سنجش انرژی مصرفی در اتودهای بیومکانیک میرهولد با استفاده از فناوری شتاب‌سنجی سه محوره

علیرضا هایل‌مقدم

مهدی حامدسقایان (نویسنده مسئول)

مهدی خالقی‌تازجی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۱۲

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۶/۲۶

www.SID.ir

Archive of SID

سنجش انرژی مصرفی در اتودهای بیومکانیک میرهولد با استفاده از فناوری شتاب‌سنجی سه محوره

علیرضا هایل‌مقدم کارشناس ارشد بازیگری پردیس فارابی دانشگاه هنر

مهدی حامدسقایان دکترای تئاتر دانشکده هنر دانشگاه تربیت مدرس

مهدی خالقی‌تازجی دکترای بیومکانیک ورزش دانشکده تربیت بدنی دانشگاه خوارزمی

این مقاله از پایان‌نامه‌ی علیرضا هایل‌مقدم با عنوان «بررسی میزان مصرف انرژی در اجرای اتودهای بیومکانیک میرهولد و مکانیزم‌های حرکتی» تحت راهنمایی آقای دکتر مهدی حامدسقایان برای اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد بازیگری تئاتر ازپردیس بین‌المللی فارابی دانشگاه هنر برگرفته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

چکیده

بیومکانیک از جمله شیوه‌های بازیگری است که با الهام از تئاترشرق و نیز آموزه‌های فردریک وینسلو تیلور(۱۹۱۵-۱۸۵۶) در زمینه اقتصاد حرکتی، توسط وسوالد میرهولد (۱۹۴۰-۱۸۷۴) ابداع شده است. اتودهای کارگاهی بیومکانیک به وسیله شاگردان و همکاران میرهولد همچون نیکلای کوستف جمع‌آوری و تکمیل شده‌اند. هم اکنون آموزش این شیوه در جهان توسط معدود مربیانی چون گنادی بوگدانف (شاگرد کوستف) پیگیری می‌شود. اتودهای مورد استفاده در این تحقیق از بین اتودهای اجرا شده توسط بوگدانف برگزیده شده‌اند. سؤال اساسی این پژوهش توصیفی ـ تحلیلی این است که اجرای اتودهای بیومکانیکی توسط بازیگران چه شاخصه‌هایی از میزان مصرف انرژی در مکانیزم‌های حرکتی آنان را آشکار می‌سازد؟ این موضوع بدان لحاظ در بیومکانیک اهمیت دارد که داده‌های ضروری برای علوم تغذیه و فیزیولوژی بازیگری به روشی تجربی را فراهم می‌سازد. در این مقاله، نتایج میدانی حاصل از بررسی تحلیلی داده‌های عددی ثبت‌شده با روش شتاب‌سنجی سه محوره نوراکسون بر روی تعدادی از دانشجویان بازیگری ارائه می‌شود. آزمون‌ها برای اتودهای دست دادن و سیلی‌زدن انجام شده‌اند. فرضیه اصلی آن است که شاخصه‌های مصرف انرژی در بیومکانیک از طریق تجربه و آزمون قابل اندازه‌گیری است. همچنین فرض شده که دستیابی به روشی برای اصلاح الگوهای صحیح اجرای بیومکانیکی اتودها از طریق حذف حشو و زوائد مکانیزم‌های حرکتی با کمک بازبینی فایل شبیه‌سازی شده امکان‌پذیر است. در نتیجه‌گیری، ضمن تأیید فرضیه‌ها، تأکید شده است که این مطالعات می‌تواند زمینه‌ی مساعدی برای ورود به حوزه‌ی فیزیولوژی، حرکت‌شناسی و آسیب‌شناسی حرکات بدنی بازیگران تئاتر باشد.

واژگان کلیدی: وسوالد میرهولد، گنادی بوگدانف، اتودهای بیومکانیکی، مصرف انرژی، حرکت‌شناسی، فردریک وینسلو تیلور.

www.SID.ir

Archive of SID

درآمد

بیومکانیک عمومی دارای سه حوزه اصلی شناخته شده است: تحقیقات پایه، مطالعات کاربردی و پژوهش‌های درمانی. بیومکانیک پایه به درک مفاهیم و چرایی پدیده‌های بیومکانیکی از طریق نظریه‌های علمی می‌پردازد و محققین این حوزه اغلب از بین ریاضیدانان، مهندسین و زیست‌شناسان هستند که یافته‌های خود درباره حرکت اندام انسان را به کمک کارشناسان رایانه، مدلسازی، دسته‌بندی و توصیف می‌کنند. رویکرد بیومکانیک کاربردی (که بیومکانیک میرهولد نیز در این طبقه‌بندی قرار می‌گیرد)، اصلاح، توسعه یا بهبود مهارت‌های حرکتی در رشته‌های گوناگون مهارتی با بهره‌گیری از قوانین مکانیک و تحلیل‌های کینسیولوژیکی است. در همین راستا، ضرورت انجام این تحقیق به لحاظ معرفی وجوه فوق به مخاطبین و اهمیت یافته‌های ارزشمند علمی هر حوزه در بازنگری نظریات بیومکانیک میرهولد، آشکار است. خوانندگان محترم پس از مطالعه مقاله، با جنبه‌ی دیگری از بیومکانیک که «رویکرد آزمایشگاهی مطالعه مکانیزم‌های حرکتی در اتودها» است، بیشتر آشنا می‌شوند.

«کینسیولوژی[1]، مطالعه علمی حرکت انسان است و بیومکانیک یکی از زیرشاخه‌های آکادمیک آن است» (نودسن، ۲۰۰۷: I).

مفاهیم پایه بیومکانیک میرهولد، همچون مرکز ثقل بدنی، تعادل و بی‌تعادلی، بدن فعّال و فراتر از ذهن، تمرین‌های سخت و فشرده بدنی با هدف تقویت بنیان‌های جسمانی، ایجاد رفتارهای جسمانی مبتنی بر قراردادهای از قبل تعیین شده، انتقال انرژی بازیگر به همبازی یا تماشاگر و بالعکس دریافت انرژی از آن‌ها، در روند پژوهش مورد توجه بوده‌اند.

