معاونت پژوهشی دانشگاه الزهرا
با همکاری گروه بیومکانیک دانشگاه صنعتی شریف

اندازه‌گیری و مقایسه پارامترهای سینماتیکی در حرکات کاراته

گزارش نهایی

مجری: پریسا حجازی دینان

همکاران: فرزام فرهمند، مهدی بهزاد، حسین مختارزاده سلماسی، تهمینه رضائیان

اسفند ۱۳۸۵

به نام خدا

چکیده:

بررسی الگوی سینماتیکی حرکات ورزشکاران یکی از روشهای متداول برای دستیابی به الگوهای ورزشی مطلوب است. بر این اساس طرح حاضر به منظور اندازه‌گیری و مقایسه پارامترهای سینماتیکی در حرکات کاراته و به‌صورت خاص کاتا، درباره کاراته‌کاهای نمونه کشور انجام می‌شود. از طریق نصب مارکر بر روی بدن ورزشکار و تصویربرداری حین حرکت و در نهایت ردیابی مارکرها، مختصات سه‌بعدی هریک از مارکرها و پس از آن مسیر حرکت اندامها در فضا و تغییرات زوایای مفصلی هر یک از ورزشکاران به‌دست می‌آید. این بررسی در دو گروه ورزشکاران قهرمان و ورزشکاران سطوح پائینتر انجام می‌شود و انتظار می‌رود با مقایسه نتایج حاصل، ارائه توصیه‌های دقیق کمّی برای بهبود مهارتها به ورزشکاران امکان‌پذیر گردد. در این گزارش به عنوان گزارش نهایی؛ روند اجرای آزمون‌ها و نتایج نهایی حاصل از مقایسه اجرای ۴ حرکت کاتا شامل زوکی، مایی‌گری، زنکوتسوداچی و حرکت ترکیبی اویی زوکی و زنکوتسوداچی، توسط دو گروه کاراته‌کای ماهر و با مهارت متوسط آمده است. افراد آزمودنی شامل ۹ نفر از قهرمانان ملی ۷ کاراته کا با تجربه حداقل ۶ سال بودند. اندازه‌گیری با استفاده از روش استریو-ویدیوگرافی انجام شد و موقعیت سه بعدی مارکرهای بازتابنده نور نصب شده بر روی نقاط راهنمای آناتومیکی در حین حرکت ردیابی گردید. مقایسه آماری میانگین متغیرهای دو گروه، با استفاده از آزمون آماری T مستقل و مقایسه تغییر متغیرها در هر گروه با استفاده از آزمون T زوج انجام پذیرفت. بر اساس نتایج حاصله بین سینماتیک حرکات کاتای این دو گروه در برخی موارد تفاوت قابل مشاهده بوده است و در برخی موارد تفاوت بسیار اندک است. بطور مثال درباره حرکت زوکی می‌توان استنباط کرد که افراد ماهر اصول اولیه انجام این حرکت را بهتر از افراد با مهارت متوسط رعایت کرده اند. در حرکت مایی‌گری افراد ماهر در طول مسیر زاویه مچ را تغییر می‌دهند در حالی‌که افراد با مهارت متوسط بیشترین تغییرات را در انتهای مسیر دارند. همچنین اجرای حرکت در میان افراد گروه ماهر (شامل جابجایی قائم و چرخش تنه و تغییرات زاویه‌ای مفاصل مچ پا، زانو و هیپ) با مشابهت به مراتب بیشتری نسبت به افراد گروه با مهارت متوسط انجام شده است که این ویژگی بخصوص در حرکات مفصل زانو بارزتر بود. در حرکت زنکوتسوداچی تفاوت اندکی بین دو گروه مشاهده شد و مهمترین تفاوت تلاش برای حفظ زاویه تنه نزدیک به ۹۰ درجه در گروه ماهر بود. در حرکت ترکیبی تفاوت جابجایی عمودی شانه نشان دهنده تلاش بیشتر افراد ماهر برای حفظ ارتفاع مرکز ثقل بوده است. به طورکلی افراد ماهر سعی بیشتری در رعایت کردن اصول اولیه انجام تکنیک‌ها دارند که از این تفاوتها می‌توان بعنوان مرجع برای پیشرفت افراد غیر ماهر سود جست.

فهرست

۱ مقدمه ۳

۱-۱ هنرهای رزمی ۴

۱-۱-۱ انواع هنرهای رزمی ۴

۱-۱-۲ هنرهای رزمی اصلی ۵

۱-۱-۳ هنرهای رزمی ثانویه ۸

۲ مروری بر مطالعات پیشین ۹

۳ طراحی پروتکل آزمونها ۱۲

۳-۱ حرکت اویی زوکی ۱۳

۳-۲ حرکت مایی‌گری ۱۵

۳-۳ حرکت زنکتسوداچی ۱۶

۳-۴ حرکت ترکیبی اویی‌زوکی و زنکتسوداچی ۱۸

۴ اجرای آزمون‌ها ۲۰

۴-۱ انتخاب آزمون‌های مناسب و استخراج داده‌های خام از تصاویر ۲۱

۵ نتایج ۲۳

۵-۱ حرکت زوکی ۲۴

۵-۲ حرکت مایی‌گری ۲۵

۵-۳ حرکت زنکوتسوداچی ۳۰

۵-۴ حرکت ترکیبی اویی‌زوکی و زنکوتسوداچی ۳۳

۶ بحث و نتیجه‌گیری نهایی ۳۸

۱ مقدمه

معنای لغوی "کاراته" مبارزه با دست خالی است. از این معنا می‌توان دریافت کاراته نیازمند اسباب خاصی نیست و هدف آن ارتقاء قدرت بدنی و ذهنی ورزشکار است. بدلیل تحرّک و زیبایی حرکات همچنین عدم تحمیل هزینه به ورزشکار برای تهیه تجهیزات خاص، کاراته در سالهای اخیر از محبوبیت ویژه‌ای در میان گروه‌های سنی مختلف زنان و مردان برخوردار شده است. این امر را می‌توان از دلایل قرارگیری ایران در رده‌های ممتاز کاراته جهان دانست. از آنجا که این ورزش شامل اجرای حرکات دقیق و حساب‌شده قسمتهای مختلف بدن (حرکات ظریف تنه و حرکات موزون و در دامنه وسیع دست و پا) است، انتظار می‌رود با بررسی دقیق حرکات قهرمانان کاراته بتوان به اطلاعات کمّی مفیدی برای ارائه الگویی مناسب و ملموس به ورزشکاران علاقه‌مند دست یافت و توصیه‌های دقیقتری برای اصلاح و بهبود تکنیکها ارائه کرد. یکی از روشهای متداول برای بررسی ویژگی‌های حرکات انسان، استخراج داده‌های سینماتیکی با استفاده از تصویربرداری است. دستیابی به اطلاعات سینماتیکی در این روش از طریق نصب مارکرهایی بر روی نقاط آناتومیکی خاص که اغلب محور حرکتی مفاصل را شامل می‌شوند و سپس تصویربرداری از فرد حین اجرای حرکات میسر می‌گردد. بر این اساس پروژه "اندازه‌گیری و مقایسه پارامترهای سینماتیکی در حرکات کاراته" با هدف استخراج ویژگی‌های سینماتیک سه‌بعدی چهار حرکت کاتای انتخابی (شامل زوکی، مایی‌گری، زنکوتسوداچی و حرکت ترکیبی اویی زوکی و زنکوتسوداچی) در دو گروه از کاراته‌کاها شامل کاتاکاهای ماهر و با مهارت متوسط با استفاده از تصویربرداری و مقایسه این دو گروه با یکدیگر تعریف شده است. به نظر می‌رسد با توجه به محدود بودن تعداد مطالعات صورت گرفته در زمینه بررسی سینماتیک حرکات کاراته و وجود مطالعاتی درباره سایر هنرهای رزمی، آگاهی از انواع هنرهای رزمی و ماهیت هریک مفید باشد.

گزارش حاضر شامل بخشهای بررسی مطالعات و مقالات منتشر شده پیشین، طراحی پروتکل آزمون‌ها و آماده‌سازی set up آزمایش شامل تعیین مارکرهای مناسب، طریقه نصب مارکرها روی بدن، محل نصب مارکرها، فریم کالیبراسیون مناسب و مشخصات تصویربرداری، روند اجرای آزمون‌های تحلیل سینماتیک ۴ حرکت کاتای یاد شده برای دو گروه قهرمان و غیرقهرمان، انتخاب آزمون‌های مناسب برای هر یک از افراد شرکت کننده در آزمون‌ها، استخراج داده‌های خام از تصاویر و استخراج متغیرهای سینماتیکی، مقایسه متغیرهای دو گروه ماهر و با مهارت متوسط؛ و در نهایت بحث و نتیجه‌گیری است.

۱-۱ هنرهای رزمی

هنرهای رزمی انواع مختلفی از هنرهای جنگی با استفاده از اسلحه یا بدون آن است که بیشتر از شرق آسیا نشأت گرفته اند. حدود ۱۰۰ میلیون نفر در سراسر جهان به منظورهای دفاع شخصی، تناسب اندام، آرامش ذهنی و رقابت به این هنرها می‌پردازند. حدود ۲۰۰ هنر رزمی مجزا وجود دارد که برای هر یک مدارس خاصی برای سبک‌ها یا سیستمها موجود است. تعداد این سبک‌ها بالغ بر هزاران سبک است. در ادامه انواع هنرهای رزمی و طبقه بندی کلی آنها ذکر می‌شود [۱].

۱-۱-۱ انواع هنرهای رزمی

با وجود تنوع سبک‌ها و هنرهای رزمی، اغلب آنها از تکنیک‌های مشترکی استفاده می‌کنند و بنابراین آنها را می‌توان در گروه‌های گسترده‌ای سازمان‌دهی کرد که درک بهتر آنها را ممکن می‌سازند. روش اولیه برای طبقه‌بندی ورزش‌های رزمی بر اساس تکنیک‌های فیزیکی مورد استفاده در آنها است: ضربه زدن[۱] یا گلاویز شدن[۲].

تکنیک‌های ضربه زدن، از نظر تکنیکی تصادمی هستند و با استفاده از حرکات سر، دست‌ها، آرنج‌ها و پاها انجام می‌شوند. هنرهای رزمی محبوبی چون کاراته[۳]، کونگ فو[۴]، و tae در این گروه قرار می‌گیرند. از سوی دیگر هنرهای همراه با گلاویز شدن، اصولاً از گرفتن و پرتاب کردن، محکم نگه داشتن و کشمکش استفاده می‌کنند. هدف این هنرها خنثی‌سازی عملکرد مهاجم از طریق کسب کنترل بر یک حریف است بدون اینکه ضرورتاً به فرد ضربه وارد سازد. محبوب‌ترین هنرهای همراه با گلاویز شدن، جوجوتسو[۵]، جودو[۶] و آی‌کی‌دو[۷]هستند.

هنرهای رزمی را از دیدگاه دیگری نیز می‌توان تقسیم بندی کرد: هنرهایی که استفاده از اسلحه ممنوع است و آنهایی که استفاده از اسلحه بخشی از تکنیکشان است. به عنوان مثال در جودو، حریفان تنها از بدنشان استفاده می‌کنند اما در بسیاری از سبک‌های کونگ فو، اسلحه یک بخش ضروری از آموزش است. استفاده از اسلحه‌هایی نظیر شمشیر، چوبهای بلند، و نیزه‌های چوبی در هنرهای رزمی معمول است و اسلحه گرم هرگز استفاده نمی‌شود.

---

[1] striking
[2] grappling
[3] karate
[4] Kung fu
[5] Jujutsu
[6] Judo
[7] Aikido

هنرهای رزمی را از دیدگاه عملکرد و فلسفه سنتی یا غیرسنتی یعنی بر اساس روشی که آموخته می‌شوند، نیز می‌توان طبقه‌بندی کرد. استادان سنتی بر تزکیه نفس (self-improvement) تأکید می‌کنند در حالیکه تأکید استادان غیرسنتی بر دفاع شخصی (self-defense) است. سنتگرایان در زمان آموزش شاگردانشان بر سه ویژگی به ترتیب توسعه روحی[1]، نظم[2]، شکل زیبا[3] متمرکز می‌شوند. آموزش غیرسنتی بر مبارزه[4]، نظم و توسعه روحی تأکید می‌کند. هر دو نوع مدارس ذکر شده مزایایی برای هنرجویان دارند و ترویج ویژگیهایی نظیر دفاع شخصی را که می‌تواند در تمامی زندگی به کار رود، تشویق می‌کنند.

بسیاری از هنرهای رزمی در توسعه‌شان تحت تأثیر افکار فلسفی و مذهبی به ویژه بودائیسم و دائوئیسم (تائوئیسم) قرار گرفته اند. بودائیسم بر نقش جستجوی فردی و تلاش برای دستیابی به سلطه بر نفس (self-mastery)، درک نفس (self-realization) و روشن بینی (enlightenment) تأکید می‌کند. دائوئیسم طرفدار استفاده از تمرین‌های فیزیکی خاص و تمرین‌های تنفسی در جهت هدفی مشابه است. بنابراین لازم است هنرجویان هنرهای رزمی هم به بدن و هم به ذهنشان بپردازند. از آنجا که هنرهای رزمی توجه خاصی به هر دو بخش دارد، از اغلب ورزش‌ها و فعالیت‌های فیزیکی که معمولاً تنها بر آموزش فیزیکی متمرکز می‌شوند، متمایز می‌گردد. هنرآموزان اعتقاد دارند هنرهای رزمی درباره نزاع نیست بلکه درباره زندگی است، در واقع اصولی که آنها در هنرهای رزمی می‌آموزند به ارائه راهنمایی برای عمل در خارج از محیط آموزش کمک می‌کند. در نهایت هدف مدارس هنرهای رزمی پرورش هنرآموزانی است که برای بهتر کردن خودشان و نه برای غلبه بر دیگران به هنرهای رزمی می‌پردازند. هنرهای رزمی فوائد ناملموسی نیز برای هنرجویان خود دارد. بررسی‌ها نشان داده که بسیاری از کسانی که در این زمینه تمرین می‌کنند با عامه جامعه تفاوت دارند؛ آنها اضطراب کمتری دارند، احساس مسئولیتشان بیشتر است و در سطح بالاتری عزت نفس (self-esteem) دارند.

۱-۱-۲ هنرهای رزمی اصلی

کاراته، کونگ فو و تکواندو محبوب‌ترین هنرهای رزمی در سطح جهان هستند. در این موارد و اغلب هنرهای رزمی افراد به منظور تفکیک رتبه و مهارت، کمربندهای رنگی (در کونگ فو بازوبند) می‌پوشند. یک نوآموز از کمربند سفید استفاده می‌کند. با گذراندن آزمون‌های شایستگی دشوارتر، هنرجویان از مجموعه‌ای از کمربندهای رنگی به کمربند سیاه می‌رسند، حتی افراد دارای کمربند سیاه نیز در رتبه‌های مختلفی قرار دارند. سطوح کمربند

[1] spiritual development
[2] discipline
[3] aesthetic form
[4] combat

سیاه (یا دان[1] به معنای درجه در زبان ژاپنی و کره‌ای) از درجه اول آغاز می‌شود که مربوط به یک هنرجو در رده کمربند سیاه و درجه ۵ معمولاً مربوط به یک استاد با تجربه است. البته درجات بالاتر از ۵ نیز در کاراته وجود دارد که کاراته‌کا پس از سالها تلاش و تمرین مستمر به این درجات نایل می‌شود. برای این منظور زمانهای حداقل معینی لازم است تا دان بالاتری کسب گردد. برای دان بالاتر باید به تعداد سالهای آن دان تمرین کرد تا در آزمون مربوطه بتوان شرکت نمود. بطور مثال کاراته‌کا برای شرکت در آزمون دان ۴ باید ۴ سال در دان ۳ تمرین داشته باشد.

الف)کاراته

کاراته (به معنای دست خالی) یک روش دفاع شخصی بدون اسلحه است که فرد در آن مشت (punch) و ضربه (strike)، لگد (kick) می‌زند یا سد راه حریف می‌شود (block). محل ظهور کاراته جزیره اوکیناوا در قرن هفدهم و مستقیماً تحت تأثیر روش‌های اولیه کونگ فوی چینی بوده و با عنوان ته (به معنای دست) شناخته می‌شده است. در سال ۱۹۲۲، Funakoshi که یک معلم مدرسه در اوکیناوا بود و پدر کاراتهٔ مدرن شناخته می‌شود، هنرهای رزمی را وارد ژاپن کرد. وی بخشهای فلسفی قدرتمندی را به کاراته اضافه کرد و یک هنر رزمی مجزا به نام کاراته–دو را ایجاد نمود که بیشتر به وضعیت ذهنی هنرآموزان توجه دارد. به عنوان مثال در همه حال هنرجویان نباید فخرفروشی کنند یا سایرین را تحقیر کنند.

