

## Research Paper

## The Relationship between Feed-Forward Postural Control and Constant and Variable Error of Coincident Anticipation Timing Task: Study of Skilled and Novice Table Tennis Players

A. R. Aminaee<sup>1</sup>, Sh. Tahmasebi Boroujeni<sup>2</sup>, E. Arabameri<sup>3</sup>,  
M. Shahbazi<sup>4</sup>, A. Sharifnezhad<sup>5</sup>

1. PhD Student in Motor Control, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Associate Professor in Motor Behavior, Department of Motor Behavior and Sport psychology, University of Tehran, Tehran, Iran. (Correspondent Author)
- 3&4. Associate Professor in Motor Behavior, Department of Motor Behavior and Sport psychology, University of Tehran, Tehran, Iran.
5. Associate Professor in Sport Biomechanics, Department of Sport Biomechanics and Technology, Sport Science Research Institute, Tehran, Iran.

Received: 2020/12/22

Accepted: 2021/04/28

---

### Abstract

Optimal performance of complex Forehand stroke needs coordination between postural adjustment and focal movement. The purpose of this study was to investigate the relationship between onset time and magnitude of Anticipatory Postural Adjustment (APA) and constant and variable error of Table Tennis Forehand stroke among skilled and novice players. Therefore, skilled (n=10) and novice (n=10) participants, perform Forehand stroke under Coincident Anticipation Timing (CAT) paradigm and EMG of selected postural muscles were simultaneously recorded. The results of investigating the EMG data showed that in all postural muscles, APA occurred before focal motor initiation. In addition, the results of Two-way MANOVA test showed that in comparison with novices, skilled players had higher accuracy and lower variable error in their performance ( $P<0.05$ ). In addition, the result of Pearson moment correlation test revealed that among skilled players, both early onset time and greater magnitude of APA correlated with higher accuracy ( $P<0.05$ ); however, only the APA's onset time correlated significantly with both accuracy and variability of novices' performance ( $P<0.05$ ). Lower variable error in skilled players' performance in comparison to novice counterparts and yet lack of correlation with

- 
1. Email: ar.aminaee@ymail.com
  2. Email: shahzadtahmaseb@ut.ac.ir
  3. Email: eameri@ut.ac.ir
  4. Email: shahbazimehdi@ut.ac.ir
  5. Email: a.sharifnezhad@ssrc.ac.ir



onset time and magnitude of APA, probably indicates the consolidation of internal models as a result of practice and long-term experience of skilled players in those sports skills.

**KeyWords:** Anticipatory Postural Adjustment, Electromyography, Coincident Anticipation Timing, Accuracy, Variable Error.

---

## **Extended Abstract**

### **Background and Purpose**

Simple intentional motor performance by standing person is susceptible to loss of postural balance and increase of postural disturbances (1). Performing complex motor skills like those performed by tennis players adds to this problem and probably needs higher level of postural balance. To compensate disturbances, changes in activation of postural muscles occurs about 100 milliseconds before initiation of focal movement (2) which are called Anticipatory Postural Adjustment (APA). In sport field, maintaining higher level of balance leads to more improvement in sport performance. Optimal performance of athletes needs coordination between APA and focal motor. Therefore, APA's magnitude and onset time are main factors which are associated with better postural control and balance and improvement in performance of motor skills especially among skilled player (3). The purpose of this study was to investigate the relationship between onset time and magnitude of APA and constant and variable error of Table Tennis Forehand stroke among skilled and novice players.

### **Materials and Methods**

Twenty male healthy right-handed participants -10 skilled ( $20.3 \pm 1.15$  years old) and 10 novice ( $19.9 \pm 0.99$  years old) Table Tennis players- participated in this study. Each participant- maintaining Forehand stroke position- stands in front of a screen that presenting Coincident Anticipation Timing (CAT) stimulus (CAT Software. Padidar Omid Farda Company, Tehran, Iran). After 10 trials for familiarization, participants completed a block of 20 trials consisted of random-order presentation of fast (5 m/s) and slow (1 m/s) stimuli. Participants must respond to each stimulus in a way that racquet crosses the laser beam and simultaneously, surface muscle activity of Tibialis Anterior (TA), Gastrocnemius Medialis (GM), Rectus Femoris (RF), Biceps Femoris (BF), Rectus Abdominis (RA) and Lumbar Erector Spinae (ES) were recorded using a combined wireless EMG system and accelerometer (Myon, Aktos model, swiss). The entire criterion for data processing was selected based on the method described in previous researches (4). EMG and accelerometer signals were filtered with 50-Hz, low-pass, second order Butterworth filter and rectified using Matlab 8.1 software