بیومکانیک در تئاتر، با نام وسوالد امیلیوویچ میرهولد[2] گره خورده است. براساس تعالیم وی، بیومکانیک یعنی سرشت زیست‌شناختی حرکت، شناخت ارگانیزم و بدن انسان، ارگانیزم به مثابه ماشین و اجرای اعمال قراردادی‌شده‌ی اندامگان. وی با تأکید بر اعمال ماشینی و رباتیک بازیگر در کارگاه‌های اولیه‌اش تحت عنوان حرکت در صحنه درواقع اظهار می‌داشت که ماشینی بودن حرکات در بدن بازیگر، باید روی صحنه نمود داشته‌باشد. چیزی که در دوره اولیه‌ی کار میرهولد بر روی بیومکانیک باید مورد توجه قرار گیرد، تأثیر تئاتر شیوه‌پرداز شرق و استیلیزاسیون بر کار اوست.

اما همین واژه در مطالعات حرکت‌شناسی موجودات زنده و انسان یا کینسیولوژی، علمی است که نیروهای داخلی و خارجی وارد بر بدن موجود زنده و تأثیرات ناشی از آن‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد که تاریخچه آن را می‌توان به دو دوره تقسیم کرد: دوره کهن که در یونان باستان برای اولین بار از سوی ارسطو[3] (۳۲۲-۳۸۴ ق.م) مطرح شد و در ایران نیز به مطالعات بوعلی سینا در جنبش و انتقال اجسام باز می‌گردد. و دوره نوین یعنی دوره استفاده از ابزارهای کاربردی برای سنجش پارامترهای کینتیکی حرکت [دانش بررسی و تعیین علل حرکت مانند نیروها و تعادل نیرویی] همچون الکترومایوگرافی[4] و شتاب سنجی از راه دور و امثال آن‌ها که در پی پژوهش‌های بورلی[5] (۱۶۷۹-۱۶۰۸)، نیکولاس آندری[6] (۱۷۴۲-۱۶۵۸)، ارنست‌هاینریخ وبر[7] (۱۸۷۸- ۱۷۹۵) و سایرین توسعه یافت.

گفتنی است بخش نظری این تحقیق با استفاده از منابع موجود در حوزه بیومکانیک و علوم ورزشی و مطالعات میدانی آن در آزمایشگاه «مطالعات حرکتی اوتک» واقع در

www.SID.ir

Archive of SID

شهر تهران و با همکاری تعدادی از دانشجویان رشته تئاتر طی دو روز انجام شده است.

پیشینه تحقیق

تاکنون در زمینه بیومکانیک میرهولد، پژوهش مشخصی پیرامون مصرف انرژی حین اجرای اتودها انجام نشده و این مطالعه در ایران نخستین بررسی در این حوزه به شمار می‌رود، اما کارهای میدانی شتاب سنجی روی پروتکل‌های حرکتی انسان در بیومکانیک ورزشی انجام شده است که موارد زیر قابل ذکرند:

ـ تحقیق کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی با عنوان «*تخمین سرعت راه رفتن و دویدن انسان‌ها از طریق داده‌های شتاب سنجی*» که در سال ۱۳۷۶ در دانشگاه صنعتی شریف صورت گرفته است.

در این تحقیق آمده است: تعیین سرعت و مسافت و شیب راه رفتن و دویدن انسان، توسط روش‌های مبتنی بر شتاب سنجی، علاوه بر تخمینی از انرژی مصرفی بدن، محاسبه نیرو و گشتاور در مفاصل و عضلات را نیز ممکن می‌سازد و این نتایج در علوم تغذیه و توانبخشی و ساخت اعضای مصنوعی و ورزش کاربرد دارد.

ـ پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیومکانیک ورزشی تحت عنوان «*بررسی الگوی پخش فشار کف پایی و مؤلفه عمودی نیروی عکس‌العمل زمین در ورزشکاران حرفه‌ای تئاتر فیزیکال و غیر ورزشکاران*» که به تازگی (در سال ۱۳۹۳) در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی به انجام رسیده است.

این پژوهش به تمرینات ورزشی لازم برای بازیگر تئاترمی‌پردازد زیرا بازیگر نیاز به تغییرحالت بدن خود و نشان دادن مفهوم این تغییر و ساختن یک فرم مطلوب برای رساندن پیام داستان به تماشاگر دارد .این تغییرات حالت، به سرعت عمل بالا و آمادگی جسمانی بازیگر نیاز دارد و گاه همراه با چرخش‌ها و تغییر جهات انجام می‌گیرد که فشار زیادی روی پا و انگشتان پای بازیگر وارد می‌کند و سبب آسیب‌دیدگی در اندام تحتانی مانند کف پا، زانو و ران می‌شود. چنانچه این آسیب‌دیدگی‌ها در اندام تحتانی بازیگران تئاتر فیزیکال، اصلاح نشود مشکلات زیادی در آینده برایشان به وجود می‌آورد.

ـ مقاله علمی ـ پژوهشی منتشر شده در مجله بیومکانیک ورزشی با موضوع «*مقایسه نیروهای عکس‌العمل زمین، تغییرات مرکز فشار و مرکز جرم بدن*» که در این تحقیق ۱۲ مرد سالم شرکت کردند و آزمودنی‌ها پایان راه رفتن را در سه الگوی مختلف اجرا کردند .با استفاده از دستگاه آنالیز حرکت و صفحه نیروسنج، متغیرهای نقطه اوج نیروها در دو جهت قدامی ـ خلفی و عمودی در هر دو اندام، زمان رسیدن تا نقاط اوج و میانگین نیروهایی که هر اندام در هر دو جهت به زمین وارد می کند، همچنین میزان جابه‌جایی مرکز فشار در دو جهت داخلی ـ خارجی و قدامی ـ خلفی برای هر اندام و مرکز فشار کل و نیز جابه‌جایی مرکز جرم در هر سه صفحه حرکتی مورد محاسبه قرار گرفتند.

امروزه، باوجود متداول بودن چنین روش‌هایی در مراکز پژوهشی علوم تربیت بدنی و مراکز طب ورزشی یا مؤسسات آموزش عالی هنری در ایران، استفاده از دستاوردهای پیشرفته تجهیزاتی کینسیولوژی، به شکل متواتر و کاربردی دیده نمی‌شود.

حرکت‌شناسی و اقتصاد حرکت در تیلوریسم

بیومکانیک میرهولد در بین سال‌های ۱۹۰۴ تا ۱۹۲۷ شکل گرفت. میرهولد برای

www.SID.ir

Archive of SID

تکمیل و تکوین بیومکانیک از مراجع مختلف از تئاتر شرق گرفته تا فنون رزمی و سبک‌های هنری هم عصر خود همچون فوتوریسم [۸] و کنستراکتیویسم[۹] استفاده کرد. یکی از نظریه‌های مورد توجه میرهولد نظریه فردریک وینسلو تیلور[۱۰](۱۹۱۵-۱۸۵۶) موسوم به تیلوریسم در علم مدیریت بود. در این مقاله نیز به لحاظ تأکید بر مفهوم حرکت‌شناسی، تیلوریسم مورد توجه قرار می‌گیرد. اهمیت این تئوری در بیومکانیک میرهولد ارائه الگویی آشنا برای شناخت و تجزیه حرکات پیچیده به حرکات ساده با هدف بررسی چرخه‌ی انرژی و راندمان یا بازده‌ی حرکت است.