تمرین‌های کاراته در یک دوجو[2] (به معنای تالار تمرین) صورت می‌گیرد. لباس سنتی خاص کاراته (کاراته جی[3] یا جی) شامل شلوار و یک بلوز گشاد سفید است که توسط کمربندهای یاد شده روی بدن محکم می‌شوند. الزامات پیشرفت شامل مهارت در سه زمینه است: حرکات پایه، کاتا[4] (تمرین‌های قراردادی با توالی تعریف شدهٔ حرکات)، و مانور آزاد حرکات بدن یا کیهون (freestyle sparring). هر سبک اصلی کاراته دست کم مشتمل بر ۱۲ کاتا است. هر حرکت در کاتا هدف خاصی دارد و هر توالی توسط چندین استاد آن سبک به وجود آمده است.

ب) کونگ فو

در کونگ فو (در زبان چینی به معنای مهارت، توانایی یا کار است) از مشت زدن، ضربات، لگد و تاحدی پرتاب استفاده می‌شود. برخلاف کاراته که در آن اغلب مانور مشت بسته متداول است، در کونگ فو از تکنیک‌هایی با

[1] dan
[2] dōjō
[3] karate-gi
[4] kata

دست باز نیز استفاده می‌شود و در بسیاری از سبک‌های کونگ فو اسلحه‌هایی نظیر شمشیر یا چوب بلند به کار می‌رود. این عقیده وجود دارد که کونگ فو بیش از ۲۰۰۰ سال پیش در چین به وجود آمده است و گفته می‌شود بر اساس یک روش قدیمی‌تر مبارزه در هند باستان است.

هنرجویان کونگ فو تعداد بسیار زیادی از تکنیک‌های پیچیده را باید بیاموزند تا مقامشان ارتقا یابد. کونگ فو دو بخش اصلی چینی شمالی و چینی جنوبی دارد که هر یک به چندین زیربخش تقسیم می‌شوند که بر اساس نوع ضربات مورد استفاده، روش‌های تمرین و فلسفه از یکدیگر متمایز می‌شوند. در سبک‌های شمالی، حرکات نرمی به ویژه توسط پائین تنه اجرا می‌شود و هدف استفاده از قدرت حریف برای برتری، توسط حرکاتی همراه با بر هم زدن تعادل حریف است. از سوی دیگر سبک‌های جنوبی برای قدرت برتری خاصی قائلند. در این سبکها هنرجو قاطعتر است و مستقیماً با حریف روبرو می‌شود.

تای چی چوآن (به معنای مشت نهایی بزرگ)، یا همان تاچی، مشهورترین سبک کونگ فو است. در حقیقت شاید محبوب‌ترین هنر رزمی است زیرا ۱۰ میلیون نفر در چین روزانه آن را تمرین می‌کنند. ویژگی این سبک حرکات موزون[1] و عمدتاً آهسته است که دایره وار و پیوسته هستند. این حرکات بر اساس ضربات پاها و بازوها در کونگ فوی باستانی هستند.

ج) تاوه‌کوآن‌دو[2]

تاوه‌کوآن‌دو (به معنای سبک دستها و پاها در زبان کره‌ای) در سال ۱۹۵۵ توسط گروهی از استادان با ریاست یک ژنرال کره‌ای به نام Choi Hong Hi به وجود آمد. این هنر، ورزش ملی کره است و در سراسر جهان طرفدارانی دارد. مشهور است تاوه کوآن دو که اغلب از آن به عنوان کاراتهٔ کره‌ای یاد می‌شود، بر اساس روش‌های مبارزه کرهٔ باستان و مدرن ژاپنی است. حرکات پایه‌ای تاوه کوآن دو متشکل از تعداد زیادی لگد تماشایی است (به ویژه آنهایی که همراه با پرش و چرخیدن انجام می‌شوند). در مبارزه امتیازها تنها از لگدها به بدن یا سر کسب می‌شوند که باید سبب لرزش حریف شود. امتیاز لگد زدن به سر بیش از لگد به بدن است.

از سال ۱۹۷۲، تاوه‌کوآن‌دو به عنوان یک ورزش قابل رقابت تحت نظر فدراسیون جهانی تاوه کوآن دو سازمان دهی شد و از سال ۲۰۰۰ جزء ورزشهای المپیک قرار گرفت.

[1] rhythmic movements
[2] Tae kwon do

۱-۱-۳ هنرهای رزمی ثانویه

علاوه بر هنرهای رزمی اصلی تعداد زیادی از هنرهای رزمی ثانویه وجود دارد. جوجوتسو، جودو و آی‌کی‌دو از محبوبیت گستردهٔ کاراته، کونگ فو و تاوه‌کوآن‌دو برخوردار نیستند اما در نواحی خاصی از جهان مورد توجه قرار گرفته اند.

الف) جوجوتسو

جوجوتسو (به معنای هنر نجیبان در زبان ژاپنی) شیوه‌ای از مبارزه است که در آن از نگه داشتن، خفه کردن، پرتاب، پشت پا زدن (trips)، joint-locks و تعدادی لگد و ضربه استفاده می‌شود. خاستگاه جوجوتسو مشخص نیست اما متخصصان عقیده دارند اولین روش‌های مشابه با تکنیک‌های مدرن آن در اواخر قرن ۱۵ و اوایل قرن ۱۶ بخشی از مراجع مبارزات سامورایی‌ها بوده است. با وجودی که هنرجویان در ابتدا تکنیک‌های جوجوتسو را به صورت تک تک می‌آموزند نه به صورت حرکات مرکب، ماهیت جوجوتسو توانایی در انجام سریع و متوالی تکنیک‌های مختلف به منظور کنترل یک مهاجم است.

ب) جودو

جودو (به معنای روش آرام در زبان ژاپنی) یکی از هنرهای دفاع شخصی است که در سال ۱۸۸۲ توسط یکی از مربیان ژاپنی از جوجوتسو اقتباس شد. جودو مانند جوجوتسو روشی برای تبدیل نیروی حریف به برتری خود از طریق مهارتهای گلاویز شدن و پرتاب است. به جای مقابله مستقیم در برابر قدرت حریف، هدف واگذار کردن به وی است که حریف را از تعادل خارج می‌کند. این کار، تکمیل پرتاب را آسانتر می‌سازد.

تمرین‌های جودو در دوجوی پوشیده از حصیر انجام می‌گیرد. هنرجویان یک جی شبیه به کاراته می‌پوشند اما پارچه آن به منظور مقاومت در برابر کشیدن و پرتاب کردن محکمتر است.

تکنیک‌های جودو به سه گروه تقسیم می‌شوند: ناگه–وازا[1] (تکنیک‌های ایستادن و پرتاب کردن)، کاتامه–وازا[2] (تکنیک‌های گلاویز شدن) و آته‌می–وازا[3] (تکنیک‌های ضربه زدن). آموزش در جودو شامل راندوری[4] (به معنای تمرین آزاد) یا sparring، کاتا (تمرین رسمی) و اونچی‌کومی[5] (پیچاندن inner winding) یا تمرین ساکن[1] است. در سال ۱۹۶۴ جودو جزء ورزشهای المپیک قرار گرفت.

[1] nage-waza
[2] katame-waza
[3] atemi-waza
[4] randori
[5] uchikomi

ج) آی‌کیدو

آی‌کیدو (به معنای روش هماهنگی[2] در زبان ژاپنی) مانند جودو، از جوجوتسو منشعب شده است. دیدگاه Ueshiba Morihei در سال ۱۹۲۵ اساس آی‌کیدو را شکل داد و پس از آن وی آموزش آن را آغاز کرد و اجرای ذن[3] را با این هنر در هم آمیخت. Ueshiba در سال ۱۹۴۲ این هنر را آی‌کیدو نامید. آی‌کیدو اصولاً ماهیت غیر مبارزه‌ای دارد و بر اساس اصول هماهنگی با حریف پایه گذاری شده است.

یک آی‌کیدوکار تلاش می‌کند مهاجم را به یک مسیر دایره‌ای حول خود سوق دهد که این کار به خنثی سازی عملکرد سلطه جویانه مهاجم کمک می‌کند. از طریق حرکت با نیروی مهاجم، آی‌کیدوکار کنترل ممنتوم[4] را به دست می‌آورد. سپس ممکن است از joint-locks استفاده کند که به مفاصل فشار وارد می‌سازد، یا تکنیک دیگری را برای بی‌حرکت ساختن حریف به کار برد.

امروزه بیش از ۳۰ سبک مختلف آی‌کیدو وجود دارد. از سال ۱۹۸۷ و پس از انتشار عکسهای حرکات Steven Seagal استاد آمریکایی آی‌کیدو این هنر رزمی مورد توجه مردم قرار گرفت.

۲ مروری بر مطالعات پیشین

Mejovšek و Kuleš (۱۹۹۷) حرکت لگد اوشیرومواشی‌گری در کاراته با اجرای نائب قهرمان جهان (با ۷۰ پوند و قد ۱/۸۰ متر) را تحلیل کردند. هدف این مطالعه تعیین پارامترها و مقادیر سرعت، مؤلفه‌های نیرو و زاویه‌های بین قطعات بدن بوده است. به دلیل بالا بودن تکنیک این کاراته‌کا مقادیر بدست آمده می‌تواند به عنوان مدلی برای اجرای صحیح لگد اوشیرومواشی‌گری در کاراته در نظر گرفته شود. آنالیز سینماتیک با استفاده از گرفتن اطلاعات از طریق فوتوگراماتیک با دو دوربین VHS ۶۰ هرتز و سیستم آنالیز حرکت APAS (سیستم آنالیز اجرایی هوایی[5]) انجام گرفت. مؤلفه‌های نیروی اعمال شده با استفاده از یک صفحه نیرو اندازه‌گیری شدند و اندازه‌گیری‌های سیگنالهای دینامیکی با توجه به زمان در یک مختصات قرار گرفتند و همچنین این سیگنالها در جهت‌های یکسانی نیز قرار گرفتند. آنالیز مقایسه پارامترهای بیان شده نشان داد که از دیدگاه عملی، می‌توان این

---

[1] stationary exercise
[2] way of harmony
[3] Zen
[4] momentum
[5]- Ariel Performance Analysis System

حرکت را به ابتدای حرکت و فازهای آمادگی و فازهای اجرا تقسیم بندی نمود. مقادیر بدست آمده توسط آنالیز دینامیک و مؤلفه‌های نیرو اندازه‌گیری شده بیانگر یک تعبیر منطقی از ساختار حرکت است [۲].

Pearson (۱۹۹۷) با استفاده از صفحه‌نیرو و تصویربرداری، دینامیک حرکت لگد در ۱۵ تکواندوکای ماهر را مورد بررسی قرار داد. این کار با استفاده از یک صفحه‌نیروی AMTI با نرخ داده‌برداری ۱۰۰۰ هرتز، یک دوربین سرعت بالا بانرخ داده‌برداری ۲۰۰ هرتز (برای تعیین مدت زمان تماس پا با کیسه هدف) و ۲ دوربین ویدئویی سونی پاناسونیک انجام گرفت. نتایج نشان داد مدت زمان ضربه ۱۱۰ میلی‌ثانیه و میانگین نیروهای ضربه طی مدت زمان ضربه ۲۹۲ نیوتن با حداکثر مقدار ۳۸۲ نیوتن ثبت شد. میانگین سرعت خطی انگشتان پا، مچ، زانو و هیپ به ترتیب ۱۳/۴، ۱۲/۱، ۲/۱۱ و ۰/۶۹ متر بر ثانیه ثبت شد. افراد سنگین‌وزن‌تر نیروهای ضربه‌ای بزرگتری تولید کردند و به نظر می‌رسد طول ران با اندازه ضربه رابطه مستقیم داشته باشد. برای دستیابی به لگ بهینه فرد باید از یک توالی منظم در اجرای حرکت تبعیت کند به طوری که حرکت خود را با ابداکشن و فلکشن هیپ آغاز و با اکستنشن سریع زانو پایان دهد [۳].

Chen و همکاران (۱۹۹۸) هدف این تحقیق آنالیز مشخصات بیومکانیکی دو نوع مختلف لگد پرشی (چرخشی با پای مستقیم و دیگری لگد چرخشی با پای خم شده) از جلو بین دو گروه رزمی‌کار چینی و دانشجوی فیزیک بود. ۱۰ فرد رزمی کار (قد:cm ۵± ۱۶۸، وزن:kg ٤±۶۲، سن: ۳±۲۰سال) با ۶ حرکت چرخشی پای خم شده و ۴ حرکت پای راست و ۱۰ دانشجو (قد: cm ۵± ۱۷۵، وزن: kg ۸±۷۳، سن: ۵±۲۳سال) با انجام حرکات مشابه به عنوان افراد آزمون دهنده انتخاب شدند. برای ثبت حرکات لگد پرشی به سمت جلو از سیستم ویدئویی آنالیز حرکت Peak Performance با سرعت تصویربرداری۱۲۰ هرتز استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که حرکت چرخش با پای خم شده بطور قابل ملاحظه‌ای در سرعت ماکزیمم عمودی مفصل زانو (m/s ۵/۲۷±۰/۵۲)، ماکزیمم سرعت زاویه‌ای زانوی خم شده (deg/s ۴۸۴±۱۴۵)، و ماکزیمم سرعت زاویه‌ای زانوی باز شده (deg/s ۱۰۱۰±۲۴۰) سریعتر از حرکت چرخش با پای راست بود. تفاوت معنی‌داری در ماکزیمم سرعت انگشت بزرگ پا و سرعت ماکزیمم مچ پا بین دو حرکت ذکر شده در بالا نبود. اگر چه تفاوت واضحی در زمان رسیدن به سرعت ماکزیمم انگشت بزرگ پا و زمان رسیدن به سرعت ماکزیمم مچ پا بین دو حرکت مشاهده شد. بعلاوه سرعت ماکزیمم مچ پای گروه دانشجویان (m/s ۹/۵۸±۰/۶۲) به طور معنی داری بیشتراز گروه رزمی‌کار بود. این امر به این دلیل رخ داد که دانشجویان پایین تنه بلندتری نسبت به ورشکاران داشتند. این مورد با نتایج مربوط به بیشتر بودن سرعت ماکزیمم فلکشن لگن ورزشکاران (deg/s ۷۵۷±۱۴۹) نسبت به دانشجویان نیز مطابقت دارد. اطلاعات همچنین نشان دادند که حرکت چرخشی با پای خم دو مقدار ماکزیمم

روی سرعت مچ پا و سرعت عمودی در انگشت بزرگ پا دارد. در نهایت می‌توان با توجه به نتایج استنباط کرد که تکنیک چرخشی با پای خم شده در موقعیت مبارزه واقعی ممکن است برتری داشته باشد [۴].

Lin و همکاران (۱۹۹۹) الگوی توزیع فشار لگد پایدار و ناپایدار را در حرکت لگد یک ورزشکار تای‌چی‌چوان مطالعه کردند. پایداری بدن در کاراته بسیار حائز اهمیت است. یک ورزشکار برگزیده ملی تای چی چوان فرد منتخب در این مطالعه بود. سیستم اندازه‌گیری فشار Tekscan HR Mat برای جمع‌آوری اطلاعات نیروی عکس‌العمل زمین و سابقه فشار پای ایستاده در حرکت لگد پای راست و لگد پای چپ، استفاده شد. تمام اطلاعات پای ایستاده بین متاتارسال، تارسال و phalanges تقسیم شدند تا نیرو و فشار جزیی محاسبه شوند. دیاگرام فشار- زمان متاتارسال، تارسال و phalanges نشان دادند که هر لحظه هنگامی که لگد چپ تمام می‌شود سابقه فشار به گونه‌ای است که پایداری وجود دارد و phalanges فشارهای بزرگتر و منقطع‌تری را به زمین وارد می‌کند [۵].

