

ارزیابی عملکرد ووشوکاران با اندازه‌گیری میزان پیچیدگی سیستم

علی تنباکوساز^{۱*}، مصطفی رستمی^۲، فرهاد طباطبایی^۳، مهدی علی‌نژاد^۴، حامد قماشچی^۵

چکیده

هدف: تعدد درجات آزادی در سیستم‌های بیولوژیک منشاء تغییرپذیری و نشان دهنده سلامت سیستم، انعطاف‌پذیری و توانایی آن برای تطبیق‌پذیری با محدودیت‌های مختلف فردی، محیطی و نوع فعالیت است. روش‌های کیفی ارزیابی دینامیک سیستم‌های غیرخطی که در دو دهه اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند، با کمی‌سازی پیچیدگی الگوهای حرکتی، میزان تغییرپذیری سیستم را برآورد می‌کنند. در این مطالعه توان این معیار در ارزیابی میزان مهارت ورزشکاران در انجام مانورهای مختلف وضعیتی و در برجسته‌سازی تفاوت‌های بین گروهی مورد بررسی قرار گرفته است.

روش بررسی: هشت ووشوکار دعوت شده به اردوی تیم ملی ایران در این مطالعه شرکت کرده و براساس مدارج ورزشی کسب شده، به دو گروه چهارنفری ورزشکاران نخبه و ورزشکاران ماهر تقسیم گردیدند. نوسان‌های وضعیتی آنان حین انجام چهار مانور تعادلی نمایشی سبک تالو ورزش ووشو توسط سکوی نیرو ثبت شد و پیچیدگی نوسان‌های وضعیتی در دو راستای قدامی- خلفی و جانبی با استفاده از شاخص آنتروپی تقریبی محاسبه گردید.

یافته‌ها: نتایج بدست آمده تفاوت معنادار بین گروهی در راستای قدامی- خلفی را نشان داده در حالی که در راستای جانبی تفاوتی بین پیچیدگی نوسان‌های جانبی دو گروه مشاهده نشد. نتایج همچنین از تفاوت چشمگیر بین مانورها حکایت داشتند.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها حاکی از این هستند که ورزشکاران نخبه نسبت به گروه دیگر از مهارت و انعطاف‌پذیری بیشتری در انجام مانورها برخوردارند و این قابلیت در توانایی بهتر آنان برای کنترل درجات آزادی موثر در کنترل حرکت و برای هماهنگ‌سازی زیر-سیستمها، برای نیل به یک وضعیت پایدار و غنی تعادلی نهفته است.

کلید واژه‌ها: دینامیک غیرخطی، تغییرپذیری، الگوی حرکت، ووشو

پذیرش مقاله: ۹۱/۱۲/۱۴

دریافت مقاله: ۹۱/۱۱/۰۱

- ۱- دانشجوی دکترای تخصصی رشته مهندسی پزشکی گرایش بیومکانیک، دانشکده مهندسی پزشکی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی
- ۲- دانشیار دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- ۳- استادیار دانشکده مهندسی پزشکی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی
- ۴- فدراسیون ووشووی جمهوری اسلامی ایران
- ۵- استادیار دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

* آدرس نویسنده مسئول:

تهران، پونک، بلوار عدل، گلزار یکم غربی، دانشکده مهندسی پزشکی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی
 * تلفن: ۰۹۱۲۱۸۲۶۲۴