«براساس نظریه تیلوریسم یا همان اصل اقتصاد حرکت، حرکات فیزیکی کارگران در روند تولید مؤثر است. کارگران زمانی که وظیفه تعیین‌شده‌شان را انجام می‌دهند غالباً درگیر فرآیندی از اعمال غیرضروری می‌شوند که منجر به فشار بیش‌ازحد در ماهیچه‌هایشان شده و همین عامل باعث پایین آمدن بازده‌کاری می‌شود. تیلور این‌گونه تحلیل کرد که طبق یک زمان‌بندی منظم می‌توان به حرکات و اعمال و فیگورهایی خاص برای هر نوع کار رسید که بیشترین بازدهی را داشته باشد. او درس‌هایش را «حرکات محیطی» نامید.[۱]نظریات وی به زودی فراگیر شد؛ درس‌هایی مانند فاکتورهای غیرخطی و غیرمکانیکی به عنوان ریتم کار، تعادل گروه‌های ماهیچه‌ای گرفتگی عضلات، دقایق استراحت در میان تمرین‌ها و آزمایشاتی که در سراسر جهان منتشر گردید» (گوردون[۱۱]، ۱۳۹۵: ۴۷). تیلور سیستمی از چرخه‌ی کاری را مطرح می‌کرد که شامل شبکه‌ای از حرکات و مکث‌ها بود و به کارگران این اجازه را می‌داد که بیشترین و بهترین بازده را با کمترین میزان خستگی تولید کنند. «در سال۱۹۱۲، فرانک[۱۲] و لیلیان گیلبرت[۱۳]، شانزده حرکت بنیادین دست را که متضاد هم بودند، کشف کردند. پس از مرگ تیلور در ۱۹۱۵، جداول تعمیم یافته‌ای منتشر شد که از آن جداول، ۷ سرمشق اصلی از حرکات بنیادین که تیلور برای استفاده از بدن در فرآیند کاری پایه‌گذاری کرده بود، ثبت گردید» (همان: ۴۷).

میرهولد تحت تأثیر این نظریه و با تأکید بر اصل حرکت، با صرف حداقل انرژی از طریق راکورس یا کوتاه نمایی بدنی، شروع به شناخت و تجزیه حرکات پیچیده به حرکات ساده نمود. «راکورس[۱۴] یا در اصطلاح انگلیسی فورشورتنینگ (Foreshortening)، در هنرهای تجسمی نمایش خطوط به شکلی کوچک‌تر معنا می‌دهد و زاویه‌ی دید تماشاگر به اثر را هم توصیف می‌کند. از دید گنادی بوگدانف[۱۵] نمایش بیشترین سطح بدن به تماشاگران و نیز به پارتنر توسط بازیگر معنا می‌دهد. سرگئی آیزنشتاین[۱۶] راکورس را شکل بدن از وضعیتی متعادل به نامتعادل می‌داند. در اینجا ما راکورس را کوتاه‌نمایی بدنی یا تصاویر کوتاه بدنی تعبیرکرده‌ایم که به معنای تولید تصاویری است که بازیگر با بدن خود به تماشاگران یا همبازیان نمایش می‌دهد» (حامدسقایان، ۱۳۹۵: ۴۵). با در نظر گرفتن رفتارشناسی نقش و کار بازیگر بر روی صحنه و به کمک اصل اقتصاد حرکت، حرکات ساده یا همان اتودها به جمله‌سازی‌های حرکتی تبدیل می‌شوند. هر جمله حرکتی از اجزایی تشکیل‌شده‌است که به شکلی شیوه‌پردازانه یا استیلیزه تحت پارادایم‌ها یا قراردادهایی از پیش تعیین شده آموزش داده شده و به اجرا در می‌آیند.

چرخه انرژی

یکی دیگر از مفاهیم پایه در تئاتر به شکل عام و بیومکانیک میرهولد به طور خاص، پدیده‌ی تبادل چرخه انرژی است. درک یا عدم درک این مفهوم تأثیر مستقیم برکیفیت

www.SID.ir

Archive of SID

اجرای بازیگران دارد. «چرخه انرژی بیانگر آنست که بازیگر بر روی صحنه، به عنوان یکی از عناصر نمایشی همواره در حال تبادل انرژی با بازیگر متقابل یا سایر بازیگران، تماشاگران، فضای صحنه‌ای و نقش می‌باشد. لذا مهم‌ترین اصل برای درک انرژی، شکل دادن فضا (فضاسازی) توسط انرژی است. مفهوم چرخه انرژی، نتیجه منطقی ارتباط چهار شاخصه اصلی یک جمله حرکتی یعنی: قصد، امتناع یا اتکاز[17]، تحقق یا اجرا[18] و در پایان توقف یا نقطه[19] است. انرژی جاری در این مسیر نیز موجب پیدایش فرم‌های بدنی و حرکات الگومند می‌شود» (کولیوند، ۱۳۸۶: ۲۳۰-۲۲۸).

نقش تعادل حرکات در بیومکانیک

در کینسیولوژی ورزشی، مفهوم پایداری حرکت، معادل با جایگزینی بی تعادلی در لحظه به لحظه اجرای کنش با وضعیتی متعادل است. «برای روشن شدن مطلب، فرآیند راه رفتن معمولی را در نظر بگیرید. از زمانی که فرد به‌صورت پیوسته و نقطه به نقطه به ترتیب، محل وارد آوردن نیروی بدن در نقطه تماس پاشنه پای راست و سپس کف پا، پنجه، نوک انگشتان و در پی آن همین مواضع در پای چپ را با زمین به طور متوالی تغییر می‌دهد، نهایتاً منجر به پدیده راه رفتن می‌شود. هر گونه حرکت اضافی در راستای حرکت یا در صفحه عمود بر این راستا در ایجاد عدم یکنواختی حرکت یا همان نامتعادل بودن الگوی راه رفتن مؤثر خواهد بود» (صادقی، ۱۳۹۴: ۴۳).