Chiu و Shiang (۱۹۹۹) یکی از ضربات دست در کاراته را مورد بررسی قرار دادند. هدف این مطالعه تشخیص زمان عکس‌العمل، سرعت حمله و نیروی مشت (سیکن) کاراته‌کای ورزیده‌ای در موقعیتهای مختلف ضربه با سیکن در کاراته با استفاده از روش فیدبک سریع بود. ۱۲ فرد (۸ مرد و ۴ زن)، از تیم ملی کاراته ROC برای مسابقات بانکوک ۱۹۹۸ بازیهای آسیایی چهار تکنیک ضربه با سیکن را در این مطالعه انجام دادند. ۴ موقعیت ضربه با دست به صورت زیر هستند: مشت مستقیم در حالت ایستاده(stand straight punch)، مشت معکوس در حالت ایستاده (stand reverse punch)، مشت مستقیم به سمت جلو (forward straight punch)در حالی که پاها کنار هم نیست و مشت معکوس به سمت جلو (forward reverse punch). با اینکه زمانهای عکس‌العمل در مشت به جلو (۵۵۰–۶۵۰ ms) بیشتر از مشت ایستاده (۳۵۰–۴۵۰ ms) بود و سرعتهای حمله در مشت به جلو (۲/۷–۳ m/s) بیشتر از مشت ایستاده (۱/۹–۲/۱ m/s) بود. نتایج تفاوت معنی‌داری را بین مشتهای مستقیم و معکوس نشان نداد. در این تحقیق نیروی مشت بر حسب شتاب به هم فشرده شدن هدف بیان شد. همانطور که انتظار می‌رفت نیروهای مشتهای مردان (۴۳–۵۴ g) از نیروی مشت زنان (۲۴–۳۹ g) بزرگتر بود. در این پژوهش ادعا شد، نتایج این تست می‌تواند به عنوان یک شاخص کمّی برای مربیان به منظور اصلاح تکنیکهای مشت ورزشکاران مورد استفاده قرار گیرد [۶].

Tsai و همکاران (۱۹۹۹) مطالعه‌ای به منظور بررسی اثر سه روش تمرینی مختلف با ترکیب کردن روش تمرینی عادی پلی‌متریک (drop jump) و تمرین قدیمی با وزنه (1/2squat) بود. آزمایش دهنده‌ها ۱۵ ورزشکار دبیرستانی بودند. مدت زمان تمرین برای همه افراد ۸ هفته و به تعداد هفته‌ای دو بار بود. یک صفحه نیروی

Kistler برای ثبت توانایی قدرت افراد در حال انجام پرش حرکت کانتر[1] (CMJ) و یک دوربین پیک با سرعت ۱۲۰ هرتز نیز برای ثبت زمان حرکت لگدی محوری[2] استفاده شد. بر اساس نتایج این مطالعه ترکیب پرش افتادن عمودی و افقی با تمرین وزنه می‌تواند قدرت ماکزیمم و زمان حرکت لگدی محوری را بهبود بخشد. بنابراین هنگام تمرین تقویت عضلانی ورزشکاران تکواندو در نظر گرفتن مشخصه ویژه حرکت مهم است [۷].
Robertson و همکاران (۲۰۰۲) در دانشگاه اوتاوا مطالعه‌ای درباره بیومکانیک لگد به سمت جلو در کاراته انجام دادند. حرکات لگد به سمت جلوی (با stance باز که پای لگد زننده به عقب باز میگشت و stance بسته که پاها کنار یکدیگر قرار میگرفتند) دو ورزشکار هنرهای رزمی (دان ۵، یکی متخصص در تائه‌کواندو و کاراته) با استفاده از دوربین VHS ثبت شد و سپس فیلمها دیجیتایز شدند. برای محاسبه گشتاورهای خالص و توان مفصلی مفاصل مچ، زانو و ران از روش دینامیک معکوس استفاده شد. توانهای حداکثر برای stance باز و بسته بزرگتر بود. نتایج نشان دادند اکستنسورها و فلکسورهای مفصل ران محرک اصلی (prime mover) زانو و مفصل ران هستند. گشتاورهای زانو اصولاً برای کاهش فلکشن و اکستنشن زانو به کار رفتند [۸].

۳ طراحی پروتکل آزمونها

برای دستیابی به مشخصه‌های سینماتیکی حرکات با استفاده از تصویربرداری لازم است مختصات نقاط خاصی از قطعات بدن معلوم باشد. بدین منظور مارکرهای بازتابنده نور بر روی برجستگی‌های استخوانی اندامها نصب می‌شوند که اغلب معادل با و یا نزدیک به محور حرکتی مفاصل هستند. در تحلیل سینماتیک سه‌بعدی با توجه به استفاده از مدل Link-segment، لازم است هر قطعه متحرک حداقل توسط ۳ مارکر مشخص شود بنابراین علاوه بر مارکرهای قرار گرفته روی مفاصل دیستال و پروگزیمال یک قطعه، یک مارکر روی نقطه میانی آن نیز نصب می‌شود. به منظور مدلسازی و بررسی هر حرکت در ابتدا لازم است نوع حرکت و چگونگی انجام آن مشخص شود. همانطور که پیش از این ذکر شد کاراته شامل تکنیکهای مختلفی است و برای اجرای آزمایش‌ها باید چند تکنیک خاص را انتخاب کرد. بر این اساس و با مشاوره صورت گرفته با یکی از کاراته‌کاها، ۴ حرکت بنیادی کاتا در ورزش کاراته برای بررسی در این پروژه انتخاب شدند که در ادامه چگونگی اجرا و مدل سه بعدی بدن برای هر یک شرح داده می‌شود.

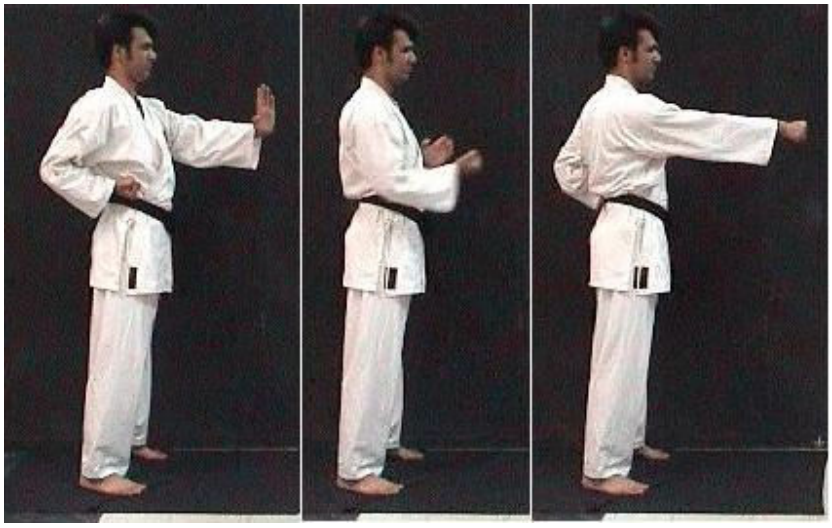
[1] - counter-movement jump
[2]- Axe-kicking movement time

۳-۱ حرکت زوکی[1]

این حرکت یکی از حرکات پایه‌ای دست در کاراته محسوب می‌شود که علی‌رغم سادگی اجرا، دارای ظرافتهای متعددی است که می‌تواند از جمله وجوه تمایز کاراته‌کاران ماهر و با مهارت متوسط باشد. این حرکت تقریباً تک صفحه‌ای است. ترکیب این حرکت با حرکات دیگر دست و پا در کاراته بسیار معمول است اما در این پژوهش اجرای این حرکت به صورت خالص و در حالت ایستاده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

اجرای حرکت اویی زوکی به این شرح است: فرد به صورت راست می ایستد و پاها را به اندازه عرض شانه‌ها باز می‌کند (این وضعیت در حفظ تعادل وی مؤثر است). سپس دستها مشت می‌شوند (سیکن) البته دستی که در جلو قرار گرفته است می‌تواند برای شروع باز باشد، در مورد سیکن دستها به گونه‌ای هستند که انگشتان کاملاً خم شده و نوک آنها در کف دست فشرده می‌شود (نباید فضای خالی بین انگشتان وجود داشته باشد) و انگشت شست روی انگشت اشاره قرار می‌گیرد. یکی از دستها با حفظ این وضعیت و در حالیکه کف آن به سمت بالا است در بالای لگن و دیگری در حالیکه کف آن به سمت پائین است در سمت مقابل بدن در امتداد جناغ سینه قرار می‌گیرد. با حرکت هر دو دست در دو جهت مخالف (دست اول به سمت جلو دست دوم به سمت عقب بدون چرخش دستها)، تا یک سوم کل مسیر، حرکت آغاز می‌شود. در این لحظه ورزشکار عمل دم را انجام می‌دهد. سپس حرکت انتقالی دستها همراه با دوران ۱۸۰ درجه نسبتاً یکنواختی که به موازی شدن دستها با افق در انتهای حرکت منجر می‌شود، ادامه می‌یابد و در پایان عمل بازدم و تخلیه هوا از ششها صورت می‌پذیرد (شکل ۱). حرکت اویی زوکی را می‌توان به صورت متناوب نیز انجام داد.

[1] Souki



الف ب ج

شکل۱: مراحل انجام حرکت زوکی

مدل سه بعدی بررسی این حرکت تنها شامل اندام فوقانی یک سمت بدن و تنه مشتمل بر چهار قطعه تنه، بازو، ساعد و دست است و مارکرهای نصب شده روی اندام فوقانی و تنه شناسایی و ردیابی می‌شوند. بنابراین مارکرهای بازتابنده نور بر روی استیلوئید اولنا (محور حرکتی مفصل مچ)، برجستگی اپیکندیل خارجی بازو (محور حرکتی آرنج)، برجستگی کوراکوئید کتف (انتهای بازو)، تروکانتر بزرگ ران (انتهای تحتانی تنه) و ۴ مارکر دیگر به صورت تک تک و با توجه به شرط عدم هم‌راستایی در میانه هر قطعه نصب شدند (شکل ۲).

شکل۲: محل نصب مارکرها و مراحل اجرای حرکت زوکی طی آزمون

۳-۲ حرکت مایی‌گری[1]

این حرکت یکی از حرکات پایه‌ای پا و دست در کاراته محسوب می‌شود اما در این پژوهش همانطور که در آموزش اولیه این حرکت عمل می‌شود، دستها در طرفین بدن قرار می‌گیرند.اجرای حرکت مایی‌گری به این شرح است: در ابتدا ورزشکار با پاهای جفت و زانوی خم شده به شکلی می‌ایستد که تنه عمود بر زمین قرار گیرد. اجرای این حرکت را می‌توان طی ۴ مرحله در نظر گرفت. الف) فرد مفصل ران و زانوی خود را حدود ۹۰ درجه خم می‌کند به طوری که قسمت ران موازی با سطح زمین، ساق عمود بر ران، مچ پا در زاویه ۹۰ درجه و انگشتان درحال هایپراکستنشن قرار گیرند. این وضعیت پنجه سبب می‌شود ضربه با دل پا وارد شود. ب) در این مرحله ساق پا نسبت به ران باز می‌شود (زاویه زانو افزایش می‌یابد) و تمام زاویه‌ها از ۹۰ درجه بیشتر می‌شوند تا ضربه به فرد اصابت کند. در ضمن برای دستیابی به برد بیشتری برای این حرکت لازم است لگن به سمت انجام ضربه حرکت کند. ج) در مرحله بعد از اصابت ضربه، ضربه جمع می‌شود. پا باید همان مسیری را که برای مرحله پیش طی کرده بود، بازگردد و مجدداً زوایای بین قطعات به ۹۰ درجه برسد. د) مرحله آخر نیز عکس مرحله اول است و باید بدون حرکت پای دیگر پای ضربه زننده کنار پای ثابت قرار گیرد (شکل ۳).

الف ب ج

شکل۳: مراحل انجام حرکت مایی‌گری

[1] Maei Geri

مدل سه بعدی بررسی این حرکت تنها شامل اندام تحتانی یک سمت بدن و تنه است و چهار قطعه تنه، ران، ساق و پنجه را شامل می‌شود. به منظور مشخص ساختن هر یک از این قطعات مارکرهای بازتابنده نور برروی نقاط آناتومیکی برجستگی کوراکوئید کتف (برای شناساندن بخش فوقانی تنه)، تروکانتر بزرگ (مفصل ران)، اپیکندیل خارجی ران (مفصل زانو)، قوزک خارجی (مفصل مچ پا) و سر متاتارس دوم نصب شدند. علاوه بر این، پنج مارکر دیگر در فاصله میان مارکرهای مشخص کننده مفاصل به شکلی اتصال یافتند که با دو مارکر دیگر در یک راستا قرار نگیرند (شکل ۴).

شکل۴: محل نصب مارکرها و مراحل اجرای حرکت مایی‌گری طی آزمون

۳-۳ حرکت زنکتسوداچی[1]

این تکنیک در واقع طرز ایستادن فرد در کاراته است و اغلب حرکات کاراته روی آن انجام می‌پذیرد. اجرای حرکت زنکتسوداچی به این شرح است: در ابتدا لازم است فرد آرایش ایستادن بگیرد. در این حالت دستها در کنار بدن قرار گرفته و پاها باید به اندازه دو برابر عرض شانه در طول و یک برابر عرض شانه در عرض از یکدیگر فاصله بگیرند و بالاتنه بر زمین کاملاً عمود باشد. توزیع وزن باید روی پای جلو ۶۰ درصد و پای عقب ۴۰ درصد باشد. در حالیکه ساق پای جلویی بر زمین عمود است، زانو باید تاحدی خم شود که فرد از بالا نتواند نوک انگشتان خود را ببیند. پای عقبی باید کاملاً صاف باشد به طوری که کشیدگی عضلات ران احساس شود (در افراد با مهارت متوسط) و پنجه و پاشنه پای عقب نسبت به صفحه حرکت ۴۵ درجه زاویه دارند. در

[1] Zenkutsu Dachi

مرحله بعد در صورتی که فرد بخواهد یک داچی به جلو حرکت نماید باید در همان حال که تنه همچنان عمود بر زمین است، به این ترتیب عمل کند: وزن بدن به تدریج به طور کامل روی پای جلویی منتقل می‌شود و پای عقب از کوتاهترین مسیر به سمت پاشنه پای جلویی و از کنار آن تا یک سوم داچی بعدی حرکت می‌کند. در این مرحله نیز عمل دم انجام می‌پذیرد. دو سوم بعدی حرکت توسط پای جلویی طی می‌شود و عمل بازدم انجام می‌شود (شکل ۵). نکته مهم طی انجام این حرکت حفظ وضعیت عمودی تنه نسبت به زمین از ابتدا تا انتهای انجام حرکت است.

شکل۵: مراحل انجام حرکت زنکتسوداچی

باتوجه به نوع حرکت که بیشتر اندام تحتانی را درگیر می‌سازد، مدل سه بعدی بررسی این حرکت تنها شامل اندام تحتانی یک سمت بدن به طور کامل و تنه است و ۴ قطعه تنه، ران، ساق و پنجه را شامل می‌شود. بنابراین محل نصب مارکرها کاملاً نظیر موارد ذکر شده برای حرکت مایی‌گری است (شکل ۶).

شکل۶: محل نصب مارکرها و مراحل انجام حرکت زنکوتسوداچی طی آزمون

۳-۴ حرکت ترکیبی اویی‌زوکی و زنکتسوداچی

در زمان اجرای همزمان حرکات اویی‌زوکی و زنکتسوداچی لازم است نکات ذکر شده برای هریک کاملاً رعایت شود. اجرای این حرکت ترکیبی به شرح ذیل است: آغاز این حرکت از حالت زنکوتسوداچی است به این ترتیب که دست جلو بصورت سیکن (مشت) بالای زانو قرار می‌گیرد به گونه‌ای که به اندازه یک تا دو سیکن با مفصل زانو فاصله داشته باشد. دست عقب نیز روی اوکیته (بالای ران) قرار می‌گیرد (شکل ۷-الف). پای عقب به سمت جلو حرکت می‌کند، دست جلو ثابت است ولی دست عقب تا جفت شدن پاها ثابت است (شکل ۷-ب). سپس دست عقب به سمت حریف به سمت جلو حرکت دورانی می‌کند (البته سینکن تا یک سوم مسیر بدون دوران تنها مسیر مستقیم راطی می‌کند (شکل ۷-ج)) و پای عقب مسیری تقریباً منحنی را طی می‌کند تا به صورت زنکوتسوداچی قرار گیرد؛ درست نظیر حالت اول حرکت اما برای پای مقابل اتفاق می‌افتد. این تغییر مسیر پای عقب پس از جفت شدن پاها به همراه حرکت دست عقب برای ضربه زدن انجام می‌شود (شکل ۷-د). به همین ترتیب حرکت به سمت جلو می‌تواند تکرار شود.