(Matlab 8.1.0.604, MathWorks Ink, USA). The point in time at which the accelerometer signal exceeded 1% of maximum acceleration referred to as time 0 ( $t_0$ ). Then data from 500 ms before  $t_0$  were selected for analysis (5,6). the onset time of APA was the instance in time when average muscle activation level in APAs time interval (i.e. -200 ms to 0 ms) over trials exceeded more than  $\pm 2.5$  SD of the average value within the baseline time interval (i.e. -500 ms to -200 ms) (7). APAs magnitude was calculated by summing the corrected IEMGs which were calculated using trapezoidal rule of numerical integration from the selected APAs onset time to  $t_0$  (8). Finally, the Constant Error ( $|CE| = \sqrt{\sum(X_i - M)^2 / N}$ ) and variable error ( $VE = \sum(X_i - T) / N$ ) were calculated from the CAT data.

### Findings

For investigating the EMG data, the results of t-test showed that mean EMG activity of all postural muscles in APA time interval (i.e. -200 ms to 0 ms) were different from that of baseline time interval (i.e. -500 ms to -200 ms). Therefore, in all postural muscles, APA occurred before focal motor initiation. The results of two-way MANOVA test showed that there is no difference in APA onset time of all postural muscles between skilled and novice players ( $F_{(7,30)} = 1.83$ ,  $P = 0.125$ , wilk's  $\lambda = 0.738$ , partial  $\eta^2 = 0.262$ ); however, APA magnitude of dorsal postural muscles of skilled players were higher than novice counterparts ( $F_{(7,30)} = 29.07$ ,  $P = 0.0005$ , wilk's  $\lambda = 0.151$ , partial  $\eta^2 = 0.849$ ). Moreover, in comparison with novices, skilled players had higher accuracy and lower variable error in their performance ( $P < 0.05$ ). The results of Pearson moment correlation test revealed that among skilled players, both early onset time and greater magnitude of APA correlated with higher accuracy ( $P < 0.05$ ) but had no correlation with variable error ( $P > 0.05$ ). However, only the APA's onset time correlated significantly with both accuracy and variability of novices' performance ( $P < 0.05$ ).

### Conclusion

The findings of this study indicate that higher postural balance, which is achieved by earlier APA onset time and greater APA magnitude leads to better performance of table tennis players and mostly is seen among skilled player. Even lower variable error in skilled players' performance in comparison to novice counterparts and yet lack of correlation with onset time and magnitude of APA, probably indicate the consolidation of internal models as a result of practice and long-term experience of skilled players in that sports skills. According to Motor Control theory of internal model, the CNS can predict the next status of system from current status of system and sensory/motor control signals. Therefore,



existence of such internal models enables us to perform a motor skill fast and accurately in spite of motor noises, sensory motor delays or ongoing disturbances.

**KeyWords:** Anticipatory postural Adjustment, Electromyography, Coincident Anticipation Timing, Accuracy, Variable Error.

### References

1. Liang Y, Hiley M, Kanosue K. The effect of contact sport expertise on postural control. *PLoS One*. 2019;14(2).
2. Klous M, Mikulic P, Latash ML. Two aspects of feedforward postural control: anticipatory postural adjustments and anticipatory synergy adjustments. *J Neurophysiol*. 2011;105(5):2275–88.
3. Saito H, Yamanaka M, Kasahara S, Fukushima J. Relationship between improvements in motor performance and changes in anticipatory postural adjustments during whole-body reaching training. *Hum Mov Sci*. 2014;37:69–86.
4. Krishnamoorthy V, Latash ML, Scholz JP, Zatsiorsky VM. Muscle modes during shifts of the center of pressure by standing persons: Effect of instability and additional support. *Exp Brain Res*. 2004;157(1):18–31.
5. Klous M, Mikulic P, Latash ML. Two aspects of feedforward postural control: anticipatory postural adjustments and anticipatory synergy adjustments. *J Neurophysiol*. 2011;105:2275–88.
6. Krishnan V, Latash ML, Aruin AS. Early and late components of feed-forward postural adjustments to predictable perturbations. *Clin Neurophysiol*. 2012;
7. Klous M, Mikulic P, Latash ML. Early postural adjustments in preparation to whole-body voluntary sway. *J Electromyogr Kinesiol*. 2012;22(1):110–6.
8. Slijper H, Latash ML. The effects of muscle vibration on anticipatory postural adjustments. *Brain Res*. 2004;1015(1–2):57–72.