* رایانامه: a_tanbakoosaz@yahoo.com



مقدمه

زاید بوده و مهارت آموزی مستلزم قبض و بسط^۵ بهنگام درجات آزادی می باشد (۳، ۴، ۸). تعدد درجات آزادی امکان بهره گیری از زیرمجموعه های متفاوتی از درجات آزادی را برای انجام یک حرکت هماهنگ تطبیق پذیر و بهینه فراهم می آورد و نه تنها ایراد سیستم عصبی-عضلانی-اسکلتی محسوب نمی شود، بلکه وجود تغییرپذیری کنترل پذیری^۶ و تطبیق پذیری^۷ حرکت را افزایش می دهد و نشان می دهد که سیستم کنترل حرکت برای انجام یک فعالیت متکی بر برنامه های خشک^۸ نیست هرچند که مراحل اولیه مهارت آموزی را دشوار می کند (۴، ۷-۱۰). در سیستم های دینامیکی غیرخطی هنگامی که جاذبی برای سیستم قابل حصول است حالت پایای غیر تعادلی^۹ نشاندهنده تغییرپذیری سیستم دینامیکی است و در شکل جاذب^{۱۰} قابل مشاهده است (نظیر شکل جاذب سیستم دینامیکی لورنز که علیرغم اشغال ناحیه معینی از فضا، تراژکتورهای عیناً تکرار نمی شوند) (۱۱) اما در مواردی که با سیستمی پیچیده و در ابعاد بالا نظیر سیستم کنترل وضعیت روبرو هستیم (۱۲)، تغییرپذیری از روی سری زمانی تغییرات یکی از خروجی های سیستم اندازه گیری می شود و از آن تحت عنوان پیچیدگی^{۱۱} یاد می شود. در محاسبه پیچیدگی اندازه گیری می شود که تا چه حد نظم در تولید داده ها نقش داشته و تغییرات تا چه حد قابل پیش بینی^{۱۲} هستند و مقدار بهینه آن حدی بین تکرار شوندگی کامل^{۱۳} و کاملاً تصادفی بودن^{۱۴} می باشد (۷، ۱۰). در این مطالعه این پرسش که چگونه ورزشکاران می توانند برای انجام مانورهای پیچیده، درجات آزادی متعدد سیستم کنترل حرکت را با هم هماهنگ کنند، از منظر دینامیک غیر خطی مورد بررسی قرار گرفته است. برای ارزیابی سیستم کنترل حرکت اجزای سیستم را از هم منفک نکرده و خروجی سیستم دینامیکی کنترل وضعیت در قالب نوسانهای وضعیتی حین انجام مانورهای متعدد سبک نمایشی (سبک تالو^{۱۵}) ورزش ووشو اخذ گردیده است. سری های زمانی نوسانهای وضعیتی نشان دهنده دینامیک حاکم بر سیستم کنترل حرکت می باشند، زیرا دینامیک یک سیستم در رفتار تک تک متغیرهای سیستم تجلی پیدا می کند (۱۱). اندازه گیری کمی نوسانهای وضعیتی توسط اندازه گیری جابجایی های مرکز جرم^{۱۶} و یا مرکز فشار^{۱۷} بدن انجام می گیرد. سری های زمانی جابجایی های مرکز فشار که به دلیل سهولت اندازه گیری و دقت بالا به کرات به عنوان ابزاری مناسب در مطالعات تحقیقاتی سیستم کنترل وضعیت و همچنین مطالعات تشخیصی و درمانی اختلالات کنترل تعادلی بکار گرفته می شوند، در این مطالعه نیز مورد استفاده قرار گرفته اند.

امروزه مدل سازی سیستم های اسکلتی-عضلانی در بیومکانیک ورزش به منظور بهبود، بهینه سازی و همچنین ارزیابی عملکرد ورزشکاران استفاده وسیعی یافته است (۱، ۲). اگرچه مدل های اسکلتی-عضلانی چندعضوی-چندمفصلی توانسته اند در آشکارسازی مکانیزم های دخیل در انجام و کنترل حرکت مثرتر واقع شوند، اما با نواقص عمده ای روبرو هستند. این مدل ها درجات آزادی را محدود کرده و مهم تر از آن تعاملات بین سطوح مختلف بیولوژیک را نادیده می گیرند. اما حرکت از سیستمی یکپارچه با ساختار کنترلی سلسله مراتبی^۱ نشأت می گیرد که در آن قیود فیزیولوژیکی، عصبی و بیومکانیکی در تعامل با یکدیگر هستند و یک مانور خاص نتیجه عملکرد مجزای عناصر منفرد نمی باشد، بلکه نتیجه عملکرد مشترک این عناصر می باشد و لذا نمی توان مکانیک حرکت را مجزای از سایر سیستم های فیزیولوژیک دخیل در کنترل حرکت مورد بررسی قرار داد (۳، ۴). تنوع سیستم های حسی درگیر و مکانیزم های دخیل در کنترل وضعیت، تعاملات بین اجزای سیستم و همچنین بین سیستم و محیط، و اثرپذیری آنها از یکدیگر و تنوع اغتشاش های اعمالی محققان را به این نتیجه رسانده که کنترل حرکت نتیجه تعامل بین سیستم های متعدد فیزیولوژیک، نوع فعالیت و محیط بوده و حتی در صورت شناسایی کلیه عوامل موثر در کنترل حرکت نمی توان مرز مشخصی را برای هر یک از آنها قائل شد (۳-۶). این خصوصیات استفاده از روش های کیفی ارزیابی سیستم های دینامیکی نظیر سیستم های بیولوژیک را توجیه پذیر می کند (۷). برای انجام حرکت، سیستم عصبی فعالیت محاسباتی پیچیده ای را انجام می دهد که طی آن مسیر حرکتی مطلوب به مجموعه ای از فرامین عصبی مناسب برای ارسال به عضلات و حرکت دادن مکانیزم چند عضوی تبدیل می شود. قابلیت سیستم عصبی در ارائه راه حل های متفاوت به یک مساله خاص منجر به ایجاد انعطاف پذیری^۲ در مواجهه با محدودیت های متغیر و غیر قابل پیش بینی می گردد. به عنوان مثال سیستم عصبی مرکزی برای انجام یک مانور ساده از ترکیبات متنوعی از تغییرات زاویه ای در مفاصل و فعالیت های عضلانی با نسبت های متفاوت در گروه های مختلف سینرژیک استفاده می کند (۶) که عنوان تغییر پذیری^۳ در انجام حرکت به آن اطلاق شده است (۵). از این مساله همچنین تحت عنوان مساله درجه آزادی در کنترل و هماهنگی حرکت یاد شده و انجام حرکات هماهنگ^۴ و ماهرانه مستلزم چیرگی و تسلط بر درجات آزادی