میرهولد نیز، پس از اصل مشارکت‌جویی تمام اعضاء در حرکت جزیی یک عضو، توجه به اجزای فیگورها و حرکات انسانی را در کار بازیگر مدّ نظر قرار می‌دهد. «آزادی عمل بازیگر در تمرکز بر مراکز ثقل بدنی، حفظ تعادل و خروج از تعادل موجود برای رسیدن به تعادل بعدی در هر کنش (مانند همان مثال راه رفتن ساده) از اهم نکات این خودآگاهی است. بیومکانیک بر تضادها بنا شده است ولی در مجموع، نوعی هماهنگی در حرکت است. درست با اشراف بر این اصول است که بازیگر می‌تواند آگاهانه زوائد اجرای خود را دریابد و در راه رسیدن به بیشترین بازدهی حرکتی یا کمترین صرف انرژی، به تصحیح الگوی مکانیزم‌های حرکتی خود بپردازد» (حامدسقایان، ۱۳۹۵).

پردازش داده‌های آزمایشگاهی

در بخش محاسباتی، برای ترسیم نمودارهای انرژی بر حسب زمان، از یک تکنیک شناخته شده موسوم به رگرسیون خطی[20] استفاده شده است که در زمره‌ی روش‌های استاندارد تقریب‌زنی ریاضی در رشته‌های مختلف علمی، کاربرد وسیعی دارد و خلاصه‌ی آن بدین شرح است: بهینه‌ترین منحنی گذرنده از بین گروهی از نقاط پراکنده در صفحه مختصات، آنست که مجموع مربعات فواصل آن نقاط از منحنی مفروض، کمینه باشد. همچنین برای کاستن از میزان خطای اندازه‌گیری تجربی که در هر آزمونی اجتناب‌ناپذیر است، از روش‌های مرسوم مانند تکرار اتود و محاسبه میانگین داده‌های ثبت شده برای هر اجراگر و هر اتود، تنظیم اولیه نرم افزار و دستگاه، متناسب با اندام هر بازیگر پیش از شروع اندازه‌گیری‌ها و بازرسی حسگرها و لوازم جانبی متصل به داوطلب پیش از هر بار اجرای اتود، بهره‌جویی شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

اتودهای بیومکانیکی و بوگدانف

میرهولد حدود سیزده اتود از جمله اتودهای کشیدن کمان، پرتاب سنگ، خنجر زدن و ... را طراحی کرد. در این پژوهش اتود دست دادن و سیلی زدن انتخاب شده است. دراتود دست دادن، هر دو بازیگر به‌صورت همزمان می‌توانند فاعل (Active) و مفعول (Passive) باشند، درحالی‌که در اتود دوم، سیلی زننده، فاعل و سیلی خورنده، مفعول به‌شمار می‌آیند. مراحل اتود سیلی، توسط مل گوردون به شرح زیر چنین توصیف شده است:

«دو بازیگر در فاصله ۳ پایی و رو به روی یکدیگر می‌ایستند. پاهایشان با یکدیگر متقارن است، نوک پاهایشان با استواری روی زمین قراردارد و کمر به سمت راست متمایل است. پاشنه‌ی پایشان روی زمین است. دستانشان به واسطه بلند شدن بازوانشان حرکت می‌کند، زانوها کمی خم شده‌اند.

ـ هر دو بازیگر داکتیل انجام می‌دهند.

ـ اولین بازیگر با پای چپ قدمی به جلو برمی‌دارد و پای چپش را جلوی پای راست قرار می‌دهد. او به راست اشاره می‌کند و خط عمودی با پای راستش درست می‌کند. او بالا تنه‌اش را به سمت راست می‌چرخاند. صورتش مستقیم در برابر همراهش است. زانوانش به واسطه انداختن وزن روی پای چپش که جلو آمده است خم شده‌اند. همبازی او روی پای چپش که با فاصله ۶ اینچ از پای راستش قرار گرفته، ایستاده است. کمر همبازی‌اش روی یک قطر ۴۵ درجه نسبت به حالت اول قرار گرفته است.

ـ هم زمان، هر دو بازیگر به عقب خم می‌شوند و وزنشان را بر روی پای راستشان منتقل می‌کنند. بازیگر اول دست راستش را بیرون می‌برد و باز می‌کند و به عقب می‌چرخد تا جایی که پای چپش روی زمین باشد.

ـ بازوی راستش را در شکل دایره‌ای به سمت راست حرکت می‌دهد. بازیگر اول بدنش را به سمت راست حرکت می‌دهد درحالی‌که وزنش را به پای چپش که به عقب رفته منتقل می‌کند، همبازی‌اش به سمت جلو و مرکز حرکت می‌کند.

ـ همبازی سرش را به راست حرکت می‌دهد درحالی‌که بازیگر اول دستش را به آهستگی نزدیک می‌کند.

بازیگر اول به سرعت دست چپش را به پایین‌ترین قسمت راست صورت بازیگر روبه‌رویش نزدیک می‌کند سپس بازویش را پایین می‌اندازد و با دست راست خودش صدای کشیده‌ای درست می‌کند. صدا، نشانه‌ای برای بازگشت به وضعیت شروع است. اتود دوباره به وسیله دو بازیگر درحالی‌که وظایفشان عوض شده اجرا می‌شود» (گوردون، ۱۳۹۵: ۵۰). میرهولد شاگردانی داشت که بعد از مرگش آموزه‌ها و تجربیات او را ثبت‌کردند و ترویج دادند. مثلاً نیکولای کوستوف[۲۱] که از شاگردهای موفق میرهولد بود، اتودهای او را در دفترچه‌ای ثبت کرد. کوستوف، آموزه‌های میرهولد و بیومکانیک را در دو قالب بسط داد. «یکی اتودهای بیومکانیک که بازیگران باید آن‌ها را آموزش ببینند و دیگری تکنیک‌های حاصل از بیومکانیک که به حدود چند ده تا می‌رسد. کوستوف خود نیز چند شاگرد داشت که دو نفرشان به نام‌های الکسی لوینسکی[۲۲] و گنادی بوگدانف و یک شاگرد غیرمستقیم به نام نیکلای کارپوف[۲۳] بیومکانیک را در دنیا رواج دادند. بوگدانف استادی است که اجراهای او اصالت بیشتری دارند» (سمندری، ۱۳۹۵: ۶۴و۶۵). موضوع مورد بحث در این مقاله، آزمایش تجربی و کمّی اصل اقتصاد حرکت در آموزه‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

