

## بررسی دو نوع تغییرپذیری هماهنگی و مطلق حرکتی مفاصل اندام فوقانی طی فرایند یادگیری

### چکیده

دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۸

**هدف:** نظریات موجود در رابطه با الگوی تغییرپذیری همراه با ماهر شدن دارای تناقض می‌باشند. لذا تحقیق حاضر با جداسازی درجات آزادی مکانیکی و دینامیکی به بررسی دو نوع تغییرپذیری هماهنگی و مطلق طی فرایند یادگیری مهارت پرتاب آزاد بسکتبال پرداخت.

**روش‌ها:** تعداد ۲۰ شرکت‌کننده به صورت داوطلبانه در پژوهش حاضر شدند. افراد به طور تصادفی به دو گروه تمرین بدنی و کنترل تقسیم شدند. گروه آزمایشی طی ۱۲ جلسه ۵۰ کوششی به تمرین پرداختند. تغییرپذیری مطلق به وسیله‌ی ریشه میانگین مجذور خطا و تغییرپذیری هماهنگی به روش وکتور کدینگ مورد سنجش قرار گرفت.

**یافته‌ها:** در نمرات دقت گروه تمرین بدنی به طور معناداری بهتر از کنترل عمل کرد. نتایج در رابطه با تغییرپذیری مطلق نشان داد تنها در مفصل مچ بین گروه تمرین بدنی و کنترل تفاوت وجود دارد ( $p=0/037$ ) و  $F=5/07$ ) و الگوی تغییرات از نظریه Bernstein حمایت کرد. در مورد تغییرپذیری هماهنگی، بین دو گروه در هیچ یک از جفت مفاصل تفاوت وجود نداشت اما الگوی تغییرات در گروه تمرین بدنی در مفصل مچ-آرنج مطابق با نظریه سیستم‌های پویا بود.

**نتیجه‌گیری:** به طور کلی یافته‌های پژوهش حاضر نیز لزوم جداسازی درجات آزادی مکانیکی و دینامیکی را در اندازه‌گیری‌ها و بحث پیرامون نظریات موجود در رابطه با روند تغییرپذیری حرکتی نشان داد. هم‌چنین به نظر می‌رسد که در مهارت پرتاب آزاد بسکتبال حرکت مچ و هماهنگی مچ-آرنج از اهمیت بالایی برخوردار است.

**کلید واژگان:** درجات آزادی مکانیکی، درجات آزادی دینامیکی، وکتور کدینگ، نظریه فزونگی

زهرا انتظاری خراسانی<sup>۱\*</sup>، علیرضا فارسی<sup>۱</sup>، محمدکاظم واعظ موسوی<sup>۲</sup>، بهروز عبدلی<sup>۱</sup>

۱. گروه رفتار حرکتی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲. استاد دانشگاه امام حسین، تهران، ایران.

\* نویسنده مسئول: دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تلفن: ۰۲۳۵۴۷۷۶۱۵۷

E-mail: entezari.zahra66@yahoo.com

### مقدمه

با تمرین، افراد تمایل دارند که محدودیت بر درجات آزادی را افزایش دهند (۳). هنگامی که با سیستمی با درجات آزادی زیاد روبرو می‌شویم، استراتژی‌های متفاوتی برای رسیدن به یک سطح یکسان از دقت وجود دارد. برای مثال، تغییرپذیری برون‌داد هریک از عناصر می‌تواند در اثر تمرین کاهش پیدا کند. متناوباً، برون‌دادهای عناصر انفرادی می‌توانند همراه با نوبت باقی بمانند درحالی که همکاری آن‌ها بهبود می‌یابد، که منجر به تغییرپذیری عملکردی کمتر در متغیر اجرایی می‌شود (۴).

در بعضی از رشته‌های ورزشی نتیجه یک رقابت به طور کامل بستگی به دقت و صحت عملکرد دارد. اما در برخی ورزش‌ها نظیر پرتاب آزاد در بسکتبال، دقت مورد نیاز در یک تکلیف، بخشی ضروری برای رسیدن به نتیجه است (۱). هنگام انجام پرتاب آزاد بسکتبال، مریبان اغلب بر اجرای یک الگوی حرکت یکنواخت و سازگار تأکید دارند (۲). بنابراین همراه

حرکتی سستی، نظیر دیدگاه Fitts و posner، زمانی که فرد در مراحل اولیه یادگیری خود قرار دارد، جستجو برای یافتن خصیصه‌های مناسب ممکن است منجر به یک عملکرد ناهمسان همراه با تغییرپذیری هماهنگی بالا گردد، در مقابل، به محض اینکه فرد به سطوح بالای مهارتی خود همراه با عملکرد همسان دست پیدا می‌کند، تغییرپذیری هماهنگی پایینی را از خود به نمایش می‌گذارد. بنابراین، دیدگاه‌های سستی یادگیری حرکتی بر این باورند که عملکرد ماهرانه به‌وسیله کاهش تغییرپذیری هماهنگی حرکات به وقوع می‌پیوندد. از سوی دیگر با توجه به دیدگاه سیستم‌های پویا، در حرکات خوب یادگرفته شده، نتیجه عملکردی بالاتر، با تغییرپذیری هماهنگی حرکتی بین عضوی بالاتر در ارتباط می‌باشد. هر چند سطوح بالای تغییرپذیری هماهنگی در مراحل اولیه یادگیری اثر تضعیف‌کننده بر عملکرد حرکتی دارد، ولی در سطوح بالای مهارتی، حضور تغییرپذیری هماهنگی بالا در سیستم منجر به انعطاف‌پذیری سیستم و به دنبال آن افزایش توانایی جستجوی سیستم برای یافتن راه‌حل‌های بهینه ممکن و افزایش عملکرد حرکتی می‌گردد، در نتیجه طبق این دیدگاه تغییرپذیری طی یادگیری الگویی یو شکل دارد (۸). برای مثال، در مهارت پرتاب بسکتبال، تحقیقات نشان داده است که بین بهبود سطح مهارت پرتاب‌کننده با تغییرپذیری هماهنگی در پایان پرتاب ارتباط مثبتی وجود دارد، به بیان دیگر، زوایای آرنج و میج دست فرد پرتاب‌کننده، با انجام یک نوع عمل جبرانی، منجر به کسب عملکرد حرکتی پایدارتری می‌گردند (۱).