- | | | | | |
|--------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 1- Hierarchical | 2- Flexibility | 3- Variability | 4- Coordinated movement | 5- Freezing and releasing |
| 6- Controllability | 7- Adoptability | 8- Rigid programs | 9- Non-equilibrium steady state | 10- Attractor |
| 11- Complexity | 12- Predictable | 13- Completely repeatable | 14- Complete randomness | 15- Taolu |
| 16- Center of Mass (COM) | | 17- Center of Pressure (COP) | | |

ارزیابی عملکرد ووشوکاران با اندازه‌گیری میزان پیچیدگی سیستم



مهارت یعنی انجام وجود انعطاف پذیری در انجام حرکات خوب تمرین شده با استراتژی‌های منتخب و تنظیمات دقیق در مواجهه با شرایط مختلف محیطی که سبب افزایش تغییرپذیری و به تبع آن سبب افزایش پیچیدگی در الگوهای حرکتی می‌شود. در این مطالعه از معیار پیچیدگی برای ارزیابی عملکرد ووشوکاران سبک تالو در دو گروه نخبه و ماهر استفاده شده، تا توان این معیار در تشخیص تفاوت‌های ریز عملکردی بین دو گروه که سبب کسر امتیاز در مسابقات می‌گردد آشکار شود. از این معیار در مطالعات ورزشی متعدد جهت بررسی عملکرد ورزشکاران پرش سه گام (۱۳)، بسکتبالیست‌ها (۱۴)، رقصنده‌های باله و ورزشکاران دوی میدانی (۱۵) استفاده شده است.

ورزشکاران نخبه و ماهر تقسیم شدند. معیار انتخاب برای قرارگیری در گروه نخبگان دارا بودن حداقل یک مقام قهرمانی کشوری طی دوران ورزش حرفه‌ای ورزشکار بوده است. سایر ورزشکاران دعوت شده به تیم ملی که دارای عناوین دوم و سوم کشوری بوده‌اند، در گروه ورزشکاران ماهر جای گرفتند. شرکت کنندگان دوبار در روز تمرین کرده و از لحاظ بدنی آماده انجام مانورهای ورزش ووشو بودند. متوسط (\pm انحراف استاندارد) سن، قد و وزن شرکت کنندگان در گروه نخبگان به ترتیب $19/00 (\pm 1/83)$ سال، $169/50 (\pm 1/00)$ سانتیمتر و $65/00 (\pm 2/83)$ کیلوگرم و متوسط (\pm انحراف استاندارد) سن، قد و وزن شرکت کنندگان ماهر به ترتیب $18/25 (\pm 0/50)$ سال، $167/50 (\pm 3/79)$ سانتیمتر و $63/00 (\pm 3/16)$ کیلوگرم بود و تفاوت آماری معناداری بین مشخصات دو گروه وجود نداشت. اطلاعات دموگرافیک شرکت کنندگان در جدول ۱ ارائه شده است. پیش از انجام آزمون کلیه شرکت کنندگان دربار اهداف آزمون مطلع شده و فرم رضایت نامه کتبی شرکت در مطالعه را امضاء نمودند.

روش بررسی

• شرکت کنندگان هشت ووشوکار سبک تالو دعوت شده به اردوی تیم ملی ووشوی ایران در این مطالعه شرکت کرده و به دو گروه چهار نفری متشکل از

جدول ۱- مشخصات دموگرافیک شرکت کنندگان در مطالعه

گروه	جنس	سن (سال)	قد (سانتیمتر)	وزن (کیلوگرم)
نخبه	مذکر	۱۷	۱۶۹	۶۵
		۱۸	۱۶۹	۶۷
		۲۰	۱۷۱	۶۱
		۲۱	۱۶۹	۶۷
ماهر	مذکر	۱۸	۱۶۲	۶۰
		۱۹	۱۷۰	۶۷
		۱۸	۱۶۸	۶۱
		۱۸	۱۷۰	۶۴

حذف می‌شدند. بین هر مانور حداقل دو دقیقه زمان استراحت در نظر گرفته شده بود که بسته به نیاز ورزشکار تمدید می‌گردید.

