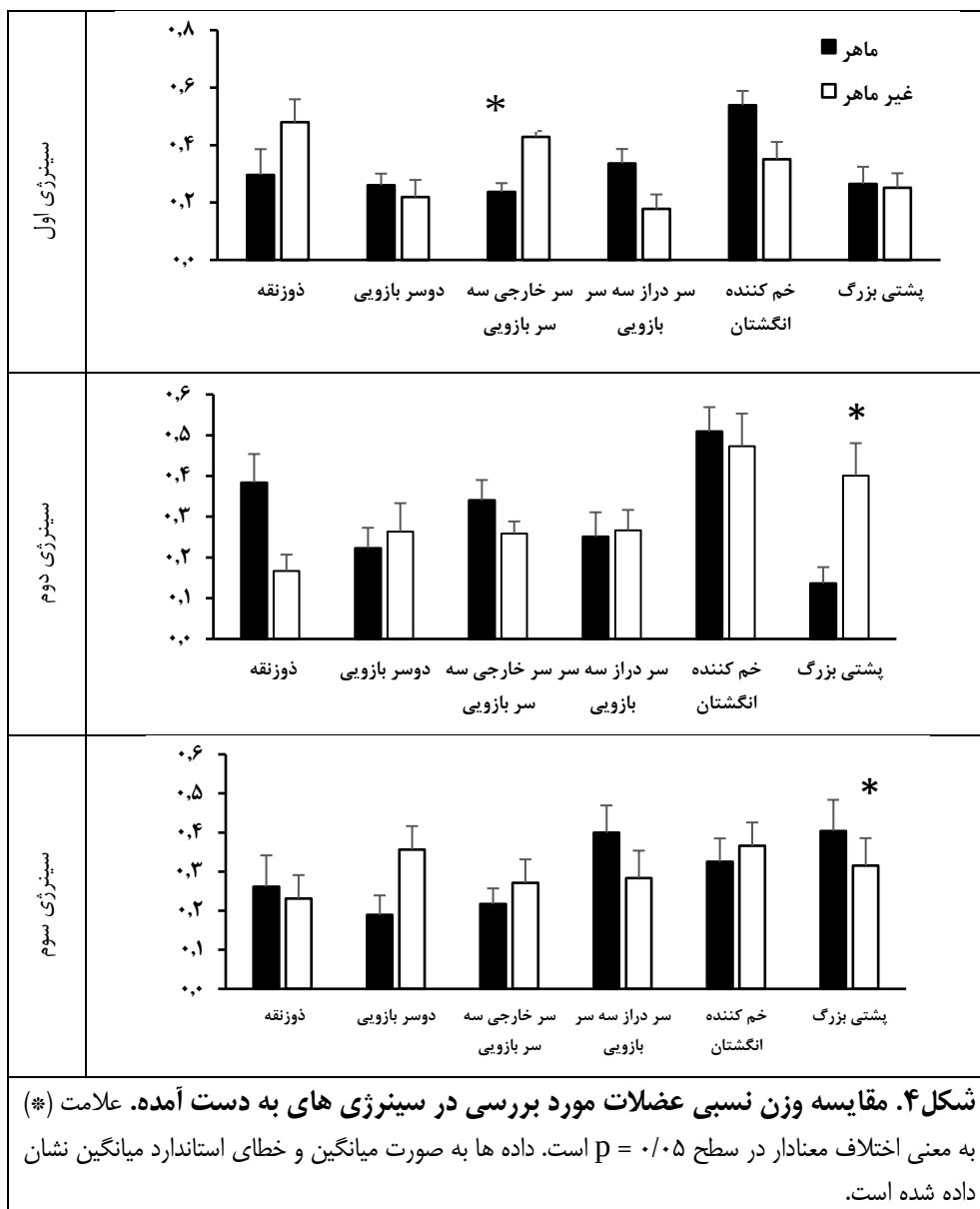
¹ Variance Accounted For

شکل ۳ نشان‌دهنده الگوهای فعالسازی سینرژی‌های به دست آمده در دو گروه شناگران ماهر و غیرماهر است. برای مقایسه دو گروه از مشابهت کوسینوسی استفاده شد. همانطور که ملاحظه می‌شود، دو گروه در سینرژی اول مشابهتی برابر با $CS = 0/636$ نشان می‌دهند. این مقدار نشان‌دهنده مشابهت متوسطی است. در سینرژی دوم، مشابهتی برابر با $CS = 0/642$ مشاهده شد که نشان‌دهنده مشابهت متوسطی است. در سینرژی سوم، مشابهتی برابر با $CS = 0/413$ به دست آمد، این مقدار نشان‌دهنده مشابهت پایین بین دو سینرژی است.



شکل ۲. مقایسه الگوهای فعالسازی سینرژی‌های به دست آمده در دو گروه شناگران ماهر و غیرماهر. CS به معنای مشابهت کوسینوسی است. محور عمودی نشان‌دهنده شدت فعالیت سینرژی حین سیکل شنا است.

شکل ۴ نشان دهنده وزن نسبی عضلات در هر یک از سینرژی‌ها است. همانطور که ملاحظه می‌شود، در سینرژی اول، سر خارجی عضله سه سر باوزی در گروه ورزشکاران غیرماهر وزن بیشتری نسبت به گروه ورزشکاران ماهر از خود به نمایش می‌گذارد ($p = 0/01$). در سینرژی دوم، عضله پستی بزرگ در گروه ورزشکاران غیر ماهر وزن نسبی بزرگتری را نسبت به گروه ورزشکاران ماهر از خود به نمایش می‌گذارند ($p = 0/33$). در سینرژی سوم، بین وزن نسبی عضلات در دو گروه هیچ اختلافی مشاهده نشد.



بحث و بررسی:

هدف از مطالعه حاضر مقایسه سینرژی عضلانی شناگران ماهر و غیرماهر طی فعالیت شبیه‌ساز شنا بود. در ارتباط با سینرژی‌های عضلات بین شناگران ماهر و غیر ماهر، نتایج نشان داد که حین شنا کردن برای هر دو گروه ماهر و غیر ماهر، تعداد سه سینرژی برای بازسازی سیگنال اصلی کفایت می‌کند. همسو با نتایج این مطالعه ماتسورا و همکاران نشان دادند که حین شنای زیر آب تعداد سه سینرژی برای بازسازی سیگنال اصلی کافی است (Matsuura et al., 2020 & Matsuura et al., 2024). همسو با این دو مطالعه، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که سه سینرژی حین انجام شنا برای بازسازی سیگنال اصلی کافی است. در سینرژی اول، عضلات خم کننده انگشتان، دوزنقه و سرخارچی عضله سه سر بازویی بیشتر فعال شدند و در این سینرژی مسئول فعالسازی این سینرژی هستند. علاوه بر این، این سینرژی در محدوده ۲۵ تا ۳۵ درصدی سیکل شنا به حداکثر فعالیت خود می‌رسد. این امر نشان می‌دهد که در نیمه ابتدایی سیکل شنا این سینرژی فعال می‌شود. در ارتباط با سینرژی اول، ماتسورا و همکاران که در مطالعه خود عضلات راست شکمی، مورب داخلی، راست رانی، راست کننده ستون فقرات، چند سر، درشت نئی قدامی، دوسر رانی و دوقلو را مورد بررسی قرار دادند، نشان دادند که سینرژی اول در تیلت لگن حین انتقال از ضربه به سمت بالا تا ضربه به سمت پایین دخیل است (Matsuura et al., 2020). با توجه به فعالیت عضلات در سینرژی اول، آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که سینرژی اول مهم‌ترین سینرژی برای بهبود سرعت شنا و کارایی نیروی پیشران است. در سینرژی دوم، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که عضلات خم کننده انگشتان و پستی بزرگ بیشتر فعالیت می‌کنند و این دو عضله مسئول فعالسازی این سینرژی هستند. طی مطالعه ماتسورا و همکاران، در سینرژی دوم عضلات راست کننده ستون فقرات، چندسر و درشت نئی قدامی در سینرژی دوم بیشتر فعال بودند و مسئولیت فعالسازی سینرژی دوم را بر عهده داشتند. آن‌ها این سینرژی را مسئول برگرداندن لگن به سمت تیلت قدامی برای ضربه به عقب دانستند. در اینجا، عضلات خم کننده انگشتان و پستی بزرگ برای آماده کردن دست برای شروع کشش آب به عقب آماده می‌شوند. همچنین عضله پستی بزرگ برای کمک به وضعیت ستون فقرات نیز می‌تواند کمک کننده باشد. در سینرژی سوم عضلات پستی بزرگ، سر خارچی عضله سه سر بازویی و دوسر بازویی بیشتر فعالیت داشتند. این سه عضله مسئول فعالسازی سینرژی سوم هستند. این سینرژی در نیمه دوم سیکل شنا فعال می‌شود و در میانه نیمه دوم متوقف می‌شود. همسو با ماتسورا و همکاران، سینرژی سوم که در میانه نیمه دوم سیکل شنا فعال می‌شود، مسئول ایجاد نیروی پیش ران است (Matsuura et al., 2020). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که علیرغم استخراج سه سینرژی لازم برای کنترل سیستم عصبی مرکزی روی انجام شنا در هر دو گروه شناگران ماهر و غیر ماهر، بین وزن نسبی عضلات مورد بررسی و الگوهای فعالسازی سینرژی‌ها اختلافاتی وجود دارد. در سینرژی اول، بین الگوی فعالسازی دو گروه شناگران ماهر و غیرماهر، مشابهت سینوسی برابر با $CS=0/636$ مشاهده شد. در این سینرژی، وزن نسبی سرخارچی عضله سه سر بازویی بین دو گروه متفاوت بود به طوریکه وزن نسبی این عضله در گروه شناگران غیرماهر بیشتر بود. در سینرژی دوم، مشابهت متوسط بین الگوی فعالسازی سینرژی بین دو گروه شناگران ماهر و غیرماهر مشاهده شد ($CS=0/642$). در این سینرژی وزن نسبی عضله پستی بزرگ در گروه شناگران غیرماهر از شناگران ماهر بزرگتر بود. در سینرژی سوم، مشابهت بین الگوی فعالسازی سینرژی بین دو گروه مقدار متوسطی داشت ($CS=0/413$)، در این سینرژی نیز وزن نسبی عضله پستی بزرگ بین دو گروه متفاوت بود، به طوریکه این مقدار در گروه شناگران غیرماهر از شناگران ماهر کوچکتر

بود. این نتایج نشان می‌دهد که ساختار کلی سینرژی‌ها که همان تعداد سینرژی‌های مستخرج است بین دو گروه شناگران ماهر و غیرماهر یکسان است و تنها بین الگوی فعالسازی سینرژی‌ها بین دو گروه اختلافاتی وجود داشت. با این حال، با توجه به اینکه مشابهت متوسطی بین الگوهای فراخوانی ملاحظه شد، نمی‌توان بیان کرد که سینرژی‌های شاگران ماهر با شناگران غیرماهر متفاوت هستند. ساختار کلی سینرژی‌ها با تعداد سینرژی‌ها مشخص می‌شود (Ivanenko et al., 2004). با توجه به اینکه ساختار سینرژی‌ها در دو گروه یکسان است، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که هر دو گروه از ساختار یکسانی برای کنترل عضلات حین شنا استفاده می‌کنند. وزن نسبی سر خارجی عضله دوسر بازویی در سینرژی اول و وزن نسبی عضله پشتی بزرگ در سینرژی‌های دوم و سوم بین دو گروه متفاوت بود. به نظر می‌رسد اختلاف در وزن نسبی این عضلات در سینرژی‌ها می‌تواند دلیل مشابهت متوسط بین الگوهای فعالسازی سینرژی‌ها در دو گروه باشد. با این حال، نشان داده شده است که سازماندهی سینرژی‌های عضلانی حین شنا تحت تاثیر تجربه و مهارت شناگران قرار نمی‌گیرد ولی زمان‌بندی سینرژی‌ها تحت تاثیر مهارت قرار می‌گیرد (Vaz et al., 2016). به نظر می‌رسد که تفاوت در وزن نسبی عضلات که در عضلات پشتی بزرگ و سر خارجی عضله سه سر بازویی مشاهده شد دلیل وجود اختلاف زمانی بین حداکثر فعالسازی سینرژی‌ها و کاهش مشابهت الگوهای فعالسازی سینرژی‌ها باشد.

نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های ماتسورا و همکاران همسو نبود. ماتسورا و همکاران طی مطالعه خود به بررسی سینرژی‌های کنترل‌کننده عضلات حین شنای پروانه پرداختند و دریافتند که تعداد سه سینرژی می‌تواند فعالیت عضلات را حین شنای پروانه کنترل کند. برای این عدم همسویی می‌توان به رشته‌شنای مورد بررسی اشاره کرد که در مطالعه حاضر شنای کرال سینه مورد بررسی قرار گرفته است، در حالیکه ماتسورا و همکاران شنای پروانه را مورد بررسی قرار داده است (Matsuura et al., 2022). یاماکاوا و همکاران نیز در مطالعه خود که به بررسی سینرژی‌های عضلات حین شنای پروانه پرداختند، نشان دادند که تعداد پنج سینرژی می‌تواند فعالیت عضلات شناگران ماهر و غیرماهر را کنترل کند (Yamakawa et al., 2024).

از جمله محدودیت‌های پژوهش حاضر، تعداد عضلات مورد بررسی و ناحیه آن‌ها به عضلات اندام فوقانی محدود شد که باید عضلات دیگر نیز مورد بررسی قرار می‌گرفت. دستگاه شبیه ساز باید از نظر روایی و پایایی مورد بررسی قرار بگیرد. با این حال با استفاده از همین دستگاه اختلافاتی بین شناگران ماهر و غیرماهر مشاهده شد که می‌تواند نشان‌دهنده توانایی این دستگاه برای شناسایی افراد ماهر و غیرماهر باشد.

نتیجه‌گیری

بطور کلی، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تعداد سه سینرژی می‌تواند فعالیت عضلات شناگران ماهر و مبتدی را کنترل کند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که این تغییرات مشاهده شده استراتژی سیستم عصبی مرکزی است تا ساختار کلی سینرژی‌ها را محفوظ نگه دارد تا بتواند عملکرد شناگران را به صورت بهینه حفظ کند.

تضاد منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

Bernstein, N., The co-ordination and regulation of movements. Pergamon Press Ltd, 1967