با توجه به تناقضاتی که در بالا و در نظریات ارائه شده در زمینه تغییرپذیری وجود دارد، لزوم انجام تحقیقی که در آن هر دو تغییرپذیری مطلق (مربوط به درجات آزادی مکانیکی) و تغییرپذیری هماهنگی حرکتی (مربوط به درجات آزادی دینامیکی) طی فرایند یادگیری مورد بررسی قرار گیرند، وجود دارد. هم‌چنین در اکثر تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده است، تغییرپذیری حرکتی افراد در مراحل مختلف یادگیری به صورت گروه‌های مستقل مبتدی و ماهر صورت گرفته است، و در ادبیات پژوهشی، تحقیقی که در آن تغییرپذیری را طی فرایند یادگیری از مبتدی تا ماهر در یک گروه مورد بررسی قرار دهد دیده نمی‌شود. از این رو، در پژوهش حاضر می‌توان تغییرپذیری حرکتی را طی روند یادگیری مورد بررسی قرار داد. انجام این پژوهش به درک بهتر و شفاف‌سازی تفاوت درجات آزادی انتخاب شده برای آزمون نظریه Bernstein و دیگر نظریات در حیطه تغییرپذیری کمک می‌کند و به نظر می‌رسد با در نظر داشتن ابعاد مختلف برای درجات آزادی می‌توان درک بهتری از علت تناقض

یادگیری حرکتی را به‌عنوان غلبه بر درجات آزادی بیومکانیکی اضافی قلمداد کرد و برای فعالیت جسمانی انسان سه مرحله یادگیری قائل شد. در مرحله اول، اندام و تنه هنگام اجرای حرکت، محکم و ثابت نگه داشته می‌شوند. در نتیجه تعداد درجات آزادی به حداقل میزان کاهش می‌یابد. در مرحله دوم، تثبیت و محدودیت درجات آزادی مفصل-فضا برطرف می‌شود، طوری که سرانجام فرد برای اجرا از تمام درجات آزادی ممکن استفاده می‌کند. در مرحله سوم یادگیرنده به جای مقاومت در برابر نیروهای غیرفعال (Passive) برخاسته از تعامل بین ارگانیسم و محیط، از آن‌ها بهره‌برداری می‌کند. استفاده بهینه از این نیروها از میزان تلاش واقعی برای تولید حرکات می‌کاهد و در نتیجه حرکت نرم، روان و کارآمد می‌شود (۴).

مطالعات اخیر در زمینه کنترل حرکتی بر نقش تعیین‌کننده تغییرپذیری در اجرای مهارت‌های حرکتی اشاره دارند (۵). در اجرای یک پرتاب آزاد بسکتبال، فرض بر این است که تغییرپذیری به‌عنوان یک عمل جبرانی برای تنظیم خطاهای تکنیکی به کار می‌رود. بنابراین تغییرپذیری بیشتر در الگوی حرکتی (تکنیک پرتاب آزاد)، ممکن است عملکردی بوده و در دستیابی به تغییرپذیری کمتر در نتیجه حرکت (رسیدن به هدف)، مفید باشد (۶).

از میان متغیرهای مختلفی که قادر به بررسی تغییرات در درجات آزادی طی تمرین هستند بسیاری از تحقیقات از تغییرپذیری جفت‌شدگی یا هماهنگی مفاصل (coordination variability) و هم‌چنین تغییرپذیری مطلق (absolute variability) استفاده کرده‌اند. باید توجه داشت که مشکل درجات آزادی در حرکات انسان چند بعدی است و باید در جهات مختلف تغییر درک شود. یک بعد از آن حرکات انفرادی یک مفصل می‌باشد که منظور درجات آزادی مکانیکی (Mechanical degree of freedom) در سطح رفتاری است و نقطه تمرکز دیدگاه Bernstein بر این جنبه است و به‌وسیله تغییرپذیری مطلق محاسبه می‌شود. اما هم‌چنین ارتباطات فضایی-زمانی حرکات بخش‌های مختلف بدن که بیانگر درجات آزادی دینامیکی (Dynamical degree of freedom) یا بعد رفتاری حرکت است نیز وجود دارد که از طریق محاسبه تغییرپذیری هماهنگی مورد بررسی قرار می‌گیرد (۷). بنابراین طبق دیدگاه Bernstein، انتظار می‌رود که در مرحله اول یادگیری، با کاهش درجات آزادی مکانیکی، تغییرپذیری مطلق کاهش یابد. سپس با رها شدن درجات آزادی، تغییرپذیری مطلق افزایش و در انتها با ماهر شدن در تکلیف و رسیدن درجات آزادی به میزان بهینه، کاهش خواهد یافت. اما با توجه به دیدگاه‌های یادگیری

## روش شناسی

یافته‌های تحقیقات مربوط به تغییرپذیری داشت.

دیستال استخوان اول کف دستی (Styloid process of radius). پیش از شروع ثبت داده‌ها هر دو کالیبریشن ثابت (شکل ۳-۳) و متحرک (شکل ۳-۴) به منظور تعیین موقعیت و جهت حجم فضای قابل دید هر دوربین و هم‌چنین کوچک کردن خطا در لنزهای دوربین‌ها، صورت گرفت. بعد از گرفتن داده‌ها (Motion Capture) برای تبدیل نمودارها به عدد، ابتدا تمام مارکرها در نرم‌افزار کر تکس تعریف شد. حرکت از لحظه شروع خم شدن بازو تا بیشترین بازشدگی آرنج در ادامه حرکت پس از رها شدن توپ در نظر گرفته شد. مقادیر عددی زاویه‌ها در هر فریم از یک فیلتر حد پایین دو سویه باترورث دستور چهارم ۶ هرتزی (low pass fourth order Butterworth Hz ۶) به منظور بریدن و جدا کردن فراوانی‌ها به صورت مساوی بر سه، و هم‌چنین برای هموار کردن (smooth) داده‌ها عبور داده شدند و به صورت فایل اکسل استخراج شدند.