• معیار ارزیابی

در این مطالعه از شاخص آنتروپی تقریبی^۹ برای محاسبه پیچیدگی سری‌های زمانی نوسانهای مرکز فشار در دو راستای قدامی-خلفی و جانبی استفاده شده است. آنتروپی تقریبی معیاری ارائه می‌دهد که تا چه حد احتمال دارد الگوهای مشابه در پی یکدیگر در طول سری زمانی مشاهده نشوند. سری‌های زمانی با الگوهای تکرار شونده آنتروپی تقریبی نسبتاً کم و سیستمهای پیچیده تر آنتروپی تقریبی بالاتری دارند (۱۶). سری‌های زمانی اخذ شده با فیلتر

• روش انجام آزمون نوسانهای وضعیتی ووشوکاران حین انجام مانورهای نمایشی تعادلی (۱) ضربه جانبی^۱، (۲) ضربه ناگهانی از جلو^۳، ضربه از پشت^۳ و (۴) تعادل از عقب^۴ در دو راستای قدامی-خلفی^۵ و جانبی^۶ توسط سکوی نیرو برتک ۱۵-۹۰۹۰ با تقویت کننده برتک الف میم-۶۷۰۱^۸ با فرکانس نمونه برداری ۲۰۰ هرتز ثبت گردید (شکل ۱). شرکت کنندگان در ابتدا به حالت اولیه مناسب برای انجام هر مانور روی سکوی نیرو ایستاده و سپس مانورهای یاد شده را انجام می‌دادند. ترتیب انجام مانورها برای هر شرکت کننده بصورت تصادفی تعیین می‌گردید. صحت انجام هر مانور توسط مربی تیم تأیید می‌گردید و مانورهای ناموفق از مطالعه

1- Side kick and hold leg in standing position
 2- Front snap kick and balance with arms spread sideways
 3- Back kick and hold leg in standing position
 4- Backward balance
 5- Anterior-posterior
 6- Mediolateral
 7- Bertec 9090-15
 8- Bertec AM-6701
 9- Approximate Entropy (ApEn)
 10- Butterworth



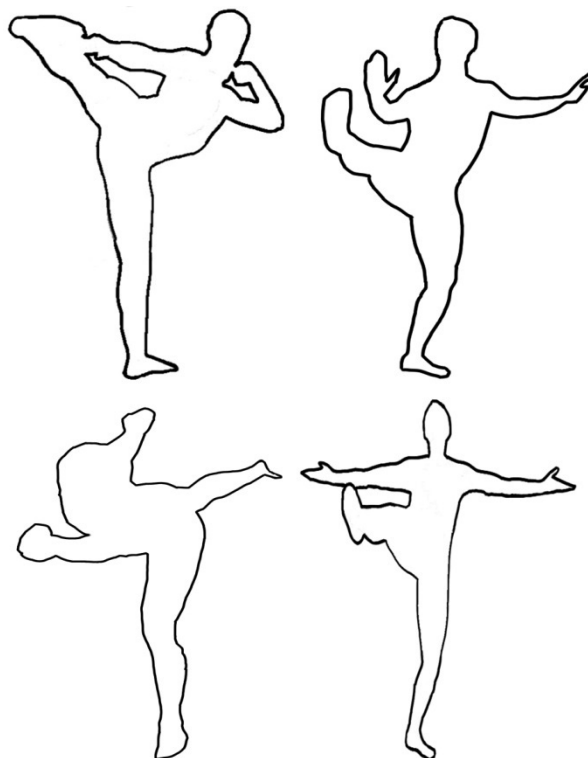
طول سیگنال باید مورد مقایسه قرار گیرند، (۲) تاخیر زمانی و (۳) شعاع همسایگی. گزارش شده که انتخاب محافظه کارانه تعداد دو نقطه داده^۱ برای طول بردارهای مورد مقایسه و مقدار $0/2$ انحراف استاندارد^۲ سری زمانی مورد نظر به عنوان شعاع همسایگی نتایج خوبی را به بار می آورند (۷). همچنین تاخیر زمانی براساس زمان وقوع اولین مینیمم موضعی تابع اطلاعات متقابل^۳ سری زمانی تعیین شده است. برای انجام کلیه محاسبات یک کد محاسباتی در نرم افزار MATLAB نسخه ۷/۱ نوشته شد.