## ارتباط بین کنترل پیش‌خوراندی قامت و خطای ثابت و متغیر در تکلیف زمان‌بندی پیش‌بینی انطباقی: مطالعه‌ی بازیکنان ماهر و مبتدی تنیس روی میز علیرضا امینایی<sup>۱</sup>، شهزاد طهماسبی بروجنی<sup>۲</sup>، الهه عرب‌عامری<sup>۳</sup>، مهدی شهبازی<sup>۴</sup>، علی شریف‌نژاد<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری کنترل حرکتی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. دانشیار رفتار حرکتی، گروه رفتار حرکتی و روانشناسی ورزشی دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
۳. ۴. دانشیار رفتار حرکتی، گروه رفتار حرکتی و روانشناسی ورزشی دانشگاه تهران، تهران، ایران
۵. دانشیار بیومکانیک ورزشی، پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۲

### چکیده

اجرای بهینه ضربات پیچیده فورهند مستلزم هماهنگی بین اصلاحات قامتی و اجرای حرکت اصلی است. هدف مطالعه حاضر، بررسی ارتباط بین زمان شروع و دامنه اصلاحات قامتی پیش‌بینانه (APA) و خطای ثابت و متغیر در ضربه فورهند تنیس روی میز در بازیکنان ماهر و مبتدی بود؛ بر این اساس، شرکت‌کنندگان ماهر (۱۰ نفر) و مبتدی (۱۰ نفر) ضربات فورهند را در پارادایم زمان‌بندی پیش‌بینی انطباقی اجرا کردند و هم‌زمان الکترومایوگرافی عضلات قامتی منتخب آن‌ها ثبت شد. یافته‌های بررسی داده‌های الکترومایوگرافی عضلات قامتی نشان داد، اصلاحات قامتی پیش‌بینانه در تمامی عضلات قامتی قبل از شروع حرکت اصلی رخ داده است. علاوه بر این، یافته‌های آزمون مانوای دوره‌ی نشان داد، اجرای بازیکنان ماهر در مقایسه با مبتدی از دقت زیاد و خطای متغیر کمتری برخوردار بود ( $P < 0.05$ ). نتایج همبستگی گشتاوری پیرسون نشان داد، در میان بازیکنان ماهر، هم‌وقوع زودتر و هم دامنه بزرگ‌تر اصلاحات قامتی پیش‌بینانه با دقت زیاد اجرای آن‌ها همبستگی معناداری داشت ( $P < 0.05$ )؛ با وجود این، در میان شرکت‌کنندگان مبتدی فقط زمان شروع

1. Email: ar.aminaee@ut.ac.ir
2. Email: shahzadtahmaseb@ut.ac.ir
3. Email: eameri@ut.ac.ir
4. Email: shahbazimehdi@ut.ac.ir
5. Email: a.sharifnezhad@ssrc.ac.ir



اصلاحات قامتی پیش‌بینانه با دقت و خطای متغیر اجرای آن‌ها همبستگی معناداری داشت ( $P < 0.05$ ). کم‌تر بودن خطای متغیر در اجرای بازیکنان ماهر در مقایسه با شرکت‌کنندگان مبتدی و درعین‌حال ارتباط نداشتن آن با زمان شروع و دامنه اصلاحات قامتی پیش‌بینانه، احتمالاً نشان‌دهنده تثبیت مدل‌های درونی در اثر تمرین و تجربه بلندمدت بازیکنان ماهر در آن مهارت ورزشی است.