تغییرپذیری مطلق به وسیله روش ریشه میانگین مجذور خطا محاسبه می‌شود. برای تجزیه و تحلیل شاخص‌های ذکر شده از نرم‌افزار متلب استفاده شد. در برنامه متلب مقادیر عددی نمودارهای زاویه‌ای هر یک از مفاصل مچ، آرنج و شانه با روش درون‌یابی به تعداد ۱۰۰ تایی نرمال شده و نمودار زاویه‌ای مفاصل شرکت‌کنندگان در هر کوشش با نمودار زاویه‌ای مفاصل متناظر در مدل، به وسیله فرمول زیر مقایسه می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}$$

در پژوهش حاضر، با توجه به غیر سینوسی بودن نمودار پرتاب و عدم نیاز به نمرات سرعت (رسم صفحه مرحله و استفاده از روش‌های فاز نسبی) از روش کدگذاری برداری برای بررسی تغییرپذیری هماهنگی استفاده شد (۹). برای محاسبه مقدار کدگذاری برداری، زاویه جفت‌شدگی بین دو مفصل با استفاده از فرمول زیر در برنامه‌نویسی نرم‌افزار متلب محاسبه گردید:

$$\phi_{VC}(i) = \tan^{-1} \left[ \frac{\theta_{dist}(i+1) - \theta_{dist}(i)}{\theta_{prox}(i+1) - \theta_{prox}(i)} \right]$$

در این فرمول،  $\phi_{VC}$  مقدار کدگذاری برداری به صورت زاویه جفت‌شدگی بین دو مفصل است، همچنین  $\theta_{prox}$  و  $\theta_{dist}$  به ترتیب زوایای مفاصل پروگزیمال و دیستال است. پس از محاسبه زاویه جفت‌شدگی برای هر جفت مفصل در هر فرد، تغییرات آن به صورت انحراف معیار بین سیکل‌ها در طی تغییر جهت محاسبه شده و در تمام افراد میانگین گرفته می‌شود (۱۰).

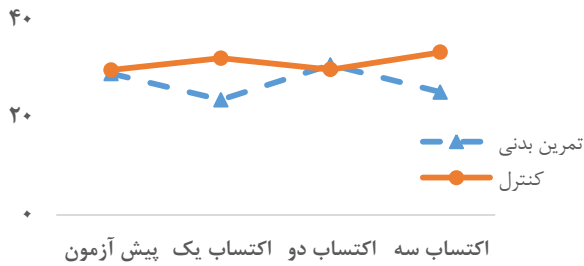
از آمار توصیفی برای طبقه‌بندی و تنظیم داده‌ها و تعیین شاخص مرکزی

شرکت‌کنندگان این پژوهش دانشجویان کارشناسی غیر تربیت‌بدنی دانشگاه شهید بهشتی تهران بودند که از بین آن‌ها ۲۰ نفر به صورت داوطلبانه و از دو جنس (۱۱ دختر و ۹ پسر، با میانگین سنی ۲۱±۳)، پس از پر کردن پرسشنامه فردی که در ابتدای پژوهش به آن‌ها داده شد، انتخاب شدند. طبق پرسشنامه افراد می‌بایست راست دست بوده و هم‌چنین از بینایی نرمال برخوردار باشند، همه افراد مبتدی بوده و هیچ‌یک از شرکت‌کنندگان تجربه پرتاب آزاد بسکتبال را به صورت رسمی نداشتند.

در ابتدای آزمایش، یک جلسه توجیهی برای شرکت‌کنندگان در نظر گرفته شد و آن‌ها با هدف مطالعه و نحوه اجرای آزمون (دستورالعمل آموزشی) آشنا شدند. سپس فرآیند مارکرگذاری با توجه به اهداف مطالعه حاضر صورت گرفت (در بخش روش اندازه‌گیری کینماتیک حرکت، محل و نحوه قرارگیری مارکرها توضیح داده خواهد شد). همه آزمودنی‌ها سه کوشش را به عنوان پیش-آزمون اجرا کردند. شرکت‌کنندگان گروه تمرین بدنی، ۱۲ جلسه ۵۰ کوششی به تمرین پرتاب آزاد بسکتبال پرداختند. شرکت‌کنندگان گروه کنترل در کل دوره تحقیق هیچ تمرینی نداشته و فقط به اجرای آزمون‌ها پرداختند. در انتهای روزهای چهارم، هشتم و دوازدهم تمرینی و بعد از ۱۰ دقیقه فاصله، هر آزمودنی سه کوشش بدنی را اجرا کرد که به عنوان عملکرد مرحله اکتساب محسوب شد.

برای بررسی دقت پرتاب، از آزمون به کار رفته در پژوهش Wulf و همکاران استفاده شد که در این آزمون به پرتابی که گل شود ۵ امتیاز، برخورد توپ به حلقه ۳ امتیاز، برخورد توپ به تخته و حلقه ۲ امتیاز، برخورد توپ به تخته ۱ امتیاز و پرتاب ایربال (بدون برخورد به حلقه و تخته) صفر امتیاز تعلق می‌گیرد (۶).

از دستگاه تجزیه و تحلیل حرکتی (ساخت شرکت motion analysis آمریکا) که شامل هشت دوربین مادون قرمز بود، برای ثبت داده‌ها استفاده شد. پنج مارکر انعکاسی (دو سانتی متری) بر روی مفاصل سمت راست بدن، قرار داده شد. این مارکرها بر روی نقاط آناتومیکی زیر قرار داده شدند: برجستگی خاصره (Greater trochanter)، زائده آخرمی شانه (Acromion process)، اپی‌کندیل خارجی زند اعلا (Lateral epicondyle of humerus)، زائده نیزه‌ای زند اعلا (Styloid process of radius) و سر



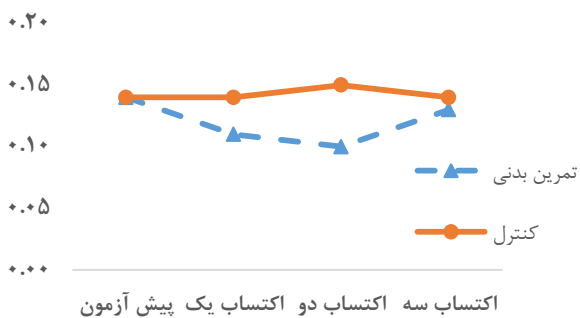
شکل ۳. میانگین برآورد شده نمرات تغییرپذیری مطلق در مفصل آرنج طی مراحل مختلف آزمون

با توجه به نمودار، تغییرپذیری مطلق آرنج گروه تمرین بدنی طی فرایند یادگیری به صورت کاهش-افزایش-کاهش بوده است.



شکل ۴. میانگین برآورد شده نمرات تغییرپذیری مطلق در مفصل شانه طی مراحل مختلف آزمون

همان طور که در شکل مشخص است، تغییرپذیری مطلق شانه گروه تمرین بدنی طی فرایند یادگیری افزایش و سپس کاهش یافته است. شکل های پنج، شش و هفت میانگین برآورد شده نمرات تغییرپذیری هماهنگی را در سه جفت مفصل مچ-آرنج، آرنج-شانه و مچ-شانه طی مراحل مختلف آزمون نشان می دهند.