• آزمون‌های آماری

کلیه آزمونهای آماری با نرم افزار اس پی اس نسخه ۱۷ انجام گردید. با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۴ بر نرمال بودن توزیع نتایج صحت گذاشته شد و از آزمون آنالیز واریانس مختلط^۵ تعقیبی بین گروهی-درون گروهی 4×2 (گروه \times مانور) با سطح اطمینان 90% برای بررسی تفاوت بین مانورها و بین گروه‌ها استفاده گردید.

یافته‌ها

آماره‌های توصیفی نتایج محاسبه مقادیر آنتروپی تقریبی برای هر دو گروه و در هر دو راستای قدامی-خلفی و جانبی در هر چهار مانور نمایشی وشوو در جدول ۲ و نتایج آزمونهای آنالیز واریانس و مقایسه‌های تعقیبی^۶ در جداول ۳ و ۴ ارائه شده‌اند.



شکل ۱- مانورهای نمایشی انتخابی سبک تالو ورزش وشوو. شکل بالا - چپ) ضربه جانبی، بالا-راست) ضربه ناگهانی از جلو، پائین-چپ) ضربه از پشت، پائین-راست) تعادل از عقب.

باترورث^۱ پائین گذر مرتبه دو با تاخیر زمانی صفر در فرکانس قطع 10 هرتز فیلتر شدند. در محاسبه آنتروپی تقریبی باید سه پارامتر به عنوان ورودی محاسبات تعیین گردند: (۱) طول بردارهایی که در

جدول ۲- آماره‌های توصیفی (میانگین (انحراف استاندارد) نتایج محاسبه آنتروپی تقریبی.

گروه	جهت	مانور		
		ضربه جانبی	ضربه ناگهانی	ضربه از پشت
نخبه	قدامی-خلفی	۰/۳۹ (۰/۱۳)	۰/۶۷ (۰/۰۲)	۰/۵۴ (۰/۱۴)
	جانبی	۰/۶۶ (۰/۱۰)	۰/۵۲ (۰/۰۷)	۰/۳۴ (۰/۱۱)
ماهر	قدامی-خلفی	۰/۲۸ (۰/۰۶)	۰/۵۱ (۰/۱۵)	۰/۵۷ (۰/۰۷)
	جانبی	۰/۵۱ (۰/۱۴)	۰/۵۰ (۰/۳۱)	۰/۳۱ (۰/۰۳)

ضربه جانبی و در راستای جانبی پیچیدگی مانور تعادل از عقب با سایر مانورها متفاوت می باشد (جدول ۴). یافته‌های آماری همچنین نشان می دهند که اثر اصلی متغیر گروه در راستای قدامی-خلفی نشان دهنده تفاوت معنادار آماری بین دو گروه می باشد درحالیکه این اختلاف در راستای جانبی معنادار نمی باشد (جدول ۳).

نتایج بدست آمده حاکی از این است که در هیچکدام از راستاهای قدامی-خلفی و جانبی اثر تعاملی بین گروهها و مانورها وجود ندارد، اما اثرات اصلی متغیر مانور برای هر دو گروه و در هر دو راستا از لحاظ آماری معنادار می باشد (جدول ۳). نتایج آزمون تعقیبی نشان می دهد که در راستای قدامی-خلفی پیچیدگی مانور

1- Data point
4- Kolmogrov-smirnov

2- Standard deviation
5- Mixed model analysis of variance (ANOVA)

3- Auto mutual information
6- Post hoc



جدول ۳- نتایج آزمون آنالیز واریانس شاخص آنتروپی تقریبی

اندازه اثر	P	F	لامبدای ویلکس	اثر	جهت
۰/۳۹۴	۰/۰۹۶*	۳/۸۹۶	—	گروه	قدامی-خلفی
۰/۹۶۱	۰/۰۰۳*	۳۳/۰۷۹	۰/۰۳۹	مانور	
۰/۳۸۲	۰/۵۴۵	۰/۸۲۴	۰/۶۱۸	گروه × مانور	
۰/۲۰۹	۰/۲۵۴	۱/۵۸۸	—	گروه	جانبی
۰/۸۰۶	۰/۰۶۶*	۵/۵۳۲	۰/۱۹۴	مانور	
۰/۲۳۴	۰/۷۵۶	۰/۴۰۸	۰/۷۶۶	گروه × مانور	
* سطح معناداری کمتر از ۰/۱					