الف ب ج د

شکل۷: مراحل انجام حرکت ترکیبی اویی‌زوکی و زنکتسوداچی

مدل سه بعدی بررسی این حرکت شامل اندام تحتانی و اندام فوقانی یک سمت به طور کامل و تنه است و هفت قطعه ران، ساق، پنجه پا، بازو، ساعد، پنجه دست سمت مقابل دوربین و تنه را شامل می‌شود. به منظور مشخص ساختن هر قطعه مارکرهای بازتابنده نور برروی نقاط آناتومیکی برجستگی کوراکوئید کتف (برای شناساندن بخش فوقانی تنه)، تروکانتر بزرگ (مفصل ران)، اپیکندیل خارجی ران (مفصل زانو)، قوزک خارجی (مفصل مچ پا)، سر متاتارس دوم، برجستگی اپیکندیل خارجی بازو (مفصل آرنج)، برجستگی انتهای اولنا (مفصل مچ) نصب شدند. علاوه بر این، مارکرهای دیگری در فاصله میان مارکرهای مشخص کننده مفاصل به شکلی اتصال می‌یابند که با دو مارکر دیگر در یک راستا قرار نگیرند (شکل ۸).

شکل۸: محل نصب مارکرها و مراحل انجام حرکت ترکیبی اویی‌زوکی و زنکتسوداچی طی آزمون

۴ اجرای آزمون‌ها

افراد آزمودنی شامل ۱۶ مرد بودند که با هماهنگی فدراسیون کاراته و مربیان تیمهای ملی کاتا و کاراته ایران انتخاب شدند و موافقت آنها برای شرکت در آزمون‌ها جلب گردید. افراد آزمودنی بر حسب مهارت در دو گروه کاراته‌کاهای ماهر (۹ نفر از قهرمانان ملی) و کاراته‌کاهای با مهارت متوسط (۷ نفر با تجربه حداقل ۶ سال) طبقه بندی شدند. مشخصات افراد آزمودنی در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات افراد شرکت کننده در آزمایش‌ها

متغیر / نمونه		سن (سال)	قد (سانتیمتر)	وزن (کیلوگرم)
گروه ماهر	میانگین	۲۰/۱۱	۱۷۶	۶۹/۶۶
	انحراف معیار	۲/۸۴	۶/۷۴	۷/۸۷
گروه با مهارت متوسط	میانگین	۲۳/۲۸۵	۱۷۸/۱۴	۷۴/۸۵
	انحراف معیار	۳/۷۲۸	۹/۳۳۵	۹/۶۳۳

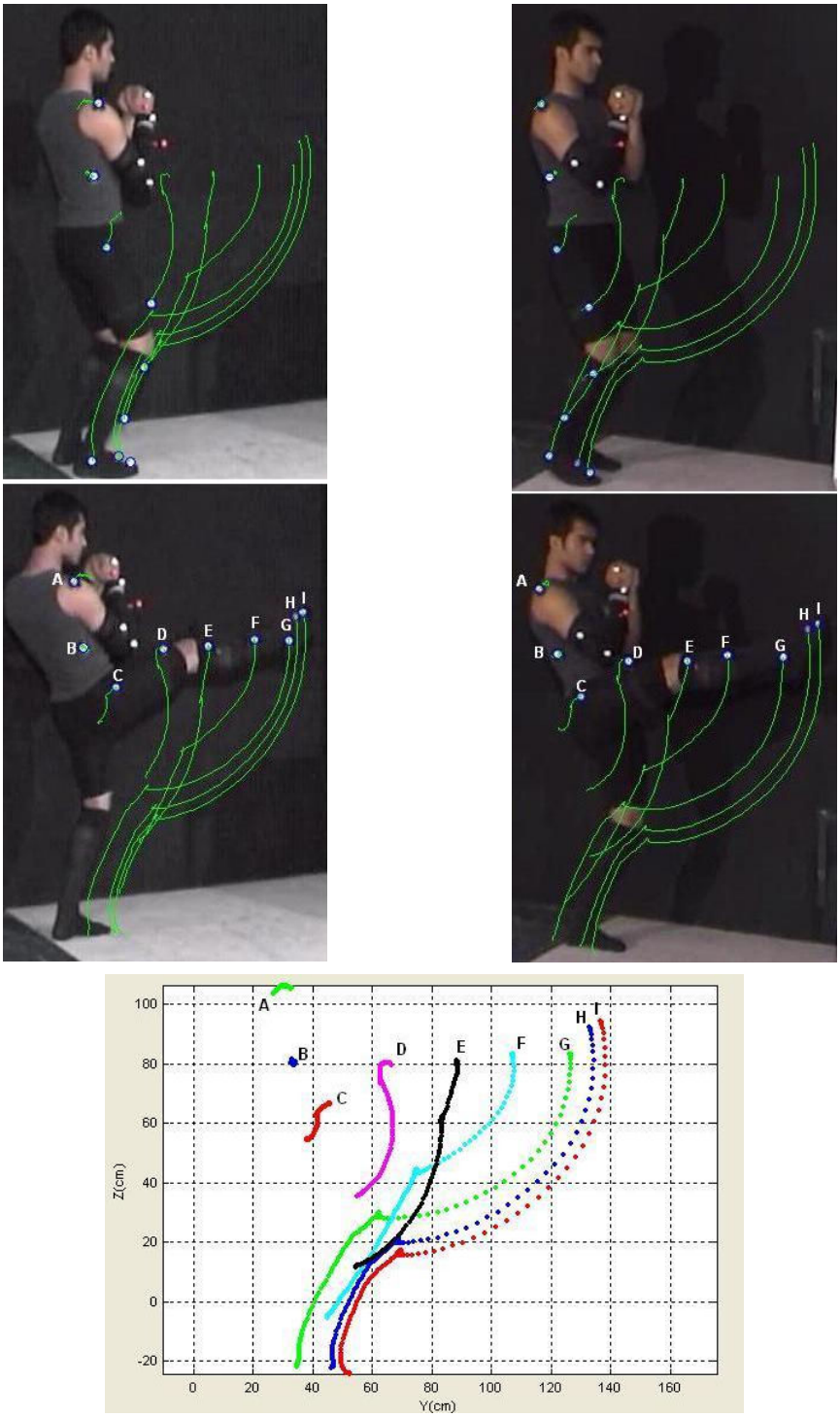
در آزمون‌های این طرح از مارکرهای کروی بازتابنده نور به رنگهای سفید و قرمز به قطر تقریبی ۲ سانتیمتر استفاده شده است. نحوه نصب مارکرها به دو صورت انجام گرفت: برای مارکرهای مشخص کننده محور حرکتی مفاصل از چسب دوطرفه استفاده شد اما مارکرهای میانی هر قطعه روی یک پایه سبک وزن و با طول مشخص قرار می‌گیرند که بر روی نوارهای کشسان قابل جاسازی است و بواسطه این نوار روی اندام مورد نظر نصب شدند. این کار برای اطمینان از رؤیت قطعی آنها توسط دوربینها، دستیابی به شرط عدم هم‌راستایی و تشکیل یک صفحه توسط مارکرهای نماینده هر قطعه مطلوب است. آرایش مارکرها برای بررسی هر یک از حرکات کاتای مورد نظر در بخش طراحی پروتکل آزمون‌ها به تفصیل بیان شد. شایان ذکر است افراد شرکت کننده در آزمون‌ها به منظور تسهیل شناسایی و ردیابی مارکرها، ملزم به استفاده از لباسهای کشی (شامل پیراهن ورزشی بدون آستین، آرنج بند، شلوارک و جوراب ساق بلند) حین تصویربرداری بودند. پیش از اجرای حرکت، فرصتی در اختیار فرد آزمودنی قرار داده شد تا با محیط آشنا شده و خود را آماده نماید. از هر فرد، ۳ آزمون گرفته شد و بهترین آزمون (به تشخیص یک کاراته‌کای خبره) مورد تحلیل قرار گرفت. برای ثبت تصاویر از دو دوربین دیجیتال JVC مدل GR-DVL 9800 با سرعت تصویربرداری ۵۰ فریم در ثانیه (پس از Deinterlacing) استفاده شد. دوربین‌ها در فاصله تقریبی ۴/۵ متر از آزمودنی و با زاویه تقریبی ۴۰ درجه نسبت

به یکدیگر قرار داشتند. همزمان‌سازی دوربین‌ها با فعال ساختن یک فلش عکاسی درست پیش از آغاز اجرای هر تکنیک؛ و ثبت و شناسایی آن در تصاویر حاصل از هر یک از دوربین‌ها انجام پذیرفت. برای کالیبراسیون سه‌بعدی از فریم کالیبراسیونی با ابعاد ۱×۱/۲×۱/۳ متر استفاده شد. سیستم مختصات مرجع در نظر گرفته شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

۴-۱ انتخاب آزمون‌های مناسب و استخراج داده‌های خام از تصاویر

پس از اتمام آزمون‌ها، فیلمهای ثبت شده روی کاست فیلم با استفاده از بخش capturing نرم‌افزار SMA[1] به کامپیوتر انتقال یافت. از آنجا که برای هر فرد سه آزمون اجرا شده بود انتخاب یک آزمون برتر برای هر فرد ضرورت داشت. بنابراین با توجه به ویژگی‌های استاندارد ذکر شده برای هر یک از حرکات مورد مطالعه، آزمون‌های نزدیکتر به این شرایط به عنوان آزمون‌های مطلوب انتخاب شدند. پس از آن تصاویر به دست آمده با به‌کارگیری بخش Deinterlacing نرم‌افزار SMA به فیلمی با مشخصات ۵۰ فریم در ثانیه تبدیل شدند. در مرحله بعد با استفاده از بخش Image processing نرم‌افزار SMA، مختصات دوبعدی مارکرها در هر یک از حرکات مورد مطالعه به طور جداگانه برای تصاویر حاصل از هر دوربین به دست آمد. در مرحله بعد با وارد کردن فایل‌های مربوط به مختصات دوبعدی تصاویر مربوط به چارچوب کالیبراسیون و اجرای هر حرکت حاصل از هر دو دوربین به بخش 3D reconstruction در نرم‌افزار SMA، مختصات سه بعدی مارکرها در فضای آزمایشگاه مطابق روش بازسازی سه بعدی DLT محاسبه شدند. در شکل ۹ مارکرهای شناسایی شده طی اجرای حرکت مایی‌گری در تصاویر حاصل از هر دوربین و مختصات سه‌بعدی استخراج شده آن نمایش داده شده است.

[1] Sharif Motion Analyzer



شکل ۹: مسیر مارکرهای شناسایی شده در دوربین راست (راست-بالا) و دوربین چپ (چپ- بالا)؛ و مسیر حرکت مارکرها به دست آمده از فرآیند بازسازی مختصات سه‌بعدی (پائین)

در مرحله بعد، با تعریف قطعات بدن الگوی تغییرات زاویه‌ای مفاصل با استفاده از مختصات سه بعدی مارکرها محاسبه شدند. زوایای مفاصل مچ پا، زانو و ران به ترتیب زاویه بین قطعات پنجه پا- ساق و ساق- ران و ران- تنه در نظر گرفته شدند و با فرض زاویه صفر در پوسچر فرد در ابتدای حرکت، تغییرات زاویه‌ای مفاصل نسبت به این وضعیت محاسبه گردیدند. با توجه به اهمیت زاویه ساق نسبت به افق در ابتدا و انتهای حرکت، این زاویه به طور جداگانه با استفاده از معادله زیر بدست آمد:

$$\cos\beta = \left(\frac{x_1 - x_2}{\sqrt{(x_1 - x_2) + (y_1 - y_2) + (z_1 - z_2)}}\right)$$

که در آن β زاویه ساق با افق، و Δx، Δy و Δz به ترتیب تفاضل مختصات مارکر دیستال و پروگزیمال قطعه ساق در راستای x، y و z هستند. همچنین زوایای ران و تنه با افق به روش مشابهی محاسبه شدند.

با توجه به تفاوت طول قد افراد آزمودنی، برای اینکه امکان مقایسه تغییرات جابجایی مفاصل فراهم گردد، متغیرهای مربوط به جابجایی نسبت به قد هر یک از افراد مورد آزمایش نرمالایز شدند. همچنین، از آنجا که تنها نحوه اجرای حرکت، بدون توجه به سرعت آن، مورد نظر بود به منظور تسهیل مقایسه متغیرهای افراد شرکت کننده با یکدیگر یک منحنی spline به منحنی هر یک از متغیرهای استخراج شده فیت شده و زمان اجرای حرکت بر حسب فاز حرکتی از ابتدا (۰٪ سیکل) تا انتها (۱۰۰٪ سیکل) نرمالایز گردید. برای مقایسه آماری نتایج از نرم‌افزار تخصصی آزمون‌های آماری(SPSS) استفاده شد. مقایسه میانگین متغیرهای دو گروه ماهر و با مهارت متوسط، با استفاده از آزمون آماری T مستقل[1] و بررسی تغییر متغیرها در هر گروه با استفاده از آزمون T زوج[2] انجام پذیرفت. متغیرهای مورد بررسی شامل جابجائی مارکر شانه در جهت عمودی (Z) و افقی (X)، تغییر زاویه قطعات ساق، ران و تنه نسبت به سطح افق، تغییرات زوایای مفصلی مچ پا، زانو و هیپ در نظر گرفته شدند.

۵ نتایج

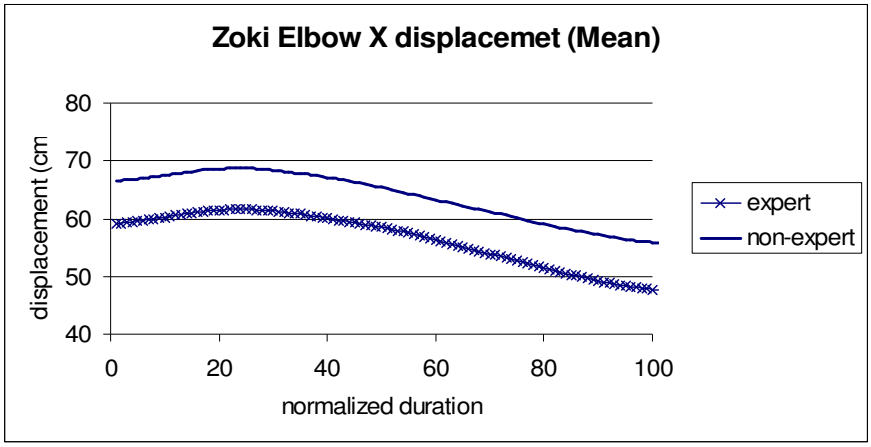
در این قسمت نتایج نهایی برای هر یک از حرکات کاتای مورد بررسی به صورت جداگانه ارائه شده‌اند.

[1] Compare mean, Independent - sampleT-test
[2] Pair –sample T-test

۵-۱ حرکت زوکی

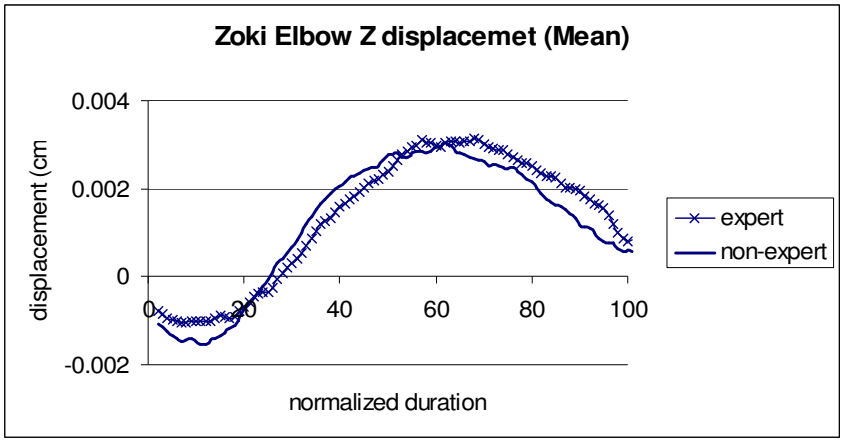
برای حرکت زوکی بررسی و مقایسه متغیرهای جابجائی مارکر آرنج به خصوص در جهت عمودی و عمود بر صفحه حرکت و تغییر زاویه آرنج (نمایانگر الگوی حرکت) در نظر گرفته شدند. در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ مقایسه این متغیرها بین دو گروه کاراته‌کای ماهر و با مهارت متوسط نشان داده شده است.