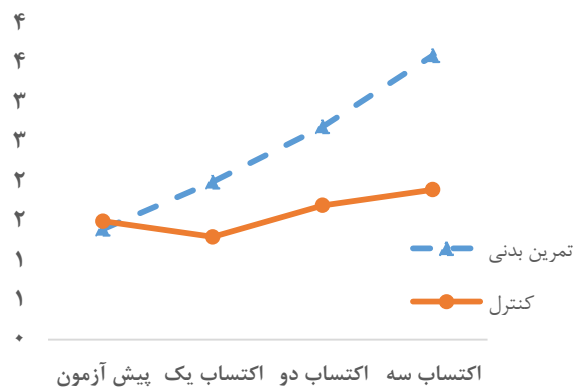


شکل ۵. میانگین برآورد شده نمرات تغییرپذیری هماهنگی در جفت مفاصل مچ-آرنج

(میانگین) و شاخص پراکندگی (انحراف معیار) استفاده شد. برای سنجش تغییرپذیری حرکتی از شاخص های انحراف معیار استفاده شد. به منظور بررسی فرضیه های پژوهش، از تحلیل واریانس مرکب با اندازه گیری تکراری ۲ (گروه) × ۴ (مراحل آزمون) استفاده شد.

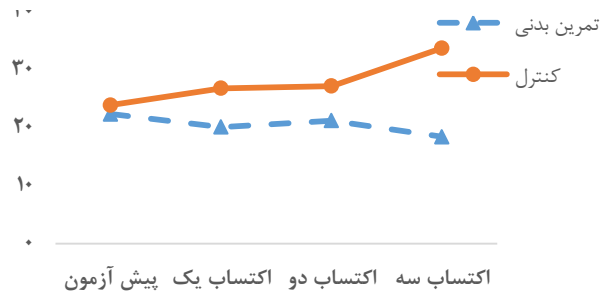
## نتایج

شکل یک میانگین نمرات عملکرد حرکتی (دقت) را در دو گروه و در مراحل مختلف پیش آزمون و اکتساب (یک، دو و سه) نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که گروه تمرین بدنی بهتر از گروه کنترل عمل کرده است و نمرات دقت بالاتری کسب نموده اند.



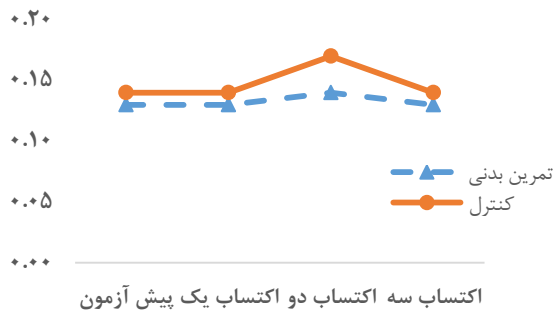
شکل ۱. میانگین نمرات عملکرد حرکتی (دقت)

شکل های دو، سه و چهار، میانگین برآورد شده نمرات تغییرپذیری مطلق را در سه مفصل مچ، آرنج و شانه طی مراحل مختلف آزمون نشان می دهند.

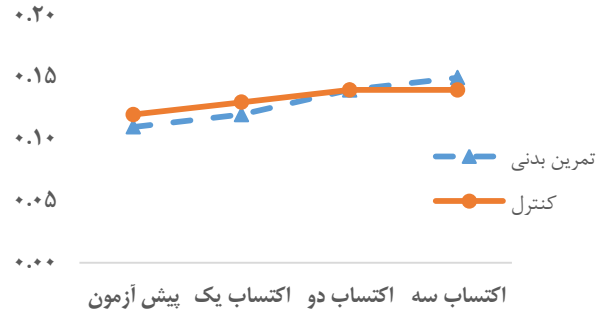


شکل ۲. میانگین برآورد شده نمرات تغییرپذیری مطلق در مفصل مچ طی مراحل مختلف آزمون

همان طور که در شکل مشخص است، تغییرپذیری مطلق مچ گروه تمرین بدنی طی فرایند یادگیری کاهش داشته است.



شکل ۷. میانگین برآورد شده نمرات تغییرپذیری هماهنگی در جفت مفاصل مچ-شانه



شکل ۶. میانگین برآورد شده نمرات تغییرپذیری هماهنگی در جفت مفاصل آرنج-شانه

جدول ۱.

نتایج تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌گیری تکراری دو گروه تمرین بدنی و کنترل در عملکرد حرکتی (دقت) طی مراحل مختلف آزمون

منبع تغییرات	مجموع مجزورات	درجه آزادی	F	سطح معناداری
گروه	۱۳/۶۱	۱	۵/۱۹	* ۰/۰۳۵
مراحل آزمون	۶/۸۴	۳	۴/۹۰	* ۰/۰۰۴
تعامل گروه و مراحل آزمون	۲/۷۷	۳	۱/۹۹	۰/۱۲

\* وجود تفاوت آماری در سطح  $\alpha = 0/05$

جدول ۲.

نتایج تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌گیری تکراری دو گروه تمرین بدنی و کنترل در تغییرپذیری مطلق (مفاصل مچ، آرنج و شانه) طی مراحل مختلف آزمون

منبع تغییرات	تغییرپذیری مطلق	مجموع مجزورات	درجه آزادی	F	سطح معناداری
گروه	مفصل مچ	۱۰۰۸/۷۸	۱	۵/۰۷	* ۰/۰۳۷
	مفصل آرنج	۳۳۶/۵۱	۱	۰/۹۶	۰/۳۳
	مفصل شانه	۹۶۱/۷۴	۱	۲/۸۰	۰/۱۱
مراحل آزمون	مفصل مچ	۲۸/۹۷	۳	۰/۲۱	۰/۸۸
	مفصل آرنج	۱۹/۸۳	۳	۰/۱۱	۰/۹۵
	مفصل شانه	۳۱۴/۵۵	۳	۱/۳۸	۰/۲۵
تعامل گروه و مراحل آزمون	مفصل مچ	۱۸۵/۲۰	۳	۱/۳۹	۰/۲۵
	مفصل آرنج	۱۲۲/۰۳	۳	۰/۶۹	۰/۵۶
	مفصل شانه	۱۶۷/۶۸	۳	۰/۷۴	۰/۵۳

\* وجود تفاوت آماری در سطح  $\alpha = 0/05$

بدنی سطح پایین تری در مقایسه با گروه کنترل داشته است.