جدول ۴- نتایج مقایسه بین مانورها در آزمون تعقیبی

جهت		مقایسه مانورها
جانبی	قدامی-خلفی	
۰/۳۹۴	۰/۰۰۱*	الف با ب
۰/۴۷۲	۰/۰۱۸*	الف با ج
۰/۰۰۳*	۰/۰۰۰*	الف با د
۰/۶۷۶	۰/۶۱۸	ب با ج
۰/۰۵۴*	۰/۴۵۷	ب با د
۰/۰۰۵*	۰/۸۹۵	ج با د
الف) ضربه جانبی، ب) ضربه ناگهانی ج) ضربه از پشت، د) تعادل از عقب * سطح معناداری کمتر از ۰/۱		

بحث

مفاصلی لولایی در صفحه ساجیتال می‌باشند، در کنترل وضعیت راستای قدامی-خلفی سهم عمده‌ای دارند و نوسانهای وضعیتی با دامنه کم و فرکانس پائین در این راستا توسط این مفاصل (۵)، با ورودی‌های حسی مناسب و عضلات موثر عملکردی آنها نظیر چهارسر^۲، همسترینگ^۳، تیبیالیس قدامی^۵ و گاستروکنمیوس^۶ کنترل می‌شوند (۶). لذا بطور کلی کنترل حرکت و حفظ تعادل روی مفاصل لولایی شکل فعالیت پیچیده‌ای بوده و این کار حین انجام مانورهای تعادلی نمایشی روی یک پا^۷ دشوارتر می‌گردد و ضعف جزئی در هر یک از موارد فوق نظیر ضعف در حس عمقی مفاصل، ضعف در عضلات، یا عدم توانایی برای غلبه بر منابع اغتشاش درونی و نیروهای اینرسی، مانع رسیدن ورزشکار به وضعیت دلخواه شده یا سبب لرزش اندام وی حین انجام حرکت می‌گردد. در مطالعه مشابهی که با استفاده از تصویر برداری و

نتایج بدست آمده حاکی از تفاوت بین گروه‌ها در راستای قدامی-خلفی بوده و ورزشکاران نخبه نسبت به گروه ورزشکاران ماهر در راستای قدامی-خلفی پیچیدگی بیشتری در الگوهای حرکتی دارند، که نشان دهنده مهارت بیشتر ورزشکاران نخبه در انجام مانورها نسبت به گروه مقابل می‌باشد. چنین وضعیتی در مطالعات مشابه نیز گزارش شده و نشان داده شده که افراد ماهر پیچیدگی حرکتی بیشتری را نسبت به افراد مبتدی دارند (۱۳). بالاتر بودن پیچیدگی در افراد ماهر نشان دهنده چندپایداری سیستم^۱ و توانایی سیستم کنترل حرکت در گذار^۲ بین جاذب‌های متفاوت می‌باشد (۴) که تعبیر فیزیولوژیک آن توانایی افراد ماهر در هماهنگ سازی حرکت در مواجهه با قیود مختلف عصبی، بیومکانیکی و محیطی است (۹). استراتژی‌های مفاصل میچ پا و زانو که از لحاظ مکانیکی

1- Multi stability 2- Transition 3- Quadriceps 4- Hamstring
5- Tibialis anterior 6- Gastrocnemius 7- Single support



پای تکیه گاهی قرار دارد (شکل ۱)، اما اگر به موقعیت قرارگیری پای تکیه گاهی توجه کنیم مشاهده می‌شود که در این مانور راستای جانبی قرارگیری موقعیت ورزشکار در امتداد محور طولی سکوی نیرو قرار گرفته و وی باید تعادل خود را در راستای جانبی پای تکیه گاهی حفظ کند و برای نیل به این هدف نظیر مانور قبل مجبور به انتقال وزن متناوب و منظم روی پای تکیه گاهی است که سبب کاهش میزان پیچیدگی در سری‌های زمانی ثبت شده در راستای محور طولی سکوی نیرو می‌گردد.