و نظریات میرهولد است. در حقیقت، ما به دنبال شیوه‌ای عملیاتی برای اندازه‌گیری آزمایشگاهی میزان انرژی مورد استفاده در بدن بازیگر از ابتدا تا انتهای اجرای یک اتود بیومکانیکی هستیم. یافته‌های متعدد در علوم حرکتی ورزشی، کلید دستیابی به این خواسته است. پیشرفت‌های به دست آمده در این حوزه، به راحتی ابزار مناسب برای این سنجش‌ها را فراهم ساخته است. برای نمونه در فرآیند کنش راه رفتن[۲۴] در بیومکانیک ورزشی، ورزشکار با اتصال حسگرهایی به نقاط از پیش تعریف‌شده‌ی بدن، ازطریق اتصال بلوتوث به یک پردازشگر مرکزی، سیگنال‌های لحظه‌ای از سرعت یا زاویه‌ی چرخش مفصل یا عضو مورد نظر از بدن را ارسال می‌کند، سپس به نحوی که در ادامه توضیح داده خواهد شد، خروجی‌های مورد انتظار از این داده‌ها برای بهینه‌سازی حرکت و اصلاح الگوی آن، استنتاج می‌گردند. در این مطالعه‌ی میدانی پیرامون مصرف انرژی در بیومکانیک میرهولد، سعی شده است در عمل، پیوند بین رشته‌ای میان بازیگری و ورزش را در مبحث کینسیولوژی بازیگری توسعه دهیم.

شیوه‌ی اجرای آزمایشگاهی تحقیق

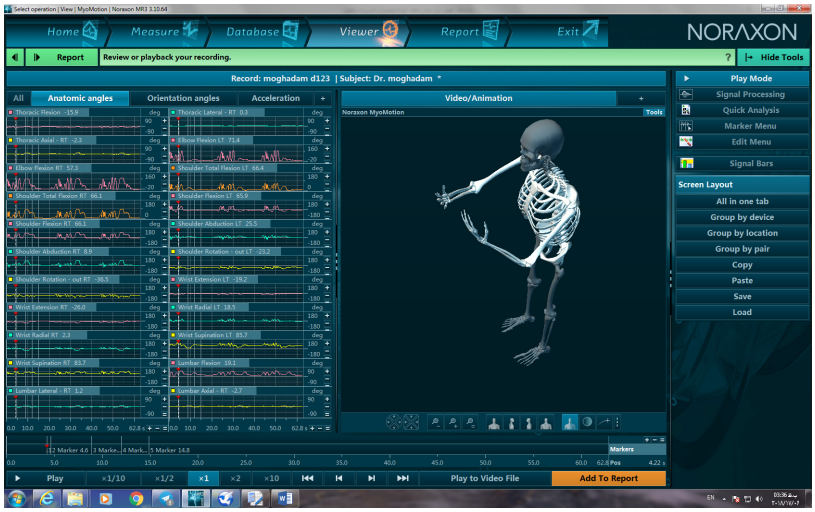
هشت داوطلب به اجرای اتودهای برگزیده پرداخته و زوایای آناتومیکی[۲۵] و شتاب حسگر نصب شده در محل مهره‌ی پنجم ستون فقرات آن‌ها (مرکز ثقل فیزیکی تقریبی بدن) در کنار سایر داده‌های حاصل از مناطق دیگر بدن از طریق یک دریافت‌کننده سیگنال از راه دور به حافظه مرکزی رایانه منتقل می‌شود و در یک جدول اکسل ثبت می‌گردد. در شکل (۱) لحظه‌ای از اتود سیلی خوردن دیده می‌شود که تجهیزات شتاب‌سنجی سه محوره نوراکسون[۲۶] نصب شده بر نقاط مختلف اندامگان اجراگر سمت راست، آشکار است.

شکل ۱: اتود سیلی خوردن.
سیلی زننده (فاعل) داوطلب سمت راست است.

www.SID.ir

Archive of SID

در نهایت خروجی سیگنال‌های ارسالی از حسگرهای نصب شده به بدن بازیگرها، مطابق شکل (۲) در نمایشگر رایانه بازسازی می‌شود:



شکل۲: شبیه‌سازی رایانه‌ای داکتیل اتود بیومکانیک میرهولد در آزمایشگاه

خروجی این نرم افزار رایانه‌ای در نهایت فایل اکسل و نوراکسون حاوی مقادیر ثبت شده شتاب حاصل از ارسال سیگنال الکتریکی از حسگرهایی است که در شکل (۱) در نقاط و مفاصل مختلف بدن فرد مورد آزمون دیده می‌شود. این سیگنال‌ها توسط دریافت‌کننده، گرفته‌شده و پس از پردازش (رمز خوانی) تبدیل به داده‌های عددی می‌شوند. با فرض در نظر گرفتن مرکز ثقل بدن اجراگر در مهره پنجم کمری[۲۷] و صرف نظر از حرکت نسبی اندام‌ها، سرعت و شتاب لحظه‌ای مرکز ثقل از داده‌های مورد بحث تعیین می‌گردد سپس انرژی کل در حین هر اجرا به شرح جدول (۱) محاسبه می‌شود. با دستیابی به مقادیر شاخصه‌های انرژی مصرفی و ترسیم نمودارهای آن در دو گروه بانوان و آقایان و همچنین در کل جامعه آماری و مقایسه این دیاگرام‌ها با یکدیگر، می‌توان به نتیجه‌گیری در خصوص سؤالات تحقیق پرداخت.

یافته‌ها

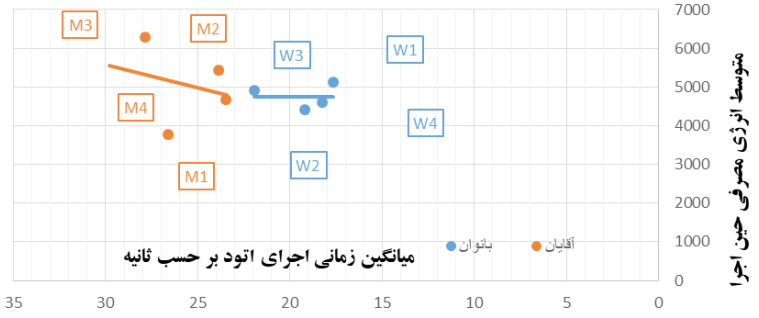
تجمیع نقاط نمودار بانوان نسبت به آقایان در شکل (۳) و افقی تربودن نمودار رسم شده، نشان‌گر همسانی بیشتر نحوه اجرا در زنان در مقایسه با مردان در اتود سیلی زدن است. با این وجود اختلاف بیشینه و کمینه یافته‌های مردان نیز منجر به شیب تندی در نمودار آقایان نشده و نزدیک به تراز افقی بوده است. این مشاهده یعنی اینکه در گروه آقایان نیز اتود سیلی زدن به شیوه یکسانی اجرا می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