### بحث

یافته‌ها در رابطه با تأثیر تمرین بر عملکرد حرکتی طی فرایند یادگیری مهارت پرتاب آزاد بسکتبال، نشان داد که در نمرات عملکردی، بین دو گروه تمرین بدنی و کنترل تفاوت معنادار آماری وجود دارد. همچنین

با توجه به شکل پنج نمرات تغییرپذیری هماهنگی جفت مفاصل مچ-آرنج در گروه تمرین بدنی سطح پایین تری در مقایسه با گروه کنترل داشته و روند تغییر طی فرایند یادگیری به صورت کاهش-افزایش بوده است. بررسی نمودارها در شکل شش نشان می‌دهد، نمرات تغییرپذیری هماهنگی جفت مفاصل آرنج-شانه در گروه تمرین بدنی تقریباً مشابه با گروه کنترل بوده است. نمرات تغییرپذیری هماهنگی جفت مفاصل مچ-شانه در گروه تمرین

## جدول ۳.

نتایج تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌گیری تکراری چهار گروه الگوهی ماهر، در حال یادگیری، تمرین بدنی و کنترل در تغییرپذیری هماهنگی (جفت مفاصل مچ- آرنج، مچ- شانه و آرنج- شانه) طی مراحل مختلف آزمون

منبع تغییرات	تغییرپذیری هماهنگی	مجموع مجذورات	درجه آزادی	F	سطح معناداری
گروه	مفاصل مچ-آرنج	۰/۰۰۷	۱	۲/۱۶	۰/۱۵
	مفاصل آرنج-شانه	۰/۰۰۱	۱	۰/۱۵	۰/۷۰
	مفاصل شانه-مچ	۰/۰۰۶	۱	۱/۱۹	۰/۲۸
مراحل آزمون	مفاصل مچ-آرنج	۰/۰۰۱	۳	۰/۳۷	۰/۷۷
	مفاصل آرنج-شانه	۰/۰۰۴	۳	۱/۳۶	۰/۲۶
	مفاصل شانه-مچ	۰/۰۰۲	۳	۰/۹۱	۰/۴۴
تعامل گروه و مراحل آزمون	مفاصل مچ-آرنج	۰/۰۰۳	۳	۰/۸۷	۰/۴۶
	مفاصل آرنج-شانه	۰/۰۰۰	۳	۰/۰۹	۰/۹۶
	مفاصل شانه-مچ	۰/۰۰۰	۳	۰/۸۶	۰/۹۲

\* وجود تفاوت آماری در سطح  $\alpha = ۰/۰۵$

در مورد دو مفصل مچ و آرنج دیده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که طی فرایند یادگیری از طریق تمرین بدنی، تغییرپذیری این دو مفصل مطابق با الگوی پیش‌بینی شده Bernstein و به صورت کاهش-افزایش-کاهش بوده است. این یافته هم‌راستا یا پژوهش Hiley می‌باشد، Hiley معتقد بود که افراد ماهر تغییرپذیری کمتری را در جنبه‌های مکانیکی مهم مهارت از خود نشان می‌دهند (۸). شاید به همین دلیل باشد که الگوی تغییر مفصل شانه که به نظر می‌رسد در مهارت پرتاب آزاد تأثیر کمتری داشته باشد و به نوعی یک جزء غیر مهم محسوب می‌شود، از الگوی پیش‌بینی شده تبعیت نکرده است.

باین حال با توجه به اینکه اثر اصلی مراحل آزمون معنادار نبود، و تغییرپذیری مطلق گروه‌ها در هیچ‌کدام از مفصل‌ها طی فرایند تمرین تغییر معنادار نداشته است. هم‌چنین از آن‌جاکه مشخص نیست در انتهای تمرین، افراد در چه سطحی از مهارت قرار دارند، استفاده از الگوهای ارائه شده در رابطه با تغییرپذیری مطلق حرکتی مربوط به هر سطح مهارت با تردید همراه است، و می‌توان گفت که این متغیر نمی‌تواند در تعیین تفاوت بین گروه‌ها نقش بسزایی داشته باشد.

تحقیقات در زمینه تمرین بدنی پیش‌تر نشان داده است تغییرپذیری هماهنگی حرکتی در سطوح مختلف مهارتی مقادیر متفاوتی را به خود اختصاص می‌دهد (۸، ۱۶). در پژوهش حاضر الگوی تغییرپذیری هماهنگی طی فرایند یادگیری مورد سنجش قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که اثر اصلی گروه، مراحل آزمون و تعامل آن‌ها در هیچ‌یک از جفت مفاصل مچ-آرنج، آرنج-شانه و مچ-شانه معنادار نشد. شاید علت این عدم

اثر اصلی مراحل آزمون معنادار بود. میانگین نمرات عملکردی در هر دو گروه تمرین بدنی و کنترل طی مراحل پیش‌آزمون تا اکتساب سه پیشرفت داشت، اما شیب پیشرفت در گروه تمرین بدنی بالاتر بود.

بررسی نتایج مربوط به تغییرپذیری مطلق سه مفصل مچ، آرنج و شانه مشخص نمود که تنها در مفصل مچ، بین دو گروه تمرین بدنی و کنترل در تغییرپذیری مطلق تفاوت وجود دارد. در مفصل مچ، تغییرپذیری مطلق در گروه تمرین بدنی طی مراحل اکتساب به صورت کاهش-افزایش-کاهش بوده است. اما در گروه کنترل به صورت افزایشی تغییر کرده است. الگوی تغییرات در گروه تمرین بدنی از الگوی پیشنهادی Bernstein در فرایند یادگیری حمایت می‌کند. مطابق با نظریه Bernstein، طی فرایند یادگیری، از آنجایی که افراد در مراحل ابتدایی نمی‌توانند از کل دامنه حرکتی اندام‌های خود استفاده لازم را ببرند، آن‌ها را منجمد می‌کنند. منجمد کردن اندام‌ها منجر به راه‌های حرکتی کمتر و در نتیجه تغییرپذیری کم‌تر می‌شود (۱۱).

این کاهش تغییرپذیری در تیراندازان تپانچه مبتدی در مقایسه با ماهر دیده شده است (۱۲). سپس به تدریج به رهاسازی درجات آزادی و افزایش تغییرپذیری می‌پردازند تا در نهایت به یک الگوی واحد هماهنگ برسند که بیشترین کارایی را دارد (۱۳). بر اساس این نظریه، انتظار می‌رود که طی فرایند یادگیری یک مهارت حرکتی، تغییرپذیری درجات آزادی مکانیکی در ابتدا کاهش، سپس افزایش و در انتها مجدداً کاهش یابد. وجود این الگوی تغییر در ادبیات پژوهشی اولیه که به بررسی نظریه Bernstein پرداختند، به اثبات رسیده است (۱۴، ۱۵). با توجه به یافته‌های مربوط به سه مفصل، مشاهده می‌شود که این الگوی تغییر تنها در گروه تمرین بدنی و