نکته قابل توجه دیگر در این مطالعه این است که پیچیدگی راستای قدامی-خلفی با راستای جانبی مقایسه نشده و این بدلیل ساختارهای مکانیکی متفاوت اندام‌ها و قیود مربوطه برای کنترل حرکت در این دو راستا است. این مفهوم با این دیدگاه در موتور کنترل که بیان می‌دارد حرکت خروجی ای از سیستم عصبی است که توسط مکانیک بدن (مکانیک اندام‌ها و مفاصل) فیلتر می‌شود، توافق دارد (۴) و لذا ساختارهای مکانیکی متفاوت اندام‌ها در دو صفحه ساجیتال و فرونتال سبب تظاهرات متفاوت سیستم یکپارچه کنترل حرکت برای حفظ تعادل در این دو راستا می‌شود (۱۸، ۱۹).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه سعی شده تا با بهره‌گیری از روش‌های کیفی ارزیابی سیستم‌های دینامیکی غیر خطی - که تعاملات بینابین سیستم‌های مختلف موثر را که منشاء تغییرپذیری و تطبیق پذیری سیستم کنترل حرکت هستند را نادیده نمی‌گیرند - سیستم کنترل حرکت و شووکاران حین مانورهای تعادلی بررسی گردد. یافته‌ها گویای این هستند که ورزشکاران نخبه قابلیت بهتری در کنترل درجات آزادی متعدد فعال در سیستم کنترل حرکت و هماهنگ سازی زیر-سیستم‌ها برای ایجاد الگوهای حرکتی غنی دارند. نتایج بدست آمده حاکی از این هستند که این روشها علیرغم سهولت محاسباتی، مفاهیم عمیقی را در خود نهفته دارند که توسط آن می‌توان به تفاوت‌های جزئی مابین سیستم‌های کنترل حرکت پی برد و از آن جهت بهبود وضعیت ورزشکاران بهره جست.

الکترومیوگرافی روی مانورهای و شووکاران انجام گرفته لرزش اندامها حین انجام مانورهای متعدد مشاهده شده و توجه به تمرینات استقامتی عضلات به خصوص عضله تیبیالیس قدامی توصیه شده است (۱۷). از نتایج این مطالعه اینگونه به ذهن متبادر می‌شود که ورزشکاران ماهر از قدرت عضلانی بیشتری برخوردارند یا از سینرژی عضلانی بهتری برای کنترل تعادل در راستای قدامی-خلفی بهره می‌گیرند. البته برای تأیید این فرضیه انجام مطالعات الکترومیوگرافی ضروری است.

یافته‌ها همچنین از عدم تفاوت بین گروهی در راستای جانبی حکایت دارند که می‌تواند به دلیل این باشد که شرکت کنندگان هر گروه برای حفظ تعادل در صفحه فرونتال از مهارت کافی در انجام مانورها برخوردار بوده‌اند و لذا الگوهای نوسانات مرکز فشار در راستای جانبی بین دو گروه متفاوت نمی‌باشد، ضمن اینکه باید به خاطر داشته باشیم که بخش عمده این مانورها حرکت بدن در صفحه ساجیتال می‌باشد. اما دور از ذهن به نظر نمی‌رسد که اگر افراد آماتور با افراد حرفه‌ای مقایسه می‌شدند تفاوت قابل توجهی بین پیچیدگی نوسانهای راستای جانبی آنها نیز مشاهده می‌شد.

نکته حائز اهمیت دیگر تفاوت چشمگیر بین پیچیدگی مانورهای ضربه جانبی و تعادل از عقب با سایر مانورها به ترتیب در راستای قدامی-خلفی و جانبی است. انجام مانور تعادل از عقب روی یک پا برای ورزشکارانی که از مهارت کافی برخوردارند به خودی خود دشوار نیست اما حفظ آن برای مدتی چند دشوار است و لذا ورزشکاران با بازوانی گشاده برای حفظ تعادل مجبور به انتقال وزن متناوب از موقعیتی به موقعیت دیگر روی پای تکیه گاهی هستند که حاصل آن ایجاد الگوی منظم‌تری در نوسان‌های مرکز فشار در راستای جانبی است که خود سبب کاهش پیچیدگی و کمتر بودن مقدار آنتروپی تقریبی این مانور نسبت به سایر مانورها می‌شود. چنین استدلالی برای کمتر بودن مقدار آنتروپی تقریبی راستای قدامی-خلفی مانور ضربه جانبی نسبت به سایر حرکات نیز صادق است که البته باید برای تفسیر آن به جهت گیری اندام‌ها در فضا توجه نمود. در این مانور تعادلی اگرچه نظیر ضربه از پشت موقعیت قرارگیری اندام‌ها حول پای تکیه گاهی یکسان است (بالا تنه ورزشکار یک سمت و پای دیگر در سمت مخالف

منابع:

1-Payton, C., Biomechanical Evaluation of Movement in Sport and Exercise: The British Association of Sport and Exercise Sciences Guide. 2008: Routledge.
2-Winter, D.A., Biomechanics and motor control of human movement. third ed. 2005: John Wiley & Sons, Inc.
3-Latash, M.L., et al., Dexterity and its development. 1996: L. Erlbaum Associates.
4-Van Emmerik, R.E.A., et al., Nonlinear dynamical approaches to

human movement. Journal of Applied Biomechanics, 2004. 20: p. 396-420.
5-Davids, K., S. Bennett, and K.M. Newell, Movement system variability. 2006: Human Kinetics Publishers.
6-Shumway-Cook, A. and M.H. Woollacott, Motor control: translating research into clinical practice. 2006: Lippincott Williams & Wilkins.
7-Stergiou, N., Innovative analyses of human movement 2004, USA: Human Kinetics.