کد	وزن (Kg)	قد (Cm)	شاخص توده جرمی (Kg/Cm^2)	نام اتود	متوسط مقدار انرژی در سه بار تلاش (J)
W1	۵۴/۳	۱۶۸	۱۹/۲۳	دست دادن	۴۳۷۱/۰۸
				سیلی زدن	۵۱۱۸/۸۳
				سیلی خوردن	۵۲۴۲/۵۷
W2	۵۹	۱۷۰	۲۰/۴۱	دست دادن	۳۸۳۳/۶۴
				سیلی زدن	۴۴۰۷/۶۲
				سیلی خوردن	۴۲۳۵/۴۸
W3	۶۶	۱۷۴	۲۱/۷۹	دست دادن	۴۰۰۹/۲۵
				سیلی زدن	۴۸۹۶/۵۷
				سیلی خوردن	۴۵۴۸/۲۰
W4	۶۲/۵	۱۶۵	۲۲/۹۵	دست دادن	۳۵۴۴/۶۲
				سیلی زدن	۴۵۸۱/۰۷
				سیلی خوردن	۴۵۲۰/۴۲
M1	۵۷	۱۸۰	۱۷/۵۹	دست دادن	۳۲۳۶/۸۷
				سیلی زدن	۳۷۶۲/۹۹
				سیلی خوردن	۳۵۴۷/۸۷
M2	۶۷	۱۶۹	۲۳/۴۵	دست دادن	۴۲۳۶/۳۹
				سیلی زدن	۵۴۱۲/۱۲
				سیلی خوردن	۵۱۹۶/۱۰
M3	۸۰	۱۸۰	۲۴/۶۹	دست دادن	۴۵۴۸/۷۸
				سیلی زدن	۶۲۷۵/۵۴
				سیلی خوردن	۵۶۱۰/۱۴
M4	۹۳	۱۷۹	۲۹/۰۲	دست دادن	۳۶۵۸/۵۳
				سیلی زدن	۴۶۵۵/۴۶
				سیلی خوردن	۴۲۹۶/۰۴

جدول۱: مشخصات فیزیکی داوطلبین، ستون آخر میانگین انرژی مصرفی هرفرد در هر اتودمی‌باشد.(W زن و M مرد)

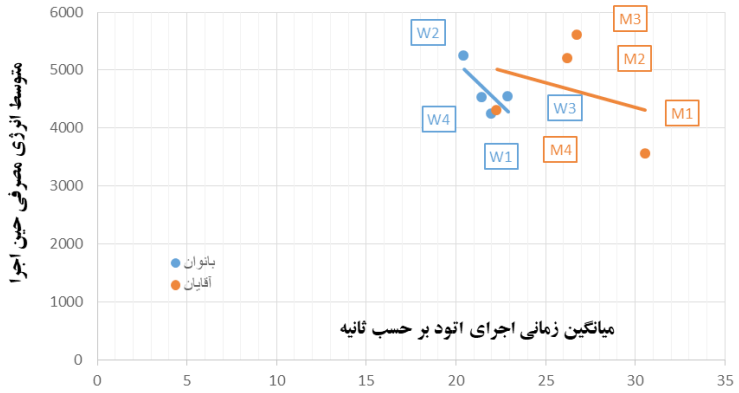


شکل ۳: رگرسیون خطی انرژی مصرفی اتود سیلی زدن به تفکیک جنس آزمودنی ها

www.SID.ir

Archive of SID

شکل (۴) همان نمودار را برای اتود سیلی خوردن نشان می‌دهد:

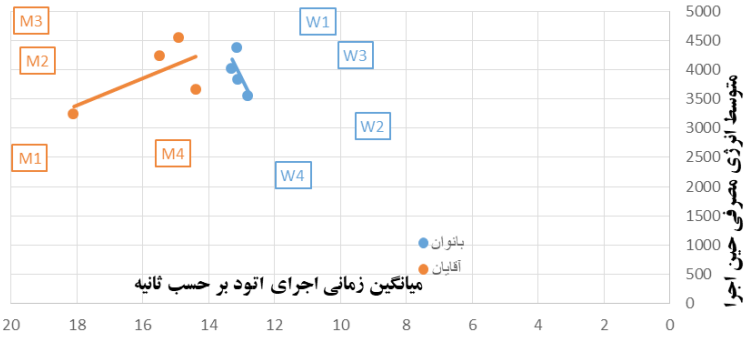


شکل۴: رگرسیون خطی انرژی مصرفی اتود سیلی خوردن به تفکیک جنس آزمودنی ها

این نمودار برخلاف اتود سیلی زدن، مبین نوعی عدم یکنواختی در اجرا هم در گروه بانوان و هم آقایان است (شیب بیشتر هر دو منحنی در مقایسه با شکل(۳)).

بدون اینکه وارد تعاریف علم آمار شویم، صرفاً توجه می‌دهیم به تفاضل کمینه و بیشینه مقادیر گزارش شده در هر دو گروه که موجب توزیع پراکندگی نقاط نمودار شده است.

در نمودار بعدی، شکل(۵)، یافته‌های مربوط به اتود دست دادن داوطلبین احصاء شده است. الگوی اجرای دست دادن بیومکانیکی در بانوان شرکت‌کننده در این پژوهش، به گواهی شکل (۵) در قیاس با آقایان، نیاز به اصلاحات حرکتی دارد، چراکه شیب خط به‌دست آمده به راستای قائم نزدیک‌تر بوده و نشان از تنوع اجرا نزد زنان دارد؛ با این وجود اختلاف بیشینه و کمینه‌ی مصرف در حدود ۸۰۰ ژول، در نوسان است.