**واژگان کلیدی:** اصلاحات قامتی پیش‌بینانه، الکترومایوگرافی، زمان‌بندی پیش‌بینی انطباقی، دقت، خطای متغیر.

## مقدمه

اجرای مهارت‌های حرکتی پیچیده مانند آنچه بازیکنان تنیس روی میز انجام می‌دهند، نیازمند حفظ تعادل زیادی است. داشتن تعادل قامتی خوب، پیش‌نیاز کنترل حرکات ارادی در ورزش و در نتیجه بهبود اجرای ورزشی است (۱). حفظ تعادل، توانایی کنترل مرکز ثقل<sup>۱</sup> (COG) در ناحیه حمایتی با توجه به شرایط محیطی است. حرکات ارادی که توسط فرد در حالت ایستاده اجرا می‌شود، به دلیل نیروهای خارجی، گشتاورهای تعاملی، تغییرات در هندسه بدن و جفت‌شدگی مکانیکی بخش‌های بدن، موازنه قامتی را بر هم می‌زنند و موجب بروز آشفتگی‌های قامتی می‌شوند (۲). برای جبران آشفتگی به‌وجودآمده در موازنه بدن، تغییراتی در فعال‌سازی عضلات قامتی معمولاً در حدود صد میلی‌ثانیه قبل از آغاز حرکت دیده می‌شود. از این تغییرات به‌عنوان «اصلاحات قامتی پیش‌بینانه»<sup>۲</sup> (APA) یاد می‌شود (۳). هدف از APA، به‌عنوان یک مکانیسم پیش‌خوراندی، مقابله با تأثیرات مکانیکی پیش‌بینی‌شده آشفتگی بر تعادل است.

مطالعات گذشته نشان داده‌اند، ثبات قامتی در حالت ایستاده به‌واسطه یادگیری تکالیف حرکتی دست بهبود می‌یابد (۴). در این ارتباط، APA به‌عنوان جبران قامتی برای آشفتگی به‌وجودآمده توسط حرکت خود آغاز دست در نظر گرفته می‌شود که قبل از اجرای حرکت اصلی به وقوع می‌آید؛ بنابراین زمان شروع و دامنه APA را می‌توان یکی از عامل‌های مهم در کنترل و ثبات قامتی و بهبود در اجرای مهارت حرکتی در نظر گرفت (۵).

در ارتباط با وابستگی بین ثبات قامتی و اجرای حرکتی، می‌توان انتظار داشت که ورزشکاران ماهر ثبات قامتی بیشتری در مقایسه با ورزشکاران مبتدی داشته باشند (۶). درحقیقت برخی از محققان

1. Center of Gravity
2. Anticipatory Postural Adjustment



نشان دادند، نوسان مرکز فشار<sup>۱</sup> (COP) در تیراندازان (۷)، بازیکنان فوتبال (۸) و ورزشکاران ژیمناستیک موزون (۹) ماهر کمتر از بازیکنان با سطح مهارتی کمتر است. همچنین در یک مطالعه مروری نظام‌مند در مورد این موضوع، رابطه مثبتی بین ثبات قامتی و سطح اجرای ورزشی نشان داده شد (۱۰)؛ با این حال اینکه آیا فرایندهای APA نیز با اجرای بهتر ورزشکاران ارتباط دارد یا خیر، نیازمند انجام دادن مطالعات بیشتر است. نتایج پژوهش کارونی<sup>۲</sup> و همکاران در یک مطالعه غیرورزشی که به بررسی دقت حرکت در تکلیف دسترسی و نشانه‌گیری برحسب هماهنگی خاص بین APA و شروع حرکت اصلی پرداختند، نشان داد که APA علاوه بر حفظ تعادل کل بدن، در کسب دقت بیشتر حرکت نیز نقش دارد (۱۱)؛ با وجود این، مطالعه در حیطه ورزشی که به بررسی رابطه بین APA و نتیجه اجرای حرکات ورزشی پرداخته باشد، به‌ندرت یافت می‌شود. نتایج تحقیق عرا<sup>۳</sup> و همکاران نشان داد، تیراندازان سطح رقابتی بالا بسیار باثبات‌تر از تیراندازان مبتدی بودند. همچنین تیراندازان ماهر برخلاف تیراندازان مبتدی قادر بودند قامت خود را در ثانیه‌هایی قبل از شروع تیراندازی بهتر حفظ کنند؛ با این حال، ارتباطی بین ثبات قامتی پیش‌بینانه و امتیاز تیراندازی بهتر در افراد ماهر مشاهده نشد، اما در میان تیراندازان مبتدی، اجرای بهتر تیراندازی و کسب امتیاز بیشتر در افرادی بود که قامت باثبات‌تری داشتند (۷). نکته مهم این است که در مطالعه عرا و همکاران وضعیت قامتی تیراندازان توسط صفحه نیروسنج بررسی شد و الکترومایوگرافی عضلات قامتی قبل از شروع حرکت بررسی نشد.