- Chvatal, S.A. and L.H. Ting, Common muscle synergies for balance and walking. *Frontiers in computational neuroscience*, 2013. **7**: p. 48.
- Dekerle, J., et al., Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady
- Esmaeili, J. and A. Maleki, Comparison of muscle synergies extracted from both legs during cycling at different mechanical conditions. *Australasian physical & engineering sciences in medicine*, 2019. **42**: p. 827-838.
- Hajiloo, B., et al., The effects of fatigue on synergy of selected lower limb muscles during running. *Journal of Biomechanics*, 2020. **103**: p. 109692.
- Hermens, H.J., et al., European recommendations for surface electromyography. *Roessingh research and development*, 1999: 8 (2): p. 13-54 .
- Hug, F., et al., Consistency of muscle synergies during pedaling across different mechanical constraints. *Journal of neurophysiology*, 2011. **106**(1): p. 91-103.
- Ivanenko, Y.P., R.E. Poppele, and F. Lacquaniti, Five basic muscle activation patterns account for muscle activity during human locomotion. *The Journal of physiology*, 2004. **556**(1): p. 267-282.
- Kristiansen, M., et al., Inter-subject variability of muscle synergies during bench press in power lifters and untrained individuals. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 2015. **25**(1): p. 89-97.
- Matsuura, Y., et al., Comparison of muscle coordination during front crawl and backstroke with and without swimmer's shoulder pain. *Sports Health*, 2024. **16**(1): p. 89-96.
- Matsuura, Y., et al., Difference in muscle synergies of the butterfly technique with and without swimmer's shoulder. *Scientific reports*, 2022. **12**(1): p. 14546.
- Matsuura, Y., et al., Muscle synergy of the underwater undulatory swimming in elite male swimmers. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2020. **2**: p. 62.
- Morales, A.T., J.A. Tamayo Fajardo, and H. González-García, High-speed swimsuits and their historical development in competitive swimming. *Frontiers in Psychology*, 2019. **10**: p. 2639.
- Rossi, S., et al., Muscle synergies: use and validation in clinics, robotics, and sports. *Appl Bionics Biomech*, 2018. **2018**: p. 6345256.
- Schoenfeld, B.J., et al., Regional differences in muscle activation during hamstrings exercise. *The Journal of strength & conditioning research*, 2015. **29**(1): p. 159-164.
- Turpin, N.A., et al., No evidence of expertise-related changes in muscle synergies during rowing. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2011. **21**(6): p. 1030-1040.
- Vaz, J.R., et al., Muscle coordination during breaststroke swimming: comparison between elite swimmers and beginners. *Journal of sports sciences*, 2016. **34**(20): p. 1941-1948.
- Wang, H. Analysis of Influencing Factors of Swimming Speed Mechanics Based on Computer Technology. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. IOP Publishing.

Yamakawa, K.K., R. Nishiwaki, and Y. Sengoku, Muscle Coordination During Maximal Butterfly Stroke Swimming: Comparison Between Competitive and Recreational Swimmers. *Journal of Applied Biomechanics*, 2024. 1(aop): p. 1-10.

The Effect of Swimming Skill Level on Selected Muscle Synergy During Swimming Simulator Activity

Mohammad Hasan Jebur Al-Hilali¹, Shadmehr Mirdar^{1*}, Fateme Salari-Esker²

1 Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, University of Mazandaran, Mazandaran, Iran.

2 Department of Motor Behavior and Sports Biomechanics, Faculty of Sports Sciences, University of Mazandaran, Mazandaran, Iran.

***Corresponding author:** sh.mirdar@umz.ac.ir

Abstract

Objectives: Improving performance during crawl swimming leads to improving swimming time. Therefore, determining the pattern of muscle coordination during crawl is very important. Muscle synergy is one of the methods to determine the relationship between the central nervous system and the muscles that is formed during different movements. The aim of the present study was to investigate the effect of skill level on the pattern of muscle synergy in simulated crawl swimming activity.

Methods: 10 skilled and 10 beginner swimmers participated in the present study. The electromyographic activity of the biceps brachii, lateral head of the triceps brachii, and long head of the triceps brachii, flexor digitorum, and latissimus dorsi muscles were examined. The synergy pattern was extracted based on the non-negative factorization matrix (NNMF).

Results: The results showed that in both groups, 3 synergies could reproduce the activity of the muscles during crawl swimming. Regarding the relative muscles weight, in the first synergy, the lateral head of the triceps brachii muscle in the novice swimmers had a greater weight than in the skilled group ($p = 0.001$). In the second synergy, the latissimus dorsi muscle in the novice group had a greater relative weight than in the elite athletes ($p = 0.033$). In the third synergy, no difference was observed between groups.

Conclusion: These findings suggest that these observed changes are a strategy of the central nervous system to preserve the overall structure of synergies in order to maintain optimal swimmer performance.

Key words: Electromyography, Muscle Synergy, Swimming, Crawl, Level of Skill