شکل۵: رگرسیون خطی انرژی مصرفی اتود دست دادن به تفکیک جنس آزمودنی ها

www.SID.ir

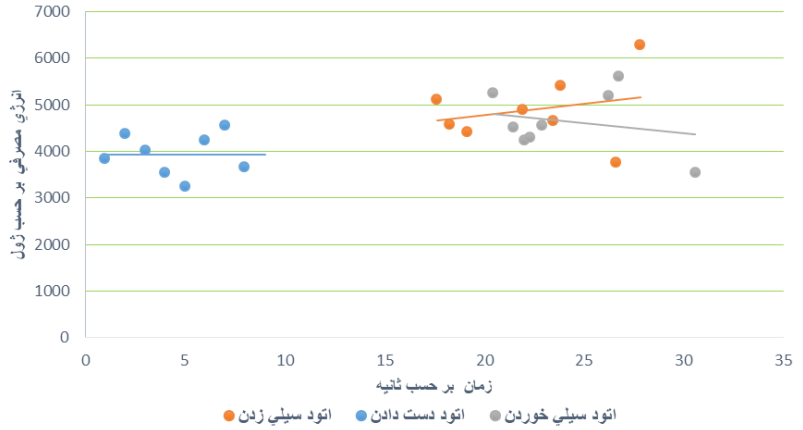
Archive of SID

پیرامون اجرای آقایان باید افزود، هر چند یافته‌ها حکایت از ناهموار بودن نمودار نسبت به دو اتود قبلی دارد، اما از شیب تغییرات ملایمتری نسبت به زنان برخوردار است که یکدست‌تر بودن اجراها را بیان می‌کند با این وجود تفاضل بیشینه و کمینه انرژی مصرفی هر چهار نفر (دوازده اجرای انجام شده) قابل مشاهده در شکل دامنه‌ای در حدود ۱۳۰۰ ژول را نشان می‌دهد که نشانگر محدوده تغییرات انرژی مصرف شده در اجرای اتودها است؛ در انتها رگرسیون خطی هر سه اتود، فارغ از جنسیت شرکت‌کنندگان در تحقیق، به‌طور مقایسه‌ای در یک گراف به شرح شکل (۶)، بیانگر تعیین شاخصه‌هایی از میزان مصرف انرژی در اتودهای بیومکانیکی منتخب است.

می‌توان یافته‌های این تحقیق را به شرح زیر دسته‌بندی و ارائه نمود:

۱ـ رفتار یافته‌های تحقیق مؤید فرض‌های اولیه هستند. دسته‌بندی و تحلیل روش‌های افزایش بازدهی و کاهش مصرف انرژی در اتودها با بهره‌گیری از متد شتاب سنجی سه محوره با سهولت و برای هر تعداد داوطلب قابل تکرار است.

۲ـ باتوجه به ستون چهارم جدول (۱)، شاخص توده جرمی بدن (BMI) داوطلبین، نقش اهمیّت فیزیک بدنی بازیگر در اجرای بهینه اتودها معلوم می‌شود. بدین نحو که هر چه این شاخص کمتر است، میزان انحراف مقادیر اندازه‌گیری شده در سه تلاش متوالی نسبت به یکدیگر و در نهایت میانگین آن‌ها نسبت به داوطلبین دیگر کمتر است. به عبارتی آمادگی بدنی و تناسب اندام، به یکدست بودن اجراها کمک می‌کند.



شکل۶: مقایسه رگرسیون خطی کل جامعه هشت نفری آماری برای هر سه اتود

در طول اجراهای انجام شده در کلینیک آشکارا این تفاوت‌ها بین افراد داوطلب قابل دیدن بود. برای مثال با دقت در فاکتور توده جرمی بدنی (BMI) از جدول (۱) برای مردان کمترین و بیشترین شاخص به ترتیب ۱۷ /۵۹ کیلوگرم بر سانتیمترمربع (کدM1) و ۲۹/۰۲ کیلوگرم بر سانتیمترمربع (کد M4) ثبت شده است که در ستون مقادیر متوسط انرژی مصرفی هر اتود نیز اختلاف معناداری بین ارقام گزارش شده به‌صورت نظیر به نظیر دیده می‌شود. البته در بین بانوان، چنین نتیجه‌ای دیده نمی‌شود، بدین مفهوم که بانوی

www.SID.ir

Archive of SID

(W1) با شاخص توده جرمی ۱۹/۲۳ کیلوگرم بر سانتیمترمربع نسبت به خانم (W4) دارای ماکزیمم شاخص یعنی ۲۲/۹۵ کیلوگرم بر سانتیمترمربع، از میانگین میزان انرژی مصرفی بیشتری در هر سه اتود برخوردار بوده است. شاید این موضوع را با بازنگری در فیلم و شبیه‌سازی نرم افزاری بتوان این‌گونه توجیه و تفسیر کرد که باوجود تناسب اندام بهتر (W1)، زوائد حرکتی (یا همان عدم پایداری در بیومکانیک ورزشی) وی نسبت به (W4) بیشتر بوده است و این برخلاف اقتصاد حرکت است. تأثیر قد و وزن (فاکتورهای فیزیکی ـ ژنتیکی) در میزان مصرف انرژی لازم برای افراد مختلف برای انجام دادن یک مکانیزم حرکتی در این پژوهش آشکار است.

۳- یکی دیگر از یافته‌های این پژوهش، اثبات افزایش راندمان یا بازدهی بازیگر بیومکانیک در صورت رعایت اقتصاد حرکت یا همان اجرای درست قراردادها است. علت این نتیجه‌گیری توجه به رابطه ریاضی بازده بیومکانیکی به شرح ذیل است:

$$\%\ \text{بازده بیو مکانیکی اجرا} = \frac{\text{کار مفید انجام شده حین اجرای اتود}}{\text{کل انرژی مصرفی حین اجرای اتود}}$$

صورت کسر را از طریق حاصل ضرب مسافت طی شده حسگر نصب شده به مرکز ثقل بازیگر در مقدار نیروی وارد بر آن نقطه با کمک نرم افزار می‌توان در هر اتود محاسبه کرد که مقداری ثابت خواهد بود. اما مقایسه مخرج کسر در حالت قبل از اصلاح الگوی مکانیزم حرکتی، (یعنی اجرای همراه با زوائد و تلوتلوخوردن اجراکننده) با همین مقدار پس از مشاهده شبیه‌سازی نرم افزاری و حذف حشو و زوائد حرکتی، به طور طبیعی عددی کوچک‌تر را نشان می‌دهد، در نتیجه بازده بیومکانیکی با کم کردن مقدار انرژی مورد مصرف، در کل افزایش می‌یابد. در متون بیومکانیک ورزشی و سوابق تحقیقات انجام‌شده در این حوزه، علاوه بر بازدهی بیومکانیکی برای یک اجراکننده حرکات، راندمان‌های بیوشیمیایی، روان‌شناسی و فیزیولوژیکی نیز مطرح می‌شوند که به دلیل پیچیدگی روش‌های تعیین این راندمان‌ها (مانند اندازه‌گیری متابولیسم مصرفی بدن از طریق ثبت اکسیژن مصرفی و دی‌اکسیدکربن تولیدی ورزشکار به کمک ثبت‌کننده‌های متصل به بدن در مسیر دستگاه تنفس و در اتاق‌های ایزوله‌ی هایپوکسی که کاری بسیار دشوار است) در این پژوهش از آن‌ها صرف‌نظر شده است.