در شکل ۱۰ میانگین منحنی‌های تغییرمکان آرنج در جهت عمود بر صفحه حرکت (در جهت X) برای افراد ماهر و با مهارت متوسط نمایش داده شده است. این متغیر در واقع نشان دهنده میزان دور یا نزدیک شدن آرنج به بدن حین اجرای حرکت است. در مورد افراد ماهر مشاهده می‌شود که این منحنی از مقادیر کمتری نسبت به افراد غیر ماهر برخوردار است. با اینکه در مسیر تغییرات این دو گروه تفاوتی مشاهده نمی‌شود ولی افراد ماهر در طول حرکت دست زوکی را به بدن نزدیکتر نگاه داشته اند.



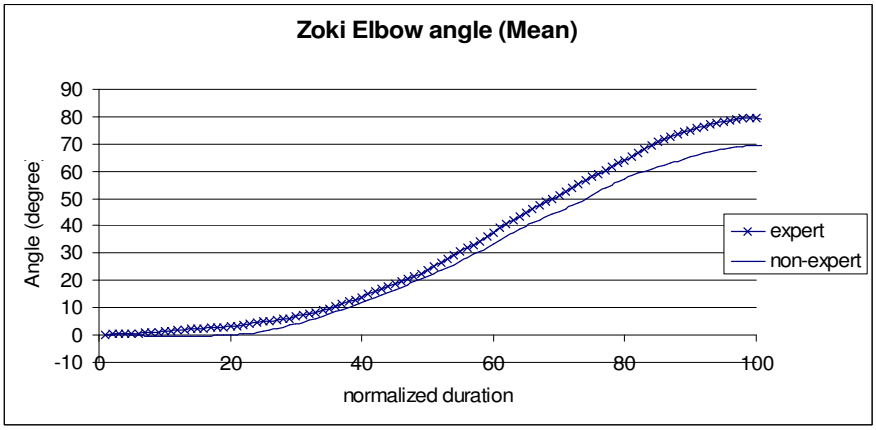
شکل ۱۰: مقایسه جابجائی مارکر آرنج در جهت عمود بر صفحه حرکت (X) در حرکت زوکی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که جابجایی آرنج در راستای عمودی برای افراد ماهر در ابتدای حرکت نسبت به گروه با مهارت متوسط تا حدی خطی‌تر است. ولی در ادامه مسیر هر دو گروه تغییرات تقریبا مشابه‌ای را دارند.



شکل ۱۱: مقایسه جابجائی مارکر آرنج در جهت عمودی Z در اجرای حرکت زوکی برای فرد ماهر و با مهارت متوسط

در شکل ۱۲ تغییرات زاویه آرنج نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات زاویه آرنج هر دو گروه تا حد زیادی مشابه است ولی در مورد گروه با مهارت متوسط با وجود یکی بودن زاویه شروع حرکت، زاویه کمتری در انتهای حرکت مشاهده می‌شود (حدود ۱۰ درجه).

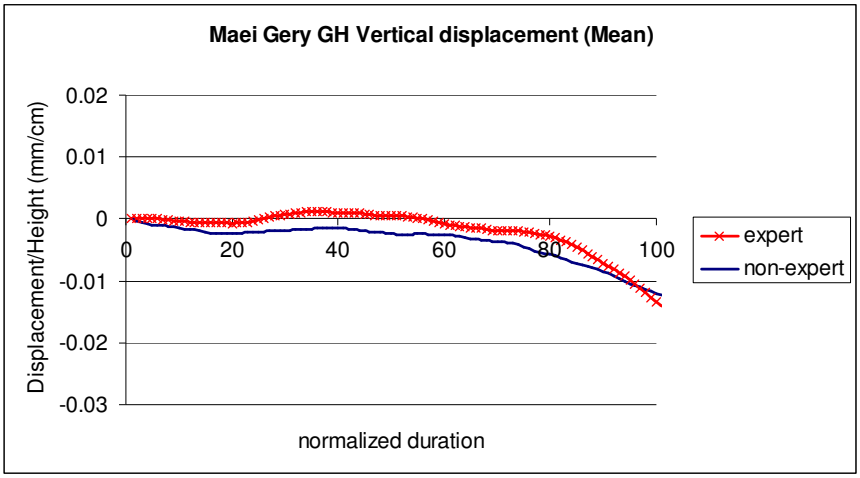


شکل ۱۲: منحنی تغییرات زاویه آرنج در اجرای حرکت زوکی برای فرد ماهر و با مهارت متوسط

۵-۲ حرکت مایی‌گری

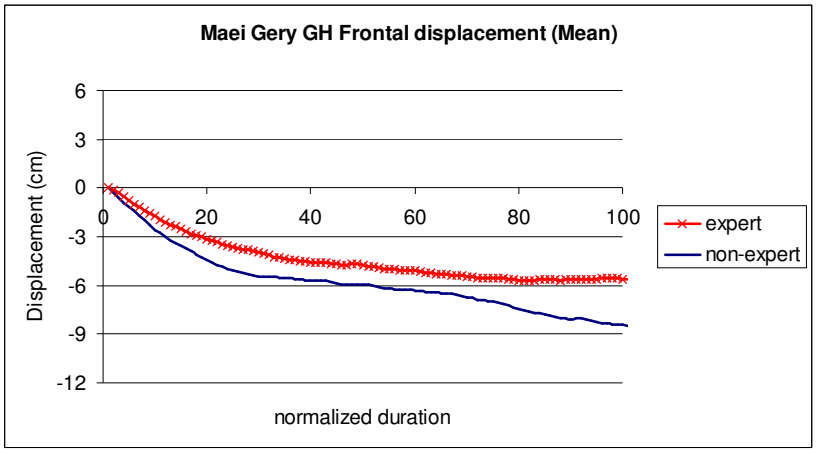
نتایج نهایی مقایسه بین سینماتیک حرکت دو گروه ماهر و با مهارت متوسط حرکت مایی‌گری در نمودارهای شکل های ۱۳ تا ۱۸ ارائه شده‌اند. در شکل ۱۳ جابجائی قائم متوسط مارکر شانه سمت ضربه در افراد ماهر و با مهارت متوسط پس از نرمالیزاسیون بر حسب قد افراد مقایسه شده اند. مسیر جابجایی قائم مارکر شانه در گروه‌های ماهر و با مهارت متوسط تقریباً مشابه بود. در حین اجرای حرکت، انتقال تدریجی شانه به سمت پایین در هر دو گروه مشاهده شد که در لحظه نهایی (اصابت ضربه) به پایین‌ترین ارتفاع خود رسید. با وجود این

برخی تفاوتهای جزیی در منحنی متوسط دو گروه مشاهده گردید که از نظر آماری معنادار نبود. از جمله بجز در لحظه نهایی، در طی مسیر حرکت و بخصوص ۶۰٪ ابتدایی سیکل (تا آغاز پرتاب پای ضربه)، کاهش ارتفاع شانه در گروه ماهر کمتر از گروه با مهارت متوسط بود. همچنین مقایسه آماری جابجائی قائم مارکر شانه در افراد هر گروه با یکدیگر نشان داد که حرکت در افراد گروه ماهر با مشابهت بیشتری انجام شده است. از جمله انحراف معیار برای جابجایی نهایی برای افراد گروه ماهر معادل ۰/۰۰۶۹± و برای افراد گروه با مهارت متوسط بیش از ۰/۰۱۱۳± میلیمتر بر سانتی‌متر بدست آمد.



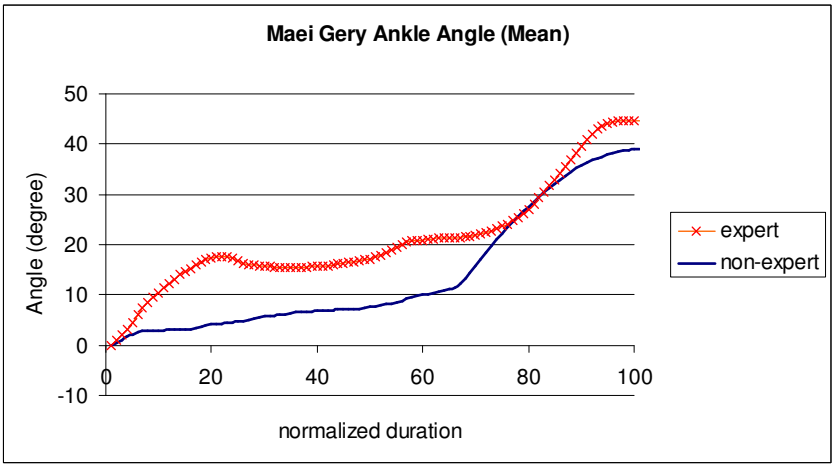
شکل ۱۳: مقایسه جابجائی مارکر شانه در راستای قائم (Z) در حرکت مایی‌گری برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

در شکل ۱۴ جابجایی عرضی متوسط مارکر شانه سمت ضربه حین انجام حرکت برای دو گروه ماهر و با مهارت متوسط نشان داده شده اند. جابجایی عرضی مارکر مزبور، که ناشی از چرخش شانه سمت ضربه به سمت داخل است، برای دو گروه تقریباً مشابه ولی در گروه ماهر اندکی کمتر بود. بخصوص در فاصله آغاز پرتاب پای ضربه (۶۰٪ سیکل) تا اصابت آن (۱۰۰٪ سیکل) تفاوت موقعیت عرضی شانه در افراد گروه ماهر معنادار نبود اما این تفاوت برای گروه با مهارت متوسط قابل ملاحظه و معنادار بود (α=۰/۰۱). همچنین مقایسه آماری جابجائی عرضی مارکر شانه در افراد هر گروه با یکدیگر نشان داد که حرکت در افراد گروه ماهر با مشابهت بیشتری انجام شده است. از جمله انحراف معیار برای جابجایی نهایی برای افراد گروه ماهر معادل ۲/۶۶± و برای افراد گروه با مهارت متوسط بیش از ۶/۲۰± سانتی‌متر بدست آمد.



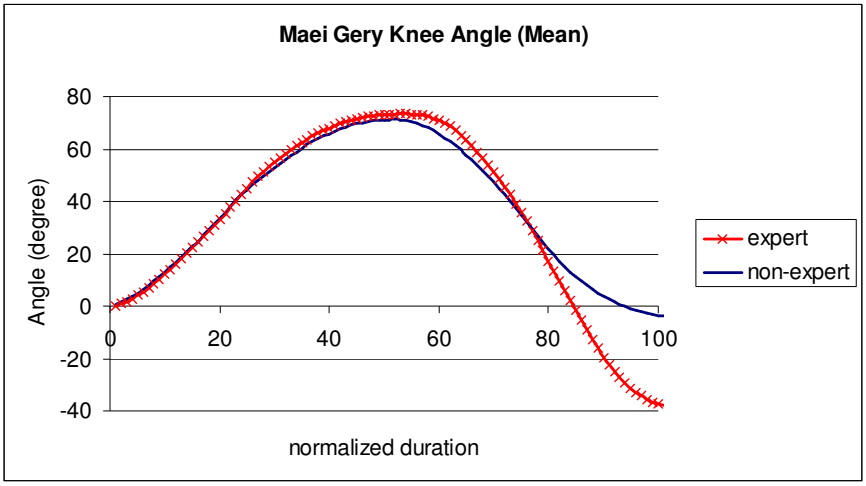
شکل ۱۴: مقایسه جابجائی مارکر شانه در راستای عرضی (X) در حرکت مایی‌گری برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

در شکل ۱۵ تغییرات زاویه‌ای متوسط مفصل مچ پا در دو گروه کاراته‌کاهای ماهر و با مهارت متوسط نشان داده شده‌است. چنانکه مشاهده می‌شود، حرکت پلنتار فلکشن مفصل مچ پا در حین حرکت در گروه ماهر در سه مرحله انجام شد که بیشترین تغییرات زاویه‌ای مربوط به مراحل ابتدایی و نهایی حرکت بود. اما در گروه با مهارت متوسط حرکت پلنتار فلکشن مچ پا در مراحل ابتدایی و میانی حرکت (تا لحظه آغاز پرتاب پای ضربه) اندک بود و عمدتا در مرحله نهایی حرکت صورت پذیرفت. این تفاوت در الگوی حرکتی مفصل مچ پا در بررسی آماری نیز مورد تایید قرار گرفت به گونه‌ای‌که برخلاف گروه با مهارت متوسط که تفاوت زاویه مچ پای آنها در مرحله ابتدایی حرکت (۰٪ تا ۲۰٪ سیکل) معنادار نبود، این تفاوت برای گروه ماهر قابل ملاحظه و معنادار بود (α=۰/۰۰۱). این امر سبب شد که میانگین زاویه مچ دو گروه در ۲۰٪ سیکل دارای تفاوت معنادار باشد (α=۰/۰۰۶). اما میزان پلنتار فلکشن نهایی در انتهای حرکت برای هر دو گروه تقریباً مشابه بود.



شکل ۱۵: تغییرات زاویه مچ پا در حرکت مایی‌گری برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

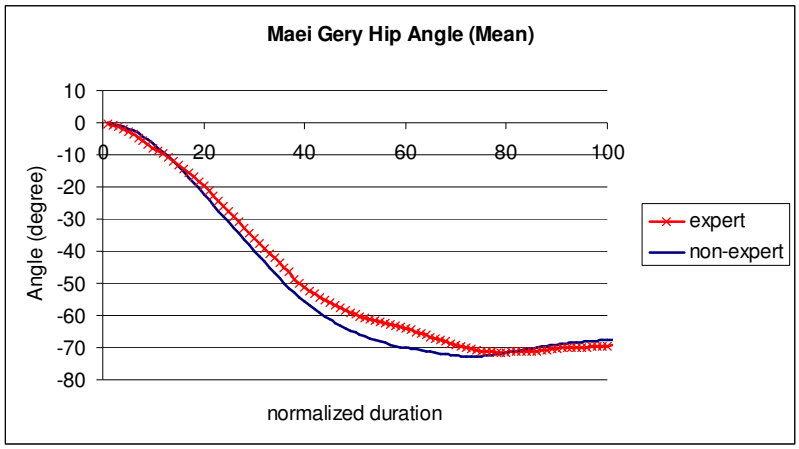
در شکل ۱۶ تغییرات زاویه‌ای متوسط مفصل زانو در طی حرکت در دو گروه کاراته‌کاهای ماهر و با مهارت متوسط نشان داده شده‌است. الگوی کلی حرکت مفصل زانو در دو گروه به میزان زیادی مشابه بود. در ابتدای حرکت، فلکشن زانو از حالت خمیدگی جزیی اولیه به میزان حدود ۷۵ درجه صورت پذیرفت تا زاویه فلکشن حدود ۱۰۰ درجه حاصل شود و سپس در مرحله پرتاب پای ضربه، زانو به سرعت به حالت بازشدگی کامل نزدیک شد. با وجود این بررسی تفصیلی تغییرات زاویه زانو در افراد دو گروه نشان دهنده تفاوت مهارتی آنها در اجرای الگوی کلی فوق بود. در مقایسه افراد گروه ماهر با یکدیگر، تغییرات زاویه زانو در حین حرکت کاملا مشابه بود بطوری‌که انحراف معیار زاویه زانوی حداکثر ۵/۲۶± و انحراف معیار زاویه زانو در انتهای حرکت ۶/۷۹± درجه بدست آمد. در مقابل، در افراد گروه با مهارت متوسط تفاوتهای قابل توجهی در تغییرات زاویه زانو مشاهده گردید. بطوری‌که انحراف معیار زاویه زانوی حداکثر ۱۰/۵۲± و انحراف معیار زاویه زانو در انتهای حرکت ۴۷/۸۰± درجه محاسبه شدند.