دیدگاه‌های شناختی، یک الگوی مشخص از کاهش تغییرپذیری همراه با افزایش مهارت یافت نشد (۴). سایر تحقیقات نظیر Schorer و همکاران، نیز از این نتیجه‌گیری حمایت کردند (۲۰). بنابراین یافته‌های این بخش از پژوهش حاضر در کنار یافته‌های تحقیقات ذکر شده، از این نظر که معتقدند عملکرد ماهرانه به وسیله‌ی افزایش تغییرپذیری هماهنگی حرکات به وقوع می‌پیوندد، با پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط رویکردهای سنتی پردازش اطلاعات (Adams) ناهمخوان است. بر اساس این رویکردها، تغییرپذیری حرکتی برای عملکرد به صورت خطا و یا اختلال، مضر تلقی شده و به دلیل ناتوانی سیستم حرکتی در پیش‌بینی و تنظیم پارامترهای مناسب حرکت، حاصل می‌شود (۲۱). به بیان دیگر، تغییرناپذیری در نتیجه و عملکرد حرکتی، نیازمند تغییرناپذیری در فرایند و طرح‌واره‌های حرکتی است. یافته‌های این بخش از تحقیق هم‌چنین با برخی از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، ناهمخوان است. برای مثال، برخی تحقیقات در مهارت‌هایی نظیر بسکتبال (Robins) و هندبال (Wagner) نشان می‌دهند که تغییرپذیری هماهنگی حرکتی در افراد مبتدی بالاتر از افراد ماهر می‌باشد (۱۶، ۲۲). برای مثال، Robins در بخشی از مطالعه خود، کاهش معناداری را در تغییرپذیری هماهنگی به صورت تابعی از سطح خبرگی نشان داد. از آنجایی که تکلیف در هر دو پژوهش حاضر و Robins، همسان است، شاید بتوان یکی از دلایل احتمالی عدم همخوانی یافته‌های پژوهش حاضر را با یافته‌های تحقیق Robins، به روش اندازه‌گیری تغییرپذیری هماهنگی نسبت داد (۱۶). در پژوهش حاضر، از روش کدگذاری برداری برای سنجش تغییرپذیری هماهنگی استفاده شد، در حالی که Robins از روش تفاوت ریشه میانگین مجذور استاندارد شده استفاده کرده است (۱۶). بنابراین افزایش تغییرپذیری هماهنگی حرکتی مشاهده شده در جفت مفاصل مچ-آرنج، به صورت تابعی از افزایش سطح مهارت، را می‌توان به وسیله‌ی دیدگاه‌های سیستم‌های پویا و قیود محور توجیه نمود. بر اساس این دیدگاه‌ها، افراد ماهر قادر خواهند بود تا از تغییرپذیری ذاتی سیستم به صورت کارکردی و در جهت سازماندهی بهینه قیود تکلیف و بهبود اجرای حرکتی بهره ببرند. این سطح از تغییرپذیری نه تنها منجر به بهبود اجرای حرکتی شده، بلکه انعطاف‌پذیری و سازگاری سیستم حرکتی را در شرایط محیطی متغیر و اغتشاش از افزایش می‌دهد. به هر حال، عملکرد ماهرانه به وسیله‌ی دامنه بهینه‌ای از تغییرپذیری حرکتی تسهیل می‌شود، در غیر این صورت و اگر تغییرپذیری هماهنگی از این دامنه فراتر رود، می‌تواند اجرای حرکتی را تخریب کند. به عنوان مثال، بر اساس پژوهش Fetters، فقدان تغییرپذیری حرکتی می‌تواند به سبب حذف رفتارهای

معناداری ارزش عددی کم نمرات وکتورکدینگ باشد. اما بررسی دقیق‌تر نمرات میانگین مشخص می‌کند که در گروه تمرین بدنی تغییرپذیری هماهنگی جفت مفاصل مچ-آرنج طی فرایند یادگیری از مرحله پیش‌آزمون تا اکتساب سه، الگویی شبیه به «U» را نشان می‌دهد. یعنی در ابتدا کاهش تغییرپذیری هماهنگی و سپس در انتهای بخش تمرین، افزایش آن دیده شد. با وجود افزایش تغییرپذیری در اکتساب سه، میزان عددی آن از سطح پیش‌آزمون کمتر است. این نتایج با پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط دیدگاه سیستم‌های پویا هم‌راستا می‌باشد (۸). طبق این دیدگاه در اوایل تمرین تغییرپذیری زیاد است اما با پیشرفت مهارت و افزایش همسانی در اجرا تغییرپذیری کاهش می‌یابد، با ماهر تر شدن در تکلیف تغییرپذیری به صورت جبرانی افزایش پیدا می‌کند تا انعطاف‌پذیری حرکت را بیشتر کند. از سوی دیگر افزایش تغییرپذیری هماهنگی همراه با تمرین، با بهبود عملکرد حرکتی در پرتاب نیز همراه بوده است، بنابراین یافته‌های این بخش بر اثرات مثبت، کارکردی و جبرانی تغییرپذیری هماهنگی حرکتی اشاره دارد و با دیدگاه‌های سنتی پردازش اطلاعات که تغییرپذیری حرکتی را به عنوان خطا و یا اختلال در سیستم حرکتی می‌بینند ناهمخوان است (۱۷، ۱۸).

افزایش تغییرپذیری هماهنگی مشاهده شده در جفت مفاصل مچ-آرنج، به صورت تابعی از تمرین، با برخی از تحقیقات قبلی نظیر پرتاب آزاد بسکتبال (Button و همکاران)، ضربه چپ فوتبال (Chow و همکاران) و پرش سه‌گام (Wilson و همکاران) هم‌راستا است (۴، ۱۲، ۱۹). برای مثال Wilson و همکاران، نشان دادند که همراه با افزایش عملکرد سه‌گام در افراد نخبه، تغییرپذیری هماهنگی حرکتی بین عضوی نیز افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، تحقیق آن‌ها از وجود یک رابطه «U» شکل بین سطح مهارت و میزان تغییرپذیری هماهنگی حرکتی حمایت می‌کند. Wilson گزارش کرد که سطوح بالایی از تغییرپذیری هماهنگی در افراد مبتدی دیده می‌شود که نقش تضعیف‌کننده‌ای بر عملکرد در این مرحله یادگیری دارند، در مرحله بعد، یعنی در افراد نیمه ماهر، زمانی که پالایش‌هایی در الگوی حرکتی به واسطه تمرین شکل گرفته است، تغییرپذیری هماهنگی کاهش می‌یابد و منجر به بروز عملکرد همسان‌تر و تنظیم شده تر می‌گردد. در مرحله نهایی یادگیری و در افراد ماهر، تغییرپذیری هماهنگی عملکردی وجود دارد که منجر به انعطاف‌پذیری سیستم حرکتی در محیط‌های اغتشاش‌زا و به دنبال آن بهبود عملکرد حرکتی می‌گردد (۸). Button و همکاران، نیز در پژوهشی دیگر، به بررسی اثر سطح مهارت بر تغییرپذیری هماهنگی حرکتی بازیکان بسکتبال پرداختند و نشان دادند که برخلاف پیش‌بینی‌های