۴ـ یافته پایانی، پیشنهاد روشی کاملاً عملیاتی و کاربردی برای اصلاح الگوهای مکانیزم‌های حرکتی نزد بازیگران تئاتر می‌باشد که عبارتست از شبیه‌سازی رایانه‌ای اجرا و بازبینی آن در نرم افزار و اصلاح حرکات برای رسیدن به حالت ایده آل و استیلیزه شده.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

این مقاله بازتابی از نخستین پژوهش‌ها پیرامون سنجش میزان مصرف انرژی در مکانیزم‌های حرکتی در اجرای اتودهای بیومکانیکی در کشورمان است. فرضیه‌ی اصلی مقاله مبنی بر اینکه شاخصه‌های مصرف انرژی در بیومکانیک از طریق تجربه و آزمون قابل سنجش و اندازه‌گیری است، با کمک روش شتاب سنجی سه محوره نوراکسون و اصول حرکت‌شناسی ورزشی، مورد تأیید قرار می‌گیرد. همچنین تأیید می‌شود که دستیابی به روشی برای اصلاح الگوهای صحیح اجرای بیومکانیکی اتودها از طریق حذف حشو و زوائد مکانیزم‌های حرکتی با کمک بازبینی فایل شبیه‌سازی شده اجراگران در نرم افزار مربوطه امکان‌پذیر است. در مقاله تأکید می‌شود که افزایش راندمان یا بازدهی بازیگر بیومکانیک در صورت رعایت اقتصاد حرکت یا همان اجرای درست قراردادها، فراهم می‌آید.

نتایج حاصل از این یافته‌ها، در پژوهش‌های بعدی مربوط به حوزه حرکت‌شناسی و نیز فیزیولوژی تئاتر قابلیت بهره‌برداری و تکمیل دارند. برای نمونه داده‌های مربوط به سایر حسگرهای متصل به داوطلبین که در مفاصل دست و پا و گردن نصب شده‌اند، می‌تواند در تبیین حرکات ضروری یا اضافی بدن حین اجرا و تعیین میزان سوخت و ساز بدن بازیگر به کار گرفته شوند که این موضوع لزوم تأسیس یک آزمایشگاه تخصصی حرکت‌شناسی / فیزیولوژی تئاتر در کشور را توجیه می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

ـ اردهالی، رضا. (۱۳۷۶) **تخمین سرعت راه رفتن و دویدن انسان‌ها از طریق داده‌های شتاب سنجی**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی شریف، استاد راهنما ادموند زاهدی

ـ تقوی کلاهی، مینا. (۱۳۹۳) **بررسی الگوی پخش فشار کف‌پایی و مؤلفه عمودی نیروی عکس‌العمل زمین در ورزشکاران حرفه‌ای تئاتر فیزیکال و غیر ورزشکاران**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیومکانیک ورزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، استاد راهنما رغد معمار

ـ حامدسقایان، مهدی. (بهمن۱۳۹۵) **بیومکانیک از درس گفتارهای سرگئی آیزنشتاین درباره‌ی بیومکانیک وسوالد میرهولد**. مجله نمایش، شماره ۲۰۹

ـ حامدسقایان، مهدی. (۱۳۹۵) **درس گفتارهای بیومکانیک. تهران: پردیس فارابی دانشگاه هنر**. چاپ نشده.

ـ سمندری، مرجان. (بهمن ۱۳۹۵) **وسوالد میرهولد: از سیستم استانیسلاوسکی تا بیومکانیک و تئاتر آینده (گفت‌وگو با مهدی حامد سقایان)**. مجله نمایش، شماره ۲۰۹

ـ صادقی، حیدر. (اسفند ۱۳۹۴) **مقایسه نیروهای عکس‌العمل زمین، تغییرات مرکز فشار و مرکز جرم بدن در پایان راه رفتن ارادی، نیمه ارادی و غیرارادی مردان جوان سالم**. مجله بیومکانیک ورزشی، دوره۱، شماره۳

ـ کولیوند، زهرا. (۱۳۸۶) **بیومکانیک میرهولد و به‌کارگیری تمرینات آن در آموزش بازیگر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد کارگردانی تئاتر، دانشگاه تربیت** مدرس. استاد راهنما: مهدی حامد سقایان

ـ گوردون، مل. (۱۳۹۵) **بیومکانیک میرهولد**، شفیعی سروستانی. بهاره، مجله نمایش، شماره ۲۰۹

- Bagheri Kudakani, Lenjannejadian, Hajlotfalian(1395) *Designing, validation, and reliability assessment of software to acquire kinematics parameters of motion by image processing,* Research on sport medicine and technology, 6th year, No.11

- Braun, Edward(1986). *The Theater of Meyerhold* , London.

- Braun, Edward(1995). *Meyerhold a Revolution in Theater*, Copyright 5 London.

- Duane Knudson(2007). *Fundamentals of Biomechanics 2nd edition*, Springer Publication.

- Peter Konrad(2005). The ABC of EMG (A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography), Noraxon Inc. USA.

منابع اینترنتی(تاریخ مراجعه از ۱ اکتبر۲۰۱۷ تا ۱ اکتبر ۲۰۱۸):

- https://www.elmevarzesh.com/**history-of-kinesiology**

ـ نجفی، رامیار. **تاریخچه حرکت‌شناسی**، (آوریل تا سپتامبر ۲۰۱۸).

- Noraxon product catalogue (2017). ***Biomechanical Research Optimized***, 1st Edition, Ref.

www.SID.ir

Archive of SID

پی‌نوشت

1- Kinesiology
2- Meyerhold ,Vsovolod ,Emilovich
3- Aristotle
4- Electromyography
5- Borelli
6- Nicolas Andrey
7- Ernest Hienricht Weber
8- Futurism
9- Constructivism
10- Fredrick Winslow Taylor
11- Gilberth, Frank Bunker
12- Gilberth, Lillian Muller
13- Gordon, Mol
14- Rakourse
15- Genadi Bogdanev
16- Sergei, Eisenstein
17- Atkaz
18- Passile
19- Tochka
20- Linear Regression
21- Nicolay Kostov
22- Alexi Levinski
23- Nicolay Karpov
24- Gate
25- Anatomic Angle

زاویه چرخش مفصل به لحاظ عملی است که کوچک‌تر از زاویه چرخش ریاضی خواهد بود.

26- Three Axis Noraxon accelerometer
27- Pelvis

www.SID.ir