شکل ۱۶: تغییرات زاویه زانو در حرکت مایی‌گری برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

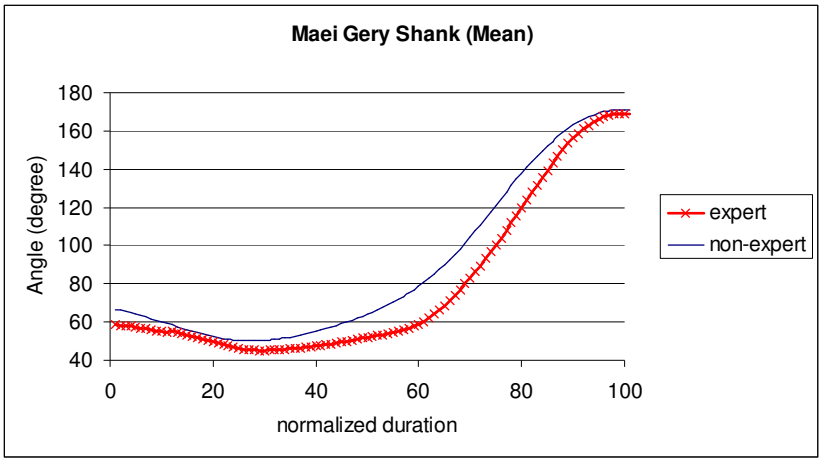
در شکل ۱۷ تغییرات زاویه‌ای متوسط مفصل هیپ در طی حرکت در دو گروه کاراته‌کاهای ماهر و با مهارت متوسط نشان داده شده‌است. الگوی کلی حرکت مفصل هیپ در دو گروه کاملا مشابه بود. در مراحل ابتدایی و میانی حرکت، زاویه خمیدگی مفصل هیپ بصورت پیوسته افزایش یافت تا به حداکثر آن در لحظات آغازین پرتاب پای ضربه (حدود ۷۰٪ سیکل) رسید و پس از آن تا انتهای حرکت (اصابت ضربه) بصورت جزیی کاهش یافت. با وجود این بررسی تفصیلی تغییرات زاویه مفصل هیپ در افراد هر گروه نشان دهنده تفاوت مهارتی آنها در اجرای الگوی کلی فوق بود. مقایسه آماری نشان داد که حرکت مفصل هیپ در افراد گروه ماهر

با مشابهت بیشتری انجام شده است. از جمله انحراف معیار برای زاویه خمش هیپ در ۵۰٪ و ۱۰۰٪ سیکل برای افراد گروه ماهر به ترتیب معادل ۱۱/۲۸± و ۶/۶۹± درجه و برای افراد گروه با مهارت متوسط به ترتیب معادل ۱۷/۷۸ ± و ۸/۹۶± درجه بدست آمد.



شکل ۱۷: تغییرات زاویه هیپ در حرکت مایی‌گری برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

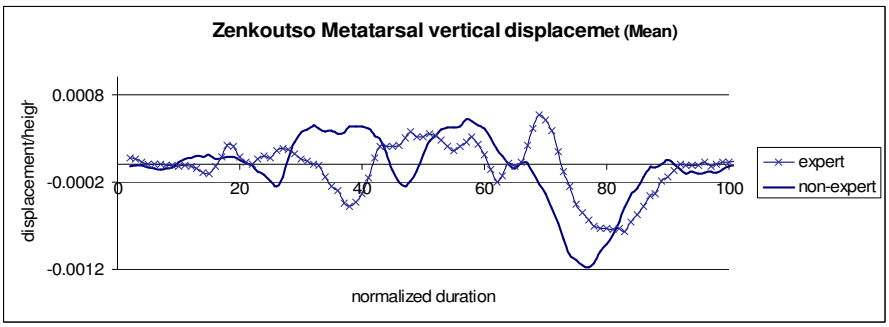
شکل ۱۸ تغییرات زاویه‌ای متوسط ساق با افق را در حین حرکت مایی‌گری برای دو گروه ماهر و با مهارت متوسط نشان می‌دهد. الگوی کلی حرکت در دو گروه تقریباً مشابه بود. در مراحل ابتدایی و میانی حرکت که ساق در راستای قائم از زمین بلند می‌شود (شکل ۳-ب)، زاویه آن با افق تغییراتی جزئی می‌یابد و سپس در حین پرتاب ضربه (شکل ۳-ج) افزایش سریعی را نشان می‌دهد. با وجود این تفاوتهای آماری متعددی در تغییرات زاویه ساق دو گروه مشاهده گردید. از جمله درابتدای حرکت زاویه ساق افراد ماهر (با میانگین ۵۸/۵ و انحراف معیار ۴/۳ درجه) کمتر از افراد غیر ماهر (با میانگین ۶۶/۶ و انحراف معیار ۳/۸ درجه) بود (α=۰/۰۰۲). سرانجام بررسی تفصیلی تغییرات زاویه ساق در افراد هر گروه نشان داد که حرکت ساق در افراد گروه ماهر با مشابهت بیشتری انجام شده است. از جمله انحراف معیار برای زاویه ساق در ۶۰٪ سیکل برای افراد گروه ماهر معادل ۸/۹۳± و برای افراد گروه با مهارت متوسط معادل ۱۹/۶۷± درجه بدست آمد.



شکل ۹: تغییرات زاویه ساق با افق در حرکت مایی‌گری برای افراد ماهر و غیر ماهر

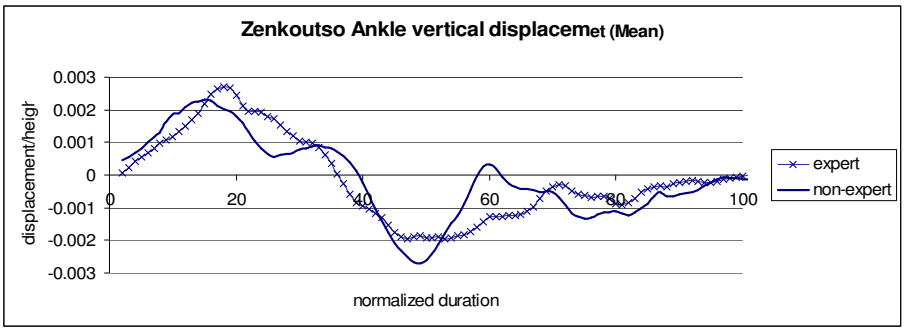
۳-۵ حرکت زنکوتسوداچی

برای حرکت زنکوتسوداچی بررسی و مقایسه متغیرهای جابجائی مارکرهای شانه، متاتارس و مچ پا در جهت عمود (Z)؛ زاویه ساق و تنه نسبت به افق به ویژه در آخر حرکت و تغییرات زاویه زانو (نمایانگر الگوی حرکت) در نظر گرفته شدند. شکل ۱۷ جابجایی مارکر متاتارسال را در راستای عمودی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با وجود تشابه الگوی مسیر حرکت، این جابجایی برای فرد ماهر کمی کمتر از فرد با مهارت متوسط است.



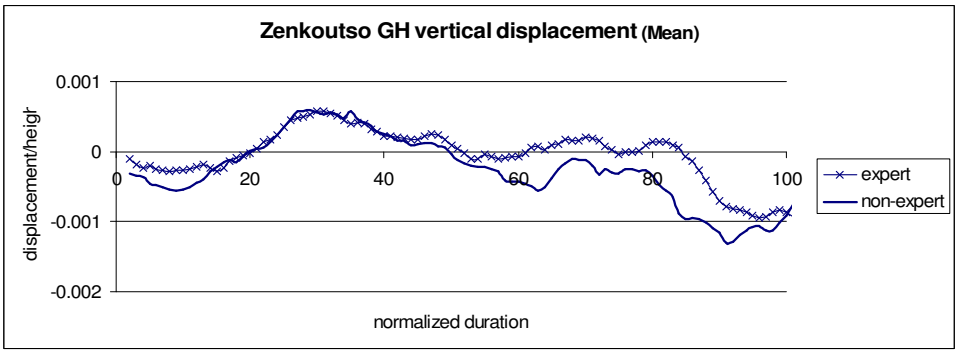
شکل ۱۷: جابجایی عمودی مارکر متاتارسال در حرکت زنکوتسوداچی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

شکل ۱۸ جابجایی عمودی مارکر مچ پا را نمایش می‌دهد. در این مورد نیز وجود شباهت الگوی مسیر حرکت افراد ماهر و با مهارت متوسط مشاهده می‌شود و تفاوت محسوسی بین آنها نمی‌توان مشاهده کرد.



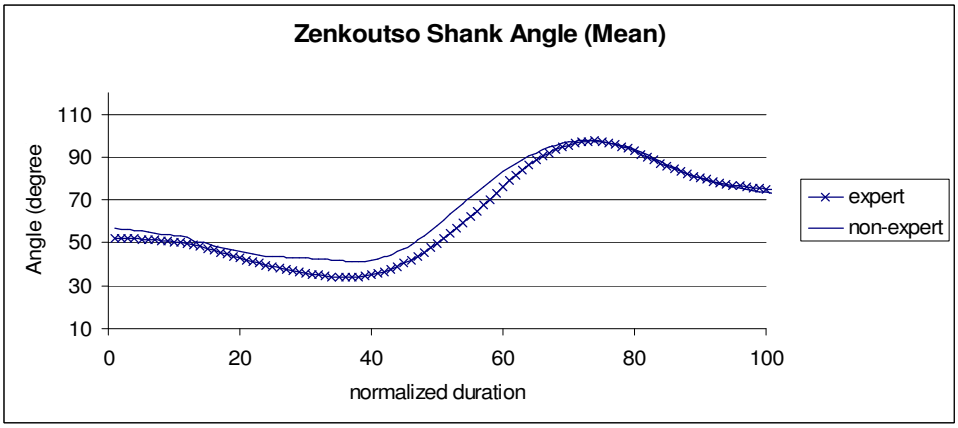
شکل ۱۸: جابجایی عمودی مارکر مچ پا در حرکت زنکوتسوداچی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

در شکل ۱۹ جابجایی عمودی مارکر شانه نشان داده شده است. مسیر حرکت در دو گروه مورد بررسی با یکدیگر تفاوت ندارد و هر دو گروه تغییرات مشابه‌ای را نشان می‌دهند.



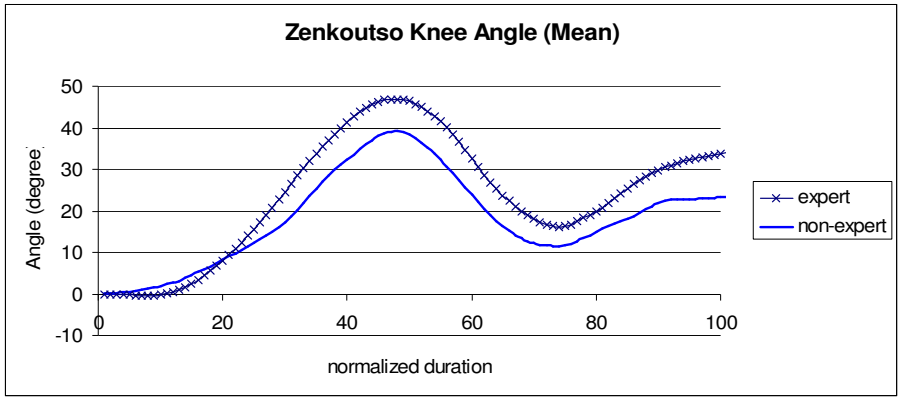
شکل ۱۹: جابجایی عمودی مارکر شانه در حرکت زنکوتسوداچی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

شکل ۲۰ تغییرات زاویه بین ساق پا و محور Y (در جهت حرکت) را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، زاویه ساق افراد ماهر نسبت به افق در ابتدای حرکت کمی بیشتر از افراد با مهارت متوسط بوده و همچنین مسیر تغییرات برای افراد ماهر از تقارن بیشتری برخوردار است.



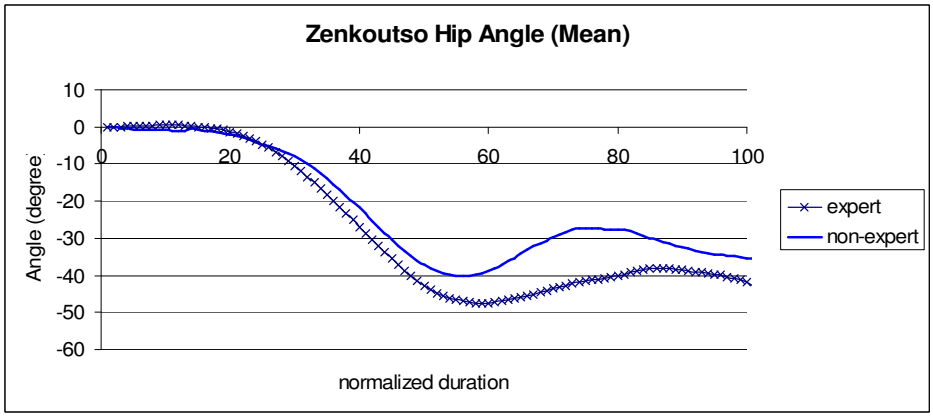
شکل ۲۰: تغییرات زاویه بین ساق پا و محور Y در حرکت زنکوتسوداچی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

در شکل ۲۱ مشاهده می‌شود که دامنه تغییرات زاویه زانو برای افراد ماهر بیشتر از افراد با مهارت متوسط است و مقدار این زاویه در انتهای حرکت نیز برای افراد ماهر بیشتر از افراد با مهارت متوسط می‌باشد. همچنین افراد ماهر و افراد با مهارت متوسط تغییرات مشابه‌ای را در طول مسیر نشان می‌دهند.



شکل ۲۱: تغییرات زاویه زانو در حرکت زنکتسو داچی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

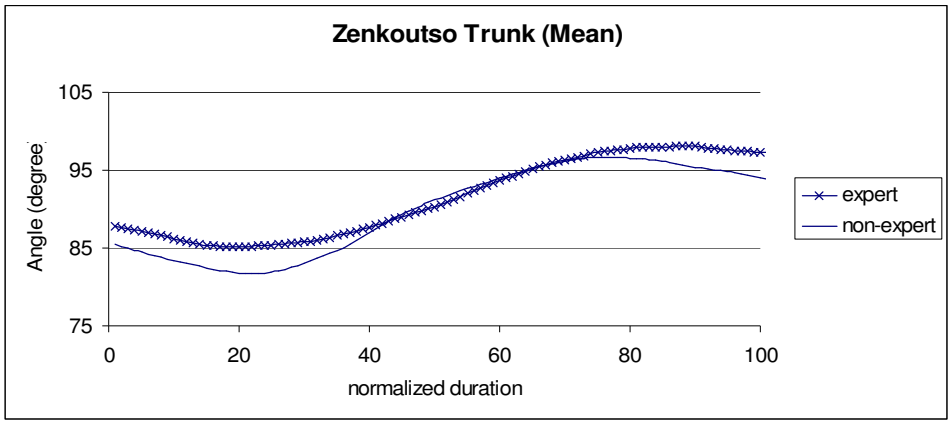
شکل ۲۲ نشان می‌دهد که تغییرات بیشترین و کمترین زاویه هیپ در حرکت زنکتسوداچی برای افراد با مهارت متوسط کمی کمتر از افراد ماهر است. البته الگوی تغییرات برای این دو گروه تا حدی مشابه است.



شکل ۲۲: تغییرات زاویه هیپ در حرکت زنکتسو داچی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

شکل ۲۳ تغییرات زاویه تنه با افق در حرکت زنکتسوداچی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط را نمایش می‌دهد. در ابتدای حرکت زاویه تنه برای افراد ماهر به ۹۰ درجه نزدیکتر است و با طی مسیرهای تا حدی مشابه در انتهای مسیر نیز این زاویه برای افراد ماهر کمی بیشتر است.