تغییرپذیری هماهنگی آن‌ها کم شده و در نتیجه تغییرپذیری هماهنگی دو جفت مفصل مچ-شانه و آرنج-شانه افزایش می‌یابد. با پیشرفته‌تر شدن در مهارت، تغییرپذیری هماهنگی کارکردی مچ-آرنج به تدریج و به جهت افزایش انعطاف‌پذیری حرکتی افزایش یافته، تغییرپذیری هماهنگی مچ-شانه، برای رسیدن به همسانی کاهش می‌یابد. در تأیید این توجیه، Hiley و همکاران نیز به این موضوع اشاره داشتند که انتظار می‌رود تغییرپذیری کم‌تر در ویژگی‌های مهم تکنیک دیده شود، و در ویژگی‌های کم‌اهمیت‌تر، تغییرپذیری افزایش یابد (۲۴). این امر تنظیمات لازم برای اطمینان از کاهش تغییرپذیری در مقوله‌های مهم را فراهم می‌سازد. به نظر می‌رسد در مورد مهارت پرتاب آزاد بسکتبال هماهنگی جفت مفاصل مچ-آرنج از اهمیت بالاتری برخوردار است و ممکن است تنها از طریق تمرین بدنی کسب شود.

به‌طورکلی یافته‌های پژوهش حاضر نیز لزوم جداسازی درجات آزادی مکانیکی و دینامیکی را در اندازه‌گیری‌ها و بحث پیرامون نظریات موجود در رابطه با روند تغییرپذیری حرکتی نشان داد. با این حال این پژوهش روند تغییرپذیری در طی اجرای کامل مهارت پرتاب مدنظر قرار گرفت. مطالعات نشان داده‌اند که در بخش‌های مختلف پرتاب، تغییرپذیری ممکن است به گونه متفاوتی تغییر کند (۲۲). پیشنهاد می‌شود که پژوهش حاضر در شرایطی که تغییرپذیری هماهنگی در مراحل مختلف پرتاب (شتاب‌گیری، لحظه‌ی رهایی توپ) مورد سنجش قرار می‌گیرد، باز انجام شود.

اکتشافی و فرایندهای انطباقی و اصلاحی سیستم حرکتی، منجر به تخریب اجرای حرکتی گردد، و در مقابل، مقدار بیش از حد تغییرپذیری در یک سیستم حرکتی، می‌تواند به‌وسیله‌ی مداخله با تولید کارکردی حرکات و افزایش نوین حرکتی، منجر به افت اجرای حرکتی گردد (۲). این ایده تحت عنوان دیدگاه تغییرپذیری حرکتی بهینه نیز مطرح شده است (۲۳). در بخش دیگر یافته‌ها، که مربوط به تغییرپذیری هماهنگی جفت مفاصل مچ-شانه است، بررسی نمرات نشان می‌دهد که در گروه تمرین بدنی مقدار تغییرپذیری هماهنگی مچ-شانه طی فرایند تمرین افزایشی-کاهشی بوده است. با این حال نمرات عملکردی سیر صعودی داشته است. در بخش یافته‌های مربوط به تغییرپذیری هماهنگی و در مورد هماهنگی آرنج-شانه، بررسی نمرات میانگین کدگذاری برداری سه‌گروه، مشخص کرد که هر دو گروه طی فرایند تمرین افزایش در تغییرپذیری هماهنگی شانه-آرنج را داشته‌اند.

## نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی، بهبود نمرات عملکردی با افزایش تغییرپذیری هماهنگی مچ-آرنج و آرنج-شانه، و کاهش هماهنگی مچ-شانه همراه بوده است. این مسئله را شاید بتوان این‌گونه توجیه نمود که در مهارت پرتاب آزاد بسکتبال کسب هماهنگی مچ-آرنج نسبت به دو جفت مفاصل دیگر، از اهمیت بالاتری برخوردار است و در اولویت قرار دارد. بنابراین در مراحل ابتدایی تمرین، برای رسیدن به همسانی در هماهنگی مچ-آرنج،

## References

1. Davids, K., Bennett, S., & Newell, K. M. Movement system variability: Human kinetics. 2006.
2. Fetters, L. Pediatrics Special Issue Perspective on Variability in the Development of Human Action. Physical Therapy. 2010; 90(12), 1860.
3. Wissel, H. Basketball: Steps to Success: Human Kinetics. 2011.
4. Button, C., Macleod, M., Sanders, R., & Coleman, S. Examining movement variability in the basketball free-throw action at different skill levels. Research quarterly for exercise and sport. 2003;74(3), 257-269.
5. Wu, Y.-H., & Latash, M. L. The effects of practice on coordination. Exercise and sport sciences reviews. 2014; 42(1), 37.
6. Wulf, G., & Su, J. An external focus of attention enhances golf shot accuracy in beginners and experts. Research quarterly for exercise and sport. 2007;78(4), 384-389.
7. Mullineaux, D. R., & Uhl, T. L. Coordination-variability and kinematics of misses versus swishes of basketball free throws. Journal of Sports Sciences. 2010; 28(9), 1017-1024.
8. Wilson, C., Simpson, S. E., Van Emmerik, R. E., & Hamill, J. Coordination variability and skill development in expert triple jumpers. Sports biomechanics. 2008; 7(1), 2-9.
9. Wheat, J. S., & Glazier, P. S. Measuring coordination and variability in coordination. 2005.
10. Miller, R. H., Chang, R., Baird, J. L., Van Emmerik, R. E., & Hamill, J. Variability in kinematic coupling assessed by vector