در ورزش تنیس روی میز نیز با در نظر گرفتن ویژگی‌های این ورزش، بازیکنان باید مجموعه‌ای از حرکات فضایی پیچیده را اجرا کنند که شامل افزایش شتاب، کاهش شتاب، تغییر جهت، حرکت سریع و کنترل تعادل است. این الگوهای حرکتی متفاوت کمک می‌کند تا فرد بتواند بهینه‌ترین ضربه خود را ایجاد کند. تنیس روی میز نیازمند همکاری هم‌زمان اندام فوقانی، تنه و اندام تحتانی است. حرکت نوسانی روبه‌جلوی قدرتمند مانند ضربه فورهند تنیس روی میز مستلزم حمایت با قدرت اندام تحتانی به‌عنوان مبدأ تولید نیرو است که مسلماً بر دقت ضربات و حفظ تعادل بدن تأثیر می‌گذارد (۱۲).

تفاوت در مکانیسم‌های مرکزی کنترل قامت افراد مختلف و همچنین توانایی آن‌ها در اجرای حرکات ممکن است به بروز پاسخ‌های APA متفاوت منجر شود (۱۳) که این پاسخ‌های متفاوت APA براساس

1. Center of Pressure
2. Caronni
3. Era



تفاوت در زمان شروع و دامنه APA در افراد مختلف بروز می‌کند. از طرف دیگر محققان بیان کردند، یادگیری یک تکلیف خاص از طریق تمرین مکرر و کسب تجربه به تغییرات نسبتاً دائم در پارامترهای اجرا و همچنین فعالیت‌های الکترومایوگرافی حرکت منجر می‌شود (۱۴). ورزشکاران حرفه‌ای با تمرینات بالا اجرای قامتی بهتری را در مقایسه با آزمودنی‌های سالم از خود نشان می‌دهند (۷)؛ بنابراین امکان‌پذیر است که ورزشکاران رشته‌های ورزشی که مستلزم داشتن کنترل قامتی زیاد برای اجرای متناسب ورزش خود هستند، رفتار قامتی پیش‌بینانه بهینه‌ای را توسعه دهند (۱۵). یکی از ویژگی‌های ورزش تنیس روی میز، حرکات مکرر و سریع بازو است که مسلماً نیازمند الزامات قامتی بیشتری است؛ با وجود این، هنوز مشخص نیست که آیا بازیکنان تنیس روی میز نیز راهبردهای APA بهینه‌ای در مقایسه با بازیکنان مبتدی دارند یا خیر. همچنین در صورت بروز تفاوت در زمان شروع و دامنه APA و در نتیجه تغییرات در هماهنگی بین APA و حرکت اصلی، آیا این تفاوت مشاهده‌شده در زمان شروع و دامنه APA با اجرای دقیق و ماهرانه ضربه فورهند تنیس روی میز نیز در ارتباط است یا خیر؛ بنابراین هدف مطالعه حاضر، ضمن بررسی دقت و خطای متغیر در اجرای ضربه فورهند تنیس روی میز بازیکنان ماهر و مبتدی، بررسی ارتباط بین زمان شروع و دامنه APA و دقت و خطای متغیر در اجرای ضربه فورهند تنیس روی میز نیز بود. در این مطالعه فرض این بود که ضمن کمتر بودن خطای ثابت و متغیر در بازیکنان ماهر، وقوع زودتر APA و دامنه بزرگ‌تر APA با دقت بیشتر (خطای ثابت کمتر) و خطای متغیر کمتر ارتباط معناداری دارد.

## روش پژوهش

تحقیق حاضر براساس هدف از نوع پژوهش‌های کاربردی و از نظر جمع‌آوری اطلاعات از نوع تحقیقات توصیفی بود. همچنین طرح تحقیق از نوع همبستگی دومتغیره (مقایسه دوبه‌دو نتایج داده‌ها) بود. جامعه آماری این تحقیق، بازیکنان تنیس روی میز مبتدی و ماهر بودند که به‌صورت دردسترس انتخاب شدند؛ به این صورت که ۱۰ آزمودنی مبتدی از میان دانشجویان تربیت‌بدنی انتخاب شدند که هیچ‌گونه آشنایی تخصصی با رشته تنیس روی میز و مهارت در این رشته نداشتند، اما به‌تازگی واحد تنیس روی میز را به‌عنوان واحد عملی تحصیلی خود پشت سر گذاشته بودند. همچنین ۱۰ آزمودنی ماهر با توجه به ملاک ارائه‌شده در مطالعه شپرد و لی<sup>۱</sup> انتخاب شدند؛ به این صورت که بازیکنان ماهر ضمن آشنایی کامل با ورزش تنیس روی میز، دست‌کم دو سال تجربه بازی و مسابقه تنیس روی میز