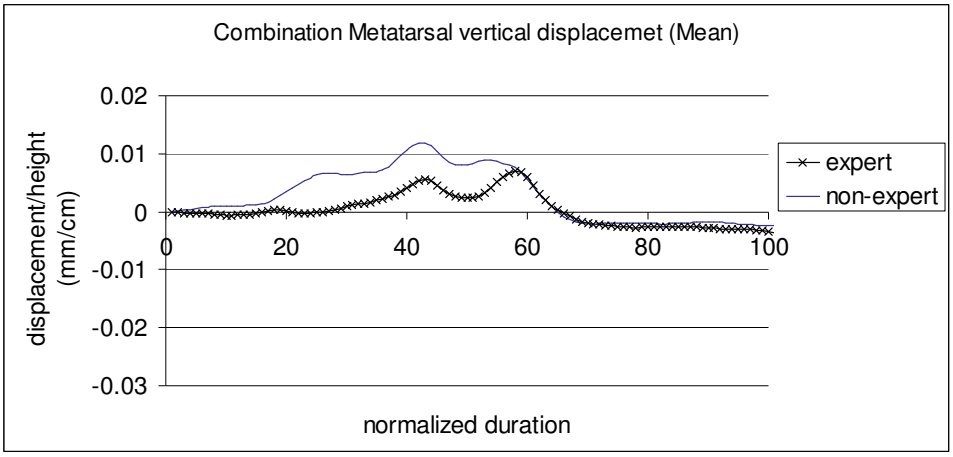
با وجود این تفاوت آماری در کمترین زاویه تنه دو گروه مشاهده گردید. به طوری که کمترین زاویه تنه برای افراد ماهر (با میانگین ۸۴/۷۶۳۳ و انحراف معیار ۳/۹۳۶۳ درجه) نسبت به افراد غیر ماهر (با میانگین ۸۰/۵۲۴۶ و انحراف معیار ۲/۳۲۰۷ درجه) به ۹۰ درجه نزدیکتر بود (α=۰/۰۲۵)



شکل ۲۳: تغییرات زاویه تنه با افق در حرکت زنکتسوداچی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

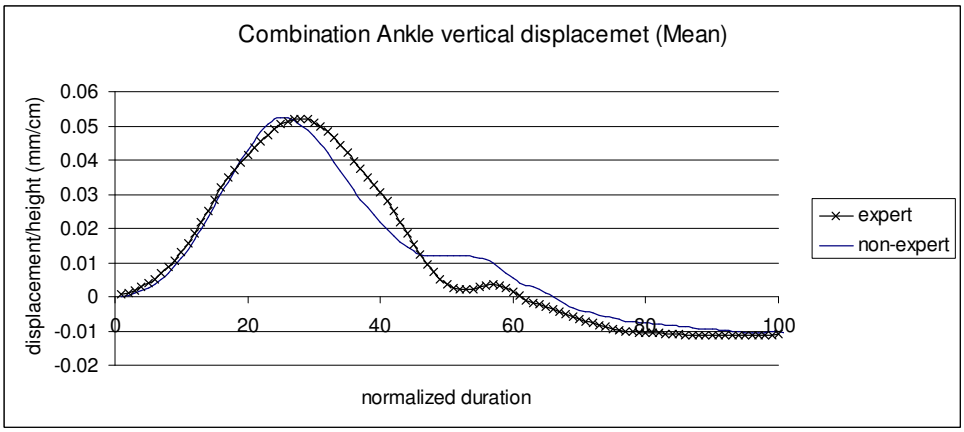
۴-۵ حرکت ترکیبی اویی‌زوکی و زنکوتسوداچی

مقایسه بین سینماتیک حرکت ترکیبی اویی‌زوکی و زنکوتسوداچی دو گروه ماهر و با مهارت متوسط در نمودارهای شکل های ۲۴ تا ۳۱ ارائه شده‌اند. شکل ۲۴ جابجائی قائم متوسط مارکر متاتارس در افراد ماهر و با مهارت متوسط پس از نرمالیزاسیون بر حسب قد افراد مقایسه شده اند. میزان این جابجایی برای افراد ماهر به ویژه از ابتدا تا ۶۰ درصد حرکت کمتر از افراد با مهارت متوسط مشاهده شده است. البته دامنه تغییرات در میان اعضای هر گروه بسیار متغیر بود به طوری که بیشترین انحراف معیار تقریباً در ۶۰ درصد سیکل حرکت با مقدار۰/۰۱۵± برای گروه ماهر و ۰/۰۱۷± برای گروه با مهارت متوسط اتفاق افتاد.



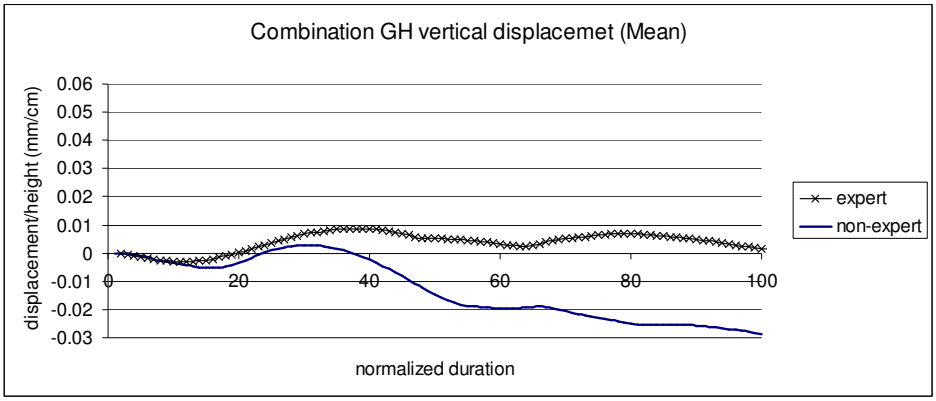
شکل ۲۴: جابجایی عمودی مارکر متاتارسال در حرکت ترکیبی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

در شکل ۲۵ جابجائی قائم متوسط مارکر مچ پا در افراد ماهر و با مهارت متوسط پس از نرمالیزاسیون بر حسب قد افراد نشان داده شده است. در بررسی جابجایی عمودی مچ پا تفاوت محسوسی بین دو گروه مشاهده نمی‌شود.



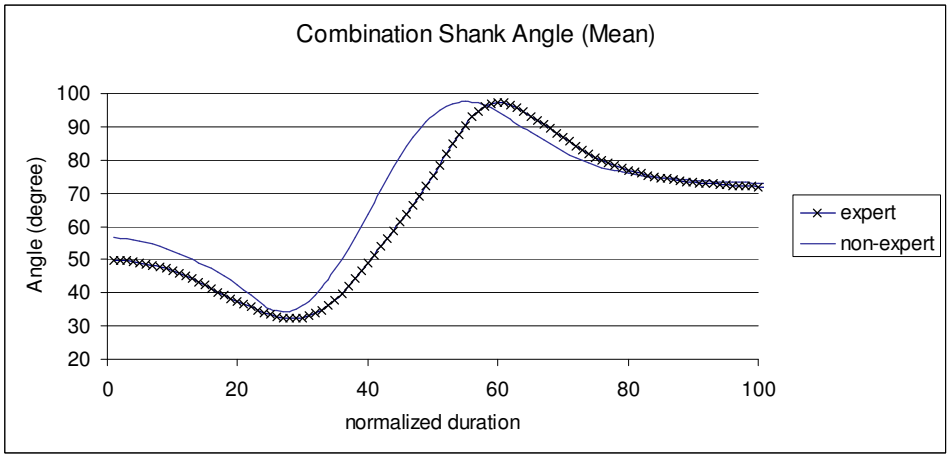
شکل ۲۵: جابجایی عمودی مارکر مچ پا در حرکت ترکیبی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

شکل ۲۶ جابجائی قائم متوسط مارکر شانه در افراد ماهر و با مهارت متوسط پس از نرمالیزاسیون بر حسب قد افراد مقایسه شده اند. جابجایی عمودی مارکر شانه در گروه ماهر تقریباً در یک ارتفاع نسبتاً ثابت صورت گرفته و اما جابجایی عمودی مارکر در گروه با مهارت متوسط از نیمه تا انتهای حرکت سیر نزولی داشته است. البته دامنه تغییرات در میان اعضای هر گروه بسیار متغیر بود به طوری بیشترین انحراف معیار تقریباً از۶۵ درصد سیکل حرکت با مقدار بیش از ۰/۰۱۳± برای گروه ماهر و از ۸۰ درصد سیکل با مقدار بیش از ۰/۰۱۵± برای گروه با مهارت متوسط اتفاق افتاد.



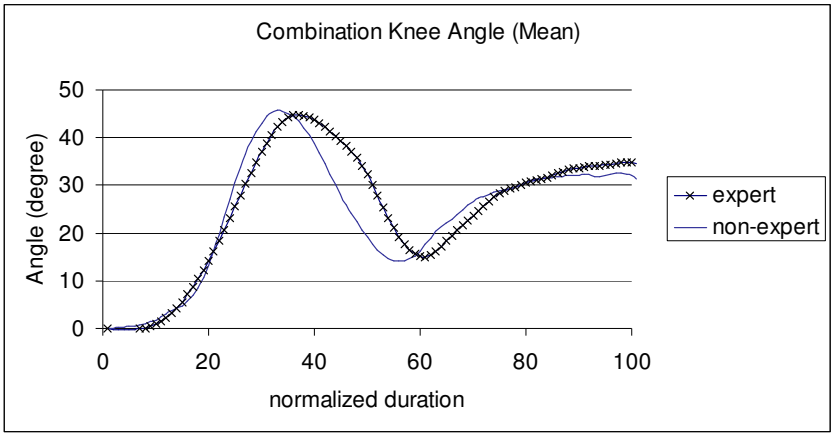
شکل ۲۶: جابجایی عمودی مارکر شانه در حرکت ترکیبی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

در شکل ۲۷ تغییرات زاویه‌ای متوسط ساق پا با سطح افق در دو گروه کاراته‌کاهای ماهر و با مهارت متوسط نشان داده شده‌است. برای افراد ماهر تقارن بیشتری در الگوی تغییرات زاویه بین ساق پا و محور Y مشاهده می‌شود. البته این زاویه برای افراد ماهر در ابتدای حرکت اندکی کمتر و در انتهای حرکت برابر با زاویه ساق پای افراد غیرماهر است.



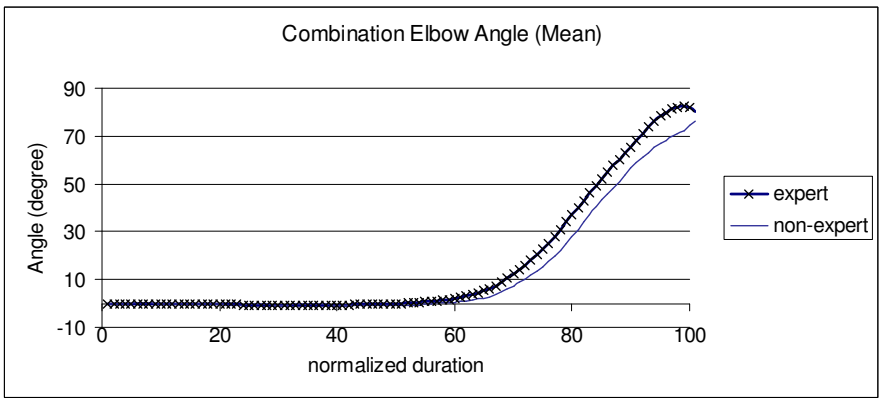
شکل ۲۷: زاویه بین ساق پا و محور Y در حرکت ترکیبی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

الگوی تغییرات زاویه‌های زانو و آرنج تا حد زیادی شبیه به موارد مشاهده شده در هر یک از حرکات جداگانه زوکی و زنکوتسوداچی است. در شکل ۲۸ تغییرات زاویه‌ای متوسط مفصل زانو در طی حرکت در دو گروه کاراته‌کاهای ماهر و با مهارت متوسط مقایسه شده‌اند. منحنی میانگین تغییرات زاویه زانو از الگوی مشابهی برای افراد با مهارت متوسط و ماهر تبعیت می‌کند. البته در هر دو گروه (به ویژه گروه ماهر) تغییرات زاویه زانو در دامنه تغییرات متنوعی رخ داد.



شکل ۲۸: تغییرات زاویه زانو در حرکت ترکیبی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

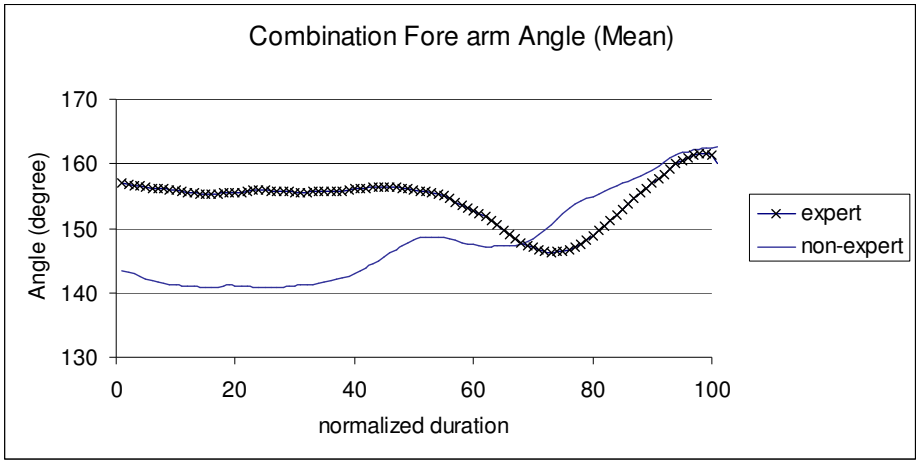
در شکل ۲۹ تغییرات زاویه‌ای متوسط مفصل آرنج در طی حرکت در دو گروه کاراته‌کاهای ماهر و با مهارت متوسط نشان داده شده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود الگوی تغییرات در دو گروه بسیار مشابه است. باید توجه داشت در ابتدای حرکت و تا زمانی که پای مقدم از کنار پای دیگر عبور می‌کند، برای هر دو گروه تغییری در زاویه آرنج مشاهده نمی‌شود.



شکل ۲۹: تغییرات زاویه آرنج در حرکت ترکیبی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

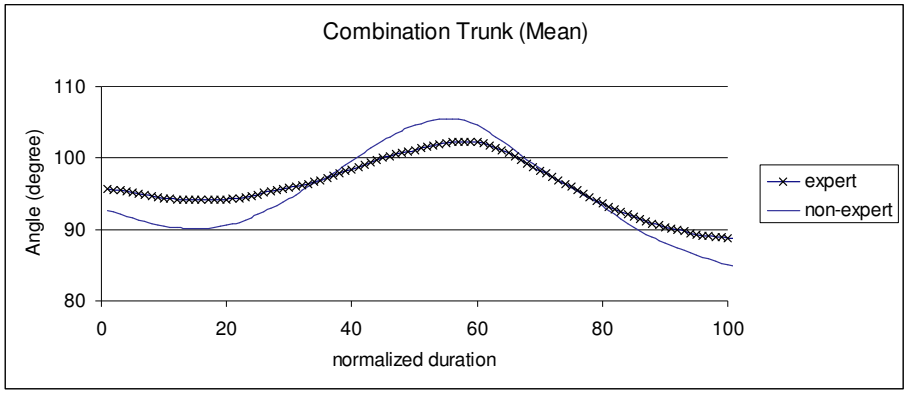
در شکل ۳۰ تغییرات زاویه ساعد با افق در طی حرکت در دو گروه کاراته‌کاهای ماهر و با مهارت متوسط مقایسه شده‌اند. تغییرات این زاویه برای افراد ماهر تا نزدیک به ۶۰ درصد سیکل حرکت خطی بوده و سپس با یک الگوی سینوسی همراه است. همچنین دامنه تغییرات آن در کل مسیر کمتر از افراد با مهارت متوسط است. در حالیکه این زاویه با مقدار کمتری در گروه افراد با مهارت متوسط آغاز می‌شود و در کل حرکت سیر صعودی

دارد (شکل ۳۰). با وجود این تفاوتهای آماری متعددی در تغییرات زاویه ساعد دو گروه مشاهده گردید. از جمله زاویه ساعد در ابتدای حرکت افراد ماهر (با میانگین ۱۵۶/۹۶۳۳ و انحراف معیار ۵/۸۷۶۸ درجه) نسبت به افراد غیر ماهر (با میانگین ۱۴۳/۷۳۸۶ و انحراف معیار ۴/۷۴۷۱ درجه) به حالت افقی نزدیکتر بود (α=۰/۰۰۰) همچنین اختلاف زاویه ساعد در ابتدا و انتهای حرکت افراد ماهر (با میانگین ۴/۶۳۶۷ و انحراف معیار ۱۰/۸۰۶۳ درجه) کمتر از افراد غیر ماهر (با میانگین ۱۹/۸۲۴۳ و انحراف معیار ۷/۶۲۲۱ درجه) بود (α=۰/۰۰۷). تغییرات این زاویه برای گروه ماهر با بیشترین انحراف معیار ۸/۱۲± و گروه با مهارت متوسط با بیشترین انحراف معیار ۱۰/۱۸± درجه مشاهده شد.



شکل ۳۰: تغییرات زاویه ساعد با افق در حرکت ترکیبی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

در شکل ۳۱ تغییرات زاویه‌ای متوسط مفصل آرنج در طی حرکت ترکیبی در دو گروه کاراته‌کاهای ماهر و با مهارت متوسط نشان داده شده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود، میانگین ماکزیمم زاویه تنه برای افراد با مهارت متوسط بیشتر از افراد ماهر بوده است. همچنین در کل حرکت گروه با مهارت متوسط دامنه تغییرات بزرگتری را به نمایش گذاشته اند. به طوری که بیشترین و کمترین زاویه تنه طی حرکت برای گروه ماهر (به ترتیب با میانگین ۱۰۳/۱۳۵۳ و انحراف معیار ۴/۱۲۰۹ درجه – میانگین ۸۷/۹۲۵۴ و انحراف معیار ۳/۷۸۱۵ درجه) کمتر از گروه با مهارت متوسط (به ترتیب با میانگین ۱۰۷/۴۳۵۷ و انحراف معیار ۴/۲۴۲۵ درجه – میانگین ۸۴/۷۳۰۹ و انحراف معیار ۱/۹۷۳۳ درجه) بوده است (α≤۰/۰۶۳). همچنین زاویه تنه در ابتدای حرکت افراد ماهر (با میانگین ۹۵/۶۸۱۲ و انحراف معیار ۲/۳۶۸۸ درجه) بیشتر از افراد غیر ماهر (با میانگین ۹۲/۶۵۹۶ و انحراف معیار ۲/۲۷۲۱ درجه) بود (α=۰/۰۲۲). بیشترین انحراف معیار گروه ماهر در انتهای حرکت با حدود ۵/۶± و برای گروه با مهارت متوسط در حدود ۷۰ درصد سیکل حرکت با مقدار ۷± درجه رخ داده است.