- coding and continuous relative phase. *Journal of biomechanics*. 2010; 43(13), 2554-2560.
11. Hafer, J. F., Freedman Silvernail, J., Hillstrom, H. J., & Boyer, K. A. Changes in coordination and its variability with an increase in running cadence. *Journal of Sports Science*. 2016; 34(15), 1388-1395.
  12. Arutyunyan, G., Gurfinkel, V., & Mirskii, M. Organization of movements on execution by man of an exact postural task. *BIOPHYSICS-USSR*. 1969; 14(6), 1162.
  13. Hong, S., & Newell, K. Change in the organization of degrees of freedom with learning. *Journal of motor behavior*. 2006; 38(2), 88-100.
  14. Temprado, J., Della-Grasta, M., Farrell, M., & Laurent, M. A novice-expert comparison of (intra-limb) coordination subserving the volleyball serve. *Human Movement Science*. 1997; 16(5), 653-676.
  15. Vereijken, B., Emmerik, R. E. v., Whiting, H., & Newell, K. M. Free (z) ing degrees of freedom in skill acquisition. *Journal of motor behavior*. 1992; 24(1), 133-142.
  16. Robins, M. Constraints on movement variability during a discrete multi-articular action. Sheffield Hallam University. 2013.
  17. Adams, J. A. Historical review and appraisal of research on the learning, retention, and transfer of human motor skills. *Psychological Bulletin*. 1987; 101(1), 41.
  18. Schmidt, R. A. Motor schema theory after 27 years: reflections and implications for a new theory. *Research quarterly for exercise and sport*. 2003; 74(4), 366-375.
  19. Chow, J. Y., Davids, K., Button, C., & Koh, M. Variation in coordination of a discrete multiarticular action as a function of skill level. *Journal of motor behavior*. 2007; 39(6), 463-479.
  20. Schorer, J., Baker, J., Fath, F., & Jaitner, T. Identification of interindividual and intraindividual movement patterns in handball players of varying expertise levels. *Journal of motor behavior*. 2007; 39(5), 409-421.
  21. Vereijken, B., Emmerik, R. E. v., Whiting, H., & Newell, K. M. Free (z) ing degrees of freedom in skill acquisition. *Journal of motor behavior*. 1992; 24(1), 133-142.
  22. Wagner, H., Pfusterschmied, J., Klous, M., von Duvillard, S. P., & Müller, E. Movement variability and skill level of various throwing techniques. *Human Movement Science*. 2012; 31(1), 78-90.
  23. Stergiou, N., Harbourne, R. T., & Cavanaugh, J. T. Optimal movement variability: a new theoretical perspective for neurologic physical therapy. *Journal of Neurologic Physical Therap*. 2006; 30(3), 120-129.
  24. Hiley, M. J., Zuevsky, V. V., & Yeadon, M. R. Is skilled technique characterized by high or low variability? An analysis of high bar giant circles. *Human Movement Science*. 2013; 32(1), 171-180

## Investigation Two Type of Absolute and Coordination Variability of Upper Limb Joints through Learning

### Abstract

Received: Dec. 23, 2017 Accepted: Jan. 28, 2018

Zahra Entezari Khorasani<sup>1\*</sup>,  
Alireza Farsi<sup>1</sup>,  
Mohammad Kazem Vaez  
Mousavi<sup>2</sup>, Behroz Abdoli<sup>1</sup>

1. Department of Motor Behavior,  
Faculty of Physical Education and Sport Science,  
Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.  
2. Imam Hossein University,  
Tehran, Iran.

**Objective:** Theories are in paradox in relation to the variability pattern with being skilled. Then this research has investigated two types of absolute and coordination variability during basketball free throw learning, with isolating mechanical and dynamical degrees of freedom.

**Methods:** Twenty self-declared participants were randomly assigned into two groups: physical practice and control. Experimental group practiced in 12 sessions of 50 trials. Absolute variability was measured by root mean square error and coordination variability was assessed using vector coding.

**Results:** The physical practice group was significantly better than control group in accuracy scores. Results in relation to the absolute variability revealed, only in the ankle joint, physical practice and control groups are different ( $P=0.037$ ,  $F=5.07$ ) and the pattern of changes supported Bernstein's theory. In the case of coordination variability, there was no difference between the two groups in any of the joints coupling. But the wrist-elbow pattern of changes in physical practice group was in accordance with the theory of dynamic systems.

**Conclusion:** Overall, it seems that wrist movement and wrist-elbow coordination are very important in free throw shooting skill. Also, the findings of this study showed that it is necessary to isolate mechanical and dynamical degrees of freedom in the measuring and discussing the Theories regarding the movement variability.

**Keywords:** Mechanical degrees of freedom, Dynamical degrees of freedom, Vector coding, Bernstein theory, Redundancy

\* Corresponding author:  
Department of Motor Behavior, Faculty  
of Physical Education and Sport Science,  
Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.  
Tel: 09354776157  
Email: entezari.zahra66@yahoo.com

دکتر علیرضا فارسی دانشیار دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه شهید بهشتی می باشد و در حال حاضر ریاست این دانشکده را بر عهده دارد. وی فارغ التحصیل دانشگاه تهران در سال ۱۳۸۵ می باشد. ایشان دارای ۱۶ مقاله خارجی و ۱۲۴ مقاله داخلی



علمی پژوهشی می باشند. هم چنین دارای چندین کتاب تألیفی، ترجمه و دارای ثبت اختراع نیز می باشند.

دکتر بهروز عبدلی دانشیار دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه شهید بهشتی می باشد. وی فارغ التحصیل دانشگاه تهران می باشد. ایشان دارای ۲۵ مقاله خارجی و ۱۳۸ مقاله داخلی علمی پژوهشی می باشند. هم چنین دارای چندین کتاب تألیفی، ترجمه و



دارای ثبت اختراع نیز می باشند.

دکتر زهرا انتظاری خراسانی فارغ التحصیل گرایش رفتار حرکتی از دانشگاه شهید بهشتی می باشد. دارای چندین مقاله علمی پژوهشی و ارائه مقاله در کنفرانس های داخلی و خارجی می باشد. هم چنین دارای یک کتاب تألیفی می باشد.



دکتر محمدکاظم واعظ موسوی دوره دکتری تخصصی خود را در دانشگاه نیوساوت ولز و دانشگاه ولونگونگ- استرالیا در رشته روان شناسی با گرایش فیزیولوژی روانی حرکات اختیاری انسان طی کرد (۱۳۷۴) و دوره پست دکترا خود را در روان شناسی



ورزش دنبال نمود (۱۳۸۰). او هم اکنون استاد دانشگاه جامع امام حسین (ع) است و در کنار تدریس و تحقیق، اشتغالات تخصصی دیگری نیز داشته است که عمده آن ها به ورزش مربوط می باشد. کتاب هایی که وی ترجمه کرده یا در ترجمه آن ها نقش داشته است عمدتاً کتاب های درسی / کمک درسی هستند و تعداد آن ها بالغ بر ۲۰ جلد می باشد. او مقالات پژوهشی زیادی را درباره روان شناسی ورزشی در مجلات معتبر جهان به چاپ رسانیده، بارها به این خاطر تشویق شده، و هم اکنون عضو هیئت تحریریه چندین مجله علمی داخلی و خارجی است.