1. Sheppard & Li





داشتند و دست‌کم در هر هفته دو ساعت مشغول بازی تنیس روی میز بودند (۱۶). با توجه به اجرای تحلیل توان<sup>۱</sup> با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور<sup>۲</sup> مدل ۳.۱.۹.۲ برای به دست آوردن توان کسب‌شده در پژوهش حاضر مشخص شد که با حجم نمونه کل ۲۰ نفر و اندازه اثر به‌دست‌آمده در آزمون پایلوت ( $d=0/۳۵$ ) که با توجه به توصیه کوهن (۱۷) نشان‌دهنده اندازه متوسط است و سطح آلفا ۰/۰۵، توان پژوهش برای اجرای تحلیل مانوا (اثرات اصلی و تعاملی) ۰/۸۱ بوده که توان قابل‌قبولی برای هدف اصلی مطالعه حاضر است.

به‌منظور ثبت داده‌های الکترومایوگرافی از دستگاه الکترومایوگرافی سطحی بی‌سیم مایون (مدل آکتوس)<sup>۳</sup> ساخت کشور سوئیس استفاده شد. مطابق با پیشینه تحقیقات، عضلات دوقلو (GA)<sup>۴</sup>، درشت نی‌قدامی (TA)<sup>۵</sup>، راست رانی (RF)<sup>۶</sup>، دوسر رانی (BF)<sup>۷</sup>، راست شکمی (RA)<sup>۸</sup> و راست نگه‌دارنده ستون فقرات (ES)<sup>۹</sup> به‌عنوان عضلات قامتی انتخاب شدند (۱۸). الکترودهای سطحی مطابق با دستورالعمل پروژه الکترومایوگرافی سطحی برای ارزیابی غیرتهاجمی عضله<sup>۱۰</sup> (SENIAM)، روی سطح پوست شکم عضلات (برای عضله راست نگه‌دارنده ستون مهره‌ها به موازات مهره چهارم کمری) در سمت راست بدن شرکت‌کنندگان با دو سانتی‌متر فاصله نصب شدند (۱۹). همچنین یکی از الکترودهای دستگاه الکترومایوگرافی سطحی برای ثبت اطلاعات شتاب حرکت دست به کار رفت که روی سطح خلفی ساعد بازیکنان به موازات استخوان رادیال<sup>۱۱</sup> متصل شد. در این مطالعه داده‌ها با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز و رزولوشن ۱۶ بیت جمع‌آوری و ذخیره شدند. همچنین به‌منظور ثبت خطای اجرا از دستگاه زمان‌بندی پیش‌بینی انطباقی (ساخت شرکت پدیدار امید فردا، شهر تهران، کشور ایران) استفاده شد. عبدلی و همکاران در پژوهش خود روایی این دستگاه را ۰/۸۷ و پایایی آن را ۰/۸۳ گزارش کردند (۲۰).

1. Power Analysis
2. G-Power
3. Myon. Aktos Model
4. Gastrocnemius
5. Tibialis Anterior
6. Rectus Femoris
7. Biceps Femoris
8. Rectus Abdominis
9. Erector Spinae
10. Surface Electromyography for Non-Invasive Assessment of Muscle
11. Radius



روش اجرای پژوهش به این صورت بود که شرکت‌کننده‌ها در حالت راکت به دست، در موقعیت بدنی اجرای ضربه فورهند تنیس قرار گرفتند. در مقابل شرکت‌کننده‌ها یک صفحه نمایش قرار داشت که تصویر برنامه پیش‌بینی انطباقی روی آن پخش می‌شد و دستگاه ارسال‌کننده و دریافت‌کننده لیزر نیز روبه‌روی شرکت‌کنندگان قرار داشت. شرکت‌کننده‌ها باید ضربه فورهند تنیس را به‌گونه‌ای اجرا می‌کردند که با راکت لیزر مقابل خود را قطع کنند تا عملکرد آن‌ها به‌صورت خطای مکانی یا زمانی برای شرکت‌کنندگان ثبت شود. در اجرای اصلی آزمون، شرکت‌کننده‌ها یک بلوک ۲۰ کوششی را اجرا کردند. هر کوشش با یک وقفه ۱۰ ثانیه‌ای توسط نرم‌افزار ارائه می‌شد و در این ۱۰ ثانیه شرکت‌کنندگان فرصت داشتند تا به موقعیت اولیه قرارگیری برای اجرای ضربه فورهند تنیس بازگردند. تمامی مراحل این پژوهش به تأیید کمیته اخلاق در پژوهش پژوهشگاه علوم ورزشی رسید و با شناسه اخلاق IR.SSRC.REC.1399.020 تصویب شد.