شکل ۳۱: تغییرات زاویه تنه در حرکت ترکیبی برای افراد ماهر و با مهارت متوسط

۶ بحث و نتیجه‌گیری نهایی

در سالهای اخیر مطالعات چندی در حوزه تحلیل بیومکانیکی حرکات بدن انسان با استفاده از روش تصویربرداری در کشور انجام شده است [۱۲-۹]. اما تحقیق حاضر یکی از نخستین تحقیقات انجام شده در زمینه سینماتیک حرکات کاراته محسوب می‌گردد. از جمله مهمترین محدودیتهای این تحقیق، می‌توان به سرعت نسبتاً پایین تصویربرداری (۵۰ فریم در ثانیه) اشاره کرد که برای مطالعه فعالیتهایی نظیر راه رفتن، کافی بنظر می‌رسد اما برای ثبت و تحلیل حرکات ورزشی به سرعتهای به‌مراتب بیشتری (حدود ۲۰۰ فریم بر ثانیه) نیاز است. این محدودیت سبب شده است که در تحلیل نتایج تنها به مؤلفه‌های دوران و جابجایی (صرفنظر از ظرف زمانی) توجه شود و از تحلیل سرعتها و شتابها که پارامترهای بسیار مهم و تعیین کننده‌ای در حرکات ورزشی محسوب می‌شوند صرف‌نظر گردد.

بدلیل عدم وجود تحقیقات مشابه در زمینه تحلیل سینماتیک ۴ حرکت کاتای مورد مطالعه، امکان مقایسه و ارزیابی نتایج حاصل از این مطالعه با مطالعات پیشین وجود ندارد، اما با مقایسه مراحل حرکات و نتایج حاصله می‌توان دریافت که انتخاب مدل و ثبت و تحلیل حرکت بصورت مناسب انجام شده به گونه‌ایکه طبیعت و الگوی کلی حرکت بخوبی در نمودارهای حرکتی مفاصل قابل مشاهده است. در عین حال، نتایج بدست آمده نکات دقیق و جزیی از سینماتیک حرکت را بدست می‌دهند که در مشاهده عادی مربیان قابل درک نمی‌باشد.

به طوری که درباره حرکت زوکی می‌توان اظهار داشت که افراد ماهر اصول اولیه انجام این حرکت را بهتر از افراد با مهارت متوسط به کار می‌برند. همچنین در مورد الگوی حرکت نیز خطی بودن حرکت عمودی آرنج افراد ماهر در ابتدای مسیر کاملاً مشهود است که می‌توان آن را به بکارگیری دقت زیاد توسط افراد ماهر حین اجرای این حرکت نسبت داد. زیرا در اجرای این حرکت توصیه می‌شود که تا ۱/۳ مسیر حرکت دست از آرنج نچرخد که خود سبب عدم تغییر عمودی آرنج می‌شود. البته در مورد افراد مورد آزمایش این عدم تغییر تا ۲۰٪

وجود دارد. منحنی تغییرات زاویه آرنج نیز نشان می‌دهد که زاویه آرنج برای افراد ماهر در انتهای حرکت بیشتر از افراد با مهارت متوسط است. علت این امر را می‌توان در کاملتر بودن حرکت افراد ماهر دانست. بدین صورت که در انتهای مسیر دست زوکی افراد ماهر کشیده‌تر است.

در حرکت مایی‌گری ضرورت و اهمیت حفظ ارتفاع تنه و عدم چرخش آن در حین حرکت مایی‌گری، که در متون آموزشی مربوطه اغلب مورد غفلت قرار گرفته است، بخوبی در الگوی اجرا شده توسط گروه ماهر مشاهده می‌گردد (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). تغییرات ارتفاع تنه (حرکت قائم مارکر شانه) بخصوص پیش از پرتاب پای ضربه و چرخش آن (حرکت عرضی مارکر شانه) بخصوص در حین پرتاب پای مزبور در گروه ماهر نسبت به گروه با مهارت متوسط از دامنه کوچکتری برخوردار بود و با نوسان کمتری رخ می‌داد. همچنین مقایسه نتایج تغییرات زاویه‌ای مفصل مچ پای ضربه (شکل ۱۵) در دو گروه ماهر و با مهارت متوسط، حاکی از اهمیت توجه به پلنتار فلکشن مچ در لحظات ابتدایی حرکت است که در گروه با مهارت متوسط رعایت نشده است. در مرحله ابتدایی حرکت (۰٪ تا۲۰٪ سیکل) پلنتار فلکشن مفصل مچ پای ضربه تنها در گروه ماهر مشاهده شد و تغییرات زاویه‌ای مفصل در گروه با مهارت متوسط قابل ملاحظه نبود. افزایش تدریجی و سه مرحله‌ای زاویه مچ در گروه ماهر، در مقایسه با افزایش نسبتاً سریع آن در انتهای حرکت در گروه با مهارت متوسط، امکان دستیابی به یک حرکت یکنواخت و زیبا را فراهم می‌سازد. سرانجام، اهمیت حفظ راستای ساق پای ضربه در حین بالا بردن آن در مراحل ابتدایی و میانی حرکت مایی‌گری (پیش از شروع پرتاب) که تاکنون مورد توجه قرار نگرفته است در الگوی اجرا شده توسط گروه ماهر بخوبی رعایت شده است (شکل ۱۸). تغییرات زاویه ساق در فاصله ۰٪ تا ۶۰٪ سیکل در گروه ماهر ناچیز ولی در گروه با مهارت متوسط قابل ملاحظه بود. علاوه بر تفاوتهای مشاهده شده بین گروه‌های ماهر و با مهارت متوسط در اجرای الگوی حرکتی، بررسی تفصیلی سینماتیک حرکت در افراد دو گروه نشان دهنده تفاوت مهارتی آنها در اجرای الگوی کلی فوق بود. مقایسه آماری انحراف معیار متغیرهای سینماتیک در افراد دو گروه نشان داد که اجرای حرکت مایی‌گری در افراد گروه ماهر (شامل جابجایی قائم و چرخش تنه و تغییرات زاویه‌ای مفاصل مچ پا، زانو و هیپ) با مشابهت به مراتب بیشتری در مقایسه با افراد گروه با مهارت متوسط انجام شده است. این ویژگی بخصوص در حرکات مفصل زانو بارزتر بود به گونه‌ای که مشابهت نزدیکی در تغییرات زاویه‌ای مفصل زانو در افراد گروه ماهر و در مقابل پراکندگی قابل توجهی در تغییرات زاویه‌ای مفصل مزبور (بخصوص از آغاز پرتاب پای ضربه تا اصابت آن) در افراد گروه با مهارت متوسط مشاهده گردید. بی‌شک این پراکندگی نشان‌دهنده توانایی و مهارت کمتر گروه با مهارت متوسط در اجرای صحیح الگوی حرکتی و ضرورت آموزش و تمرین بیشتر افراد گروه مزبور است.

در حرکت زنکتسوداچی برای افراد ماهر با جابجایی عمودی کمتر مارکر متاتارسال و تفاوت کم در جابجایی عمودی مارکرهای مچ و شانه نسبت به افراد با مهارت متوسط مشاهده شده است. علت این امر می‌تواند ناشی از این واقعیت باشد که افراد ماهر سعی در بیشتر ثابت نگه داشتن ارتفاع متاتارسال برای جلوگیری از عدم تعادل خود دارند. ولی در مورد مچ و شانه می‌توان سرعت کم حرکت و تمرین زیاد هر دو گروه را علت عدم تفاوت دانست. الگوی تغییرات زاویه ساق نسبت به سطح افق برای افراد ماهر بیشتر و متقارن‌تر است که نشان‌دهنده آمادگی جسمی بالا و قویتر بودن عضلات افراد ماهر است، افراد با مهارت متوسط تغییرات کمتری را به نمایش گذاشتند. تغییرات زاویه زانو برای افراد ماهر به دلیل تغییرات زاویه ساق، بیشتر است با اینکه شباهت رفتاری مشاهده می‌شود. تغییرات زاویه هیپ در حرکت زنکتسوداچی برای افراد ماهر اندکی بیشتر از افراد با مهارت متوسط است. این امر به دلیل توصیه مربیان برای استفاده کردن از تغییرات زاویه مفصلی هیپ در صفحات ساژیتال و فرونتال است که در این مورد به سمت عقب نرفتن باسن در صفحه فرونتال حین اجرای حرکت برای فرد ماهر بیشتر مشاهده می‌شود. در مورد زاویه تنه نیز مشاهده می‌شود که کمترین زاویه تنه افراد ماهر بیشتر از افراد با مهارت متوسط است. این تفاوت به دلیل حرکت بیشتر تنه برای افراد با مهارت متوسط در حرکت رو به جلوی زنکتسوداچی و تلاش آنها برای حفظ زاویه‌ای نزدیک به ۹۰ درجه برای تنه است.

در حرکت ترکیبی اویی زوکی و زنکتسوداچی، تفاوت جابجایی مارکرهای متاتارسال و مچ تغییرات در دو گروه بسیار ناچیز است. علت را می‌توان سرعت پایین اجرای این تکنیک‌ها حین آزمون‌ها و همچنین فرصت فکر کردن به تکنیک برای هر دو گروه دانست. اما کم بودن دامنه جابجایی مارکر شانه در گروه ماهر نشانگر تلاش این گروه برای حفظ ارتفاع مرکز ثقل است. زاویه ساق برای افراد ماهر در ابتدای حرکت اندکی کمتر و در انتهای حرکت برابر با زاویه ساق پای افراد با مهارت متوسط است. این اختلاف نشان می‌دهد که افراد ماهر ساق و ران خود را در حالت کشیده‌تری نسبت به افراد با مهارت متوسط قرار داده‌اند. در ابتدای حرکت و تا زمانی که پا از کنار پای دیگر عبور می‌کند، برای هر دو گروه تغییری در زاویه آرنج مشاهده نمی‌شود و همان موارد ذکر شده در مورد تغییرات زاویه آرنج برای زوکی اینجا نیز صادق است. در مورد تغییر زاویه زانوی افراد با مهارت متوسط و ماهر تغییرات مشابه‌ای مشاهده می‌شود. که علت را در تمرینات زیاد هر دو گروه و همچنین سرعت کم اجرا می‌توان دانست. زاویه ساعد با افق برای افراد ماهر تا نزدیک به ۶۰ درصد حرکت، خطی بوده و همچنین تغییرات آن در کل مسیر کمتر از افراد با مهارت متوسط است. این مطلب بیانگر آن است که افراد ماهر تلاش اضافی در تغییر زیاد زاویه ساعد برای به جلو بردن آن انجام نداده‌اند که در نتیجه انرژی کمتری را صرف می‌کنند. در شکل ۳۱ مشاهده می‌شود که ماکزیمم زاویه تنه برای افراد با مهارت متوسط بیشتر از افراد ماهر

است و همچنین این افراد تنه خود را در دامنه بزرگتری حرکت داده اند که این امر به کم شدن تعادل این افراد منجر می‌شود.

باوجود این، در مجموع تفاوت مشاهده شده بین سینماتیک حرکات دو گروه در این مطالعه کمتر از حد انتظار بوده است و نتایج حاصله بیانگر آن است که الگوی کلی حرکت کمابیش توسط گروه با مهارت متوسط نیز رعایت شده است. این امر می‌تواند ناشی از این حقیقت باشد که افراد گروه مزبور مبتدی و غیر ماهر نبوده بلکه از تجربه حداقل ۶ سال تمرین کاراته برخوردار بوده اند. در عین حال، نباید از اهمیت ظرف زمانی اجرای مراحل مختلف حرکت و ویژگی‌های سرعت و شتاب که در این مطالعه از آنها صرفنظر شده است غافل شد. می‌توان انتظار داشت که در تحقیقات آتی که با استفاده از تجهیزات پیشرفته‌تر و و با درنظر گرفتن پارامترهای فوق انجام می‌شوند جزییات دقیقتری از تفاوت اجرای الگوی حرکتی توسط گروه قهرمانان ملی و سایر کاراته‌کاها بدست آید. با وجود این، مطالعه حاضر توانایی روشهای علمی ثبت و تحلیل حرکات ورزشی را در تشخیص برخی از جزییات الگوی حرکتی که اغلب از چشم مربیان و ورزشکاران دور می‌مانند اثبات می‌کند و توصیه‌های ارزنده‌ای را به منظور بهبود و ارتقا مهارتهای کاراته در اختیار می‌گذارد.

سپاسگزاری

نویسندگان لازم می‌دانند مراتب سپاس خود را از همکاری صمیمانه فدراسیون کاراته، مربیان تیم ملی، تیم ملی کاراته جمهوری اسلامی ایران و سایر کاراته‌کا ها شرکت کننده در این پژوهش ابراز نمایند. همچنین از یاری بی‌شائبه دانشجویان و مسئولین آزمایشگاه بیومکانیک دانشگاه صنعتی شریف قدردانی می‌شود. اجرای این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه الزهرا امکان‌پذیر گردید که نویسندگان مراتب قدردانی خود را در این زمینه ابراز می‌دارند.

مراجع:

1- John Corcoran,Microsoft ® Encarta ® Reference Library 2004. © 1993-2003 Microsoft Corporation.

2- Kuleš B, Mejovšek M. Kinematička i dinamička analiza karate udarca ushiro mawashi geri. Kineziologija (0351-1057) 2 (1997), 29; 40-46, http://bib.irb.hr/prikazi-rad?rad=30362&table=casopis

3-Jake N. Pearson. Kinematics and Kinetics of the Taekwon-Do Kick. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor of Physical Education with Honours at the University of Otago, Dunedin, New Zealand, 1997.

4- Chen C.Y., Huang C.F., Lee C.M., Lin Y.P. The biomechanical analysis of straight and flexural leg swing of the Chinese martial arts jumping front kick. 16th annual symposium of the International Society of Biomechanics in Sports, http://www.isbs98.uni-konstanz.de/Abstracts/Chen__Yu-Chung.pdf
5- Lin Y.P, Lee C.M & Tang R.P. Analysis of the Pressure Distribution Pattern & the Controlling Balance During Kick Movement of Tai-Chi Chuan, Abstracts from ISBS Symposium XVII 1999, http://www.education.ed.ac.uk/isbs-arc99/8.html#79
6- Chiu H.T & Shiang T.Y. A New Approach to Evaluate Karate Punch Techniques Abstracts from ISBS Symposium XVII 1999, http://www.education.ed.ac.uk/isbs-arc99/8.htm
7- Tsai Y.J, Liu G.C, Chen C.Y., Huang C.F., The Effect of Different Plyometric-Squat Training on Taekwondo Power Development in the Lower Extremity, Abstracts from ISBS Symposium XVII 1999, http://www.education.ed.ac.uk/isbs-arc99/8.htm
8- Robertson D.G.E., Fernando C, Hart M and Beaulieu F. Biomechanics of the karate front-kick.
http://www.health.uottawa.ca/biomech/lab/docs/wcb4_gr.pdf.
9- Farahmand F, Rezaeian T, and et al. Kinematic and dynamic analysis of the gait cycle of above-knee amputees. International journal of science and technology; Scientia Iranica. 13 (3), 2006.
۱۰ - قلی‌پور مجید، فرهمند فرزام، نریمانی رویا، رضائیان تهمینه، اندازه‌گیری و مقایسه گشتاورهای برآیند مفاصل بدن حین بلند کردن بار با سرعت‌های متفاوت، فصلنامه علمی و پژوهشی شریف، زیر چاپ (۱۳۸۵).
11- M.Hoviattalab, R.Narimani and A. Mirbagheri, "An Investigation on Human vibration Analysis Using Image Processing Method" Proceedings of ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, IDETC/CIE, Long Beach, California, USA , Sep. 24-28, 2005.
12- R.Narimani, M.Hoviattalab, A.Abadpour and A.Yadolahi "Vibration Measurement And Analysis Using Image Processing Method", proceedings of the 7th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, ESDA, Manchester, UK, July 19-22,2004.