- 8-Turvey, M.T., Coordination. *American Psychologist*, 1990. 45(8): p. 938.
- 9-Harbourne, R.T. and N. Stergiou, Movement Variability and the Use of Nonlinear Tools: Principles to Guide Physical Therapist Practice. *Physical Therapy*, 2009. 89(3): p. 267-282.
- 10-Stergiou, N., R.T. Harbourne, and J.T. Cavanaugh, Optimal Movement Variability: A New Theoretical Perspective for Neurologic Physical Therapy. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 2006. 30(3): p. 120-129.
- 11-Hilborn, R.C., Chaos and nonlinear dynamics. second ed. 2000: OXFORD UNIVERSITY PRESS.
- 12-Ghomashchi, H., et al., Identification of dynamic patterns of body sway during quiet standing: Is it a nonlinear process? *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 2010. 20(04): p. 1269-1278.
- 13-Wilson, C., et al., Coordination variability and skill development in expert triple jumpers. *Sports Biomechanics*, 2008. 7(1): p. 2-9.
- 14-Cavanaugh, J.T., et al., Detecting altered postural control after cerebral concussion in athletes with normal postural stability. *Br. J. Sports Med.*, 2005. 39: p. 805-811.
- 15-Schmit, J.M., D.I. Regis, and M.A. Riley, Dynamic patterns of postural sway in ballet dancers and track athletes. *Experimental Brain Research*, 2005. 163: p. 370-378.
- 16-Pincus, S.M., I.M. Gladstone, and R.A. Ehrenkranz, A regularity statistic for medical data analysis. *Journal of Clinical Monitoring*, 1991. 7(4): p. 335-345.
- 17-Lu, M. A Research On Crural Muscle Electricity And Kinematics In Balance Actions Of Athletic Wushu Styleforms. *Globe Thesis* 2012.
- 18-Collins, J.J. and C.J.D. Luca, Open loop and closed loop control of posture: a random walk analysis of center of pressure trajectories. *Experimental Brain Research*, 1993. 95: p. 308-318.
- 19-Ghomashchi, H., et al., Dynamic patterns of postural fluctuations during quiet standing: a recurrence quantification approach. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 2011. 21(04): p. 1163-1172

Evaluating the Performance of the Wushu Athletes by Measuring the Movement Pattern Complexity

Tanbakoosaz A.^{*1}, Rostami M.², Tabatabaee F.³, Alinejhad M.⁴, Ghomashchi H.⁵

۹۳

Receive date: 20/01/2013

Accept date: 04/03/2013

1-PhD Student of Medicine

Engineering in Biomechanics Field, Faculty of Medicine Engineering, Islamic Azad University, Sciences and Researches Unit, Tehran, Iran.

2-Associative professor, Faculty of Medicine Engineering, Amir Kabir Industrial University, Tehran, Iran.

3-Assistant professor, Faculty of Medicine Engineering, Islamic Azad University, Sciences and Researches Unit, Tehran, Iran.

4-IRI Wushu Federation

5-Assistant professor, Faculty of Industries and Mechanics Engineering, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

***Correspondent Author Address:**

***Tel:** +98 9121826240

***E-mail:** a_tanbakoosaz@yahoo.com

Abstract

Objectives: Multiplicity of degrees of freedom in biological systems is the source of variability and indicates their health, flexibility, and their ability to cope with different individual, environmental, and task constraints. From nonlinear dynamical systems, their perspective of the variability of a system, can be quantified by measuring the movement pattern complexity. In this study the ability of this measure in evaluating the adroitness of martial art Wushu performers in different postural maneuvers and in discriminating the groups were investigated.

Materials & Methods: Wushu sportsmen, who were invited to Iranian national team, participated in the study. They were divided into two groups and their performance along anatomical directions while doing different maneuvers was investigated.

Results: The results showed a statistically noticeable difference between the groups in anterior-posterior direction while there was no significant difference along mediolateral direction. The results also indicated considerable differences between the maneuvers.

Conclusion: The results revealed that the measures originating from nonlinear dynamics well quantify between and within groups differences and provide new insights into underlying movement control strategies.

Keywords: Nonlinear Dynamics, Variability, Movement Pattern, Wushu.