ملاک کلی برای تحلیل داده‌ها براساس روش محاسباتی توصیف‌شده در مطالعه کلوس<sup>۱</sup> و همکاران بود (۳). در ابتدا سیگنال‌های شتاب به‌دست‌آمده از شتاب‌سنج توسط فیلتر ۵۰ هرتز پایین‌گذر مرتبه دوم باترورث<sup>۲</sup> در نرم‌افزار متلب فیلتر شده و سپس به‌صورت موج کامل یک‌سو<sup>۳</sup> شدند. لحظه شروع حرکت زمانی انتخاب شد که مقدار سیگنال شتاب در آن لحظه بیشتر از یک درصد از مقدار اوج شتاب کل حرکت بود (۳). سیگنال‌های EMG عضلات نیز به روش ذکرشده فیلتر و یک‌سویه شدند. با توجه به هم‌زمانی آغاز ثبت داده‌های شتاب و EMG، با یافتن لحظه شروع حرکت از داده‌های شتاب، معادل این لحظه در سیگنال‌های EMG عضلات قدامی پیدا شد و به‌عنوان لحظه شروع حرکت ( $T_0$ ) در نظر گرفته شد. داده‌های ۵۰۰ میلی‌ثانیه قبل از  $T_0$  برای یافتن زمان شروع و دامنه APA تحلیل بیشتر شدند. همچنین برای برطرف کردن تأخیر الکترومکانیکی تمام این بازه زمانی با ۵۰ میلی‌ثانیه اصلاح شد (۳). از این داده‌ها در بازه زمانی ۵۰۰ تا  $T_0$  برای یافتن دو مؤلفه زمان شروع و دامنه APA استفاده شد.

برای یافتن زمان شروع APA، ابتدا داده‌های EMG (از ۵۰۰ تا  $T_0$ ) عضلات قدامی به سه مرحله تفکیک شدند: مرحله حالت پایدار<sup>۴</sup> (۵۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌ثانیه)، مرحله گذر<sup>۵</sup> (۲۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌ثانیه) و مرحله APA (۱۵۰ میلی‌ثانیه تا  $T_0$ ). زمان شروع APA، لحظه‌ای در زمان در نظر

1. klous
2. Butterworth
3. Full-wave Rectification
4. Steady state phase
5. Transition phase



گرفته شد که میانگین سطح فعال‌سازی عضلات در طول کوشش‌ها در مرحله APA به اندازه ۲/۵ انحراف استاندارد بیشتر از میانگین سطح فعال‌سازی عضلات در مرحله حالت پایدار باشد (۳). برای یافتن دامنه APA (کمیت فعالیت عضلات قامتی در مرحله APA)، مجموع انتگرال (سطح زیر نمودار) فعالیت عضلانی (IEMG) عضلات قامتی در بازه زمانی از لحظه شروع APA تا لحظه شروع حرکت ( $T_0$ ) برای هر کوشش محاسبه شد. برای اصلاح داده‌های به‌دست‌آمده، IEMG مرحله پایدار از IEMG مرحله APA کسر شد. همچنین برای مقایسه بهتر دامنه APA، این داده‌ها نرمال شدند؛ به این صورت که هریک از داده‌های دامنه APA بر بیشینه دامنه APA بر آن گروه تقسیم شدند؛ در نتیجه تمامی داده‌ها بین مقدار عددی -۱ تا +۱ تبدیل شدند تا امکان مقایسه بین‌گروهی به وجود آید. در آخر، خطای ثابت مطلق  $CE = \sqrt{(\sum(X_i - M)^2)/N}$  و خطای متغیر  $VE = \sum(X_i - T)/N$  از داده‌های زمان‌بندی پیش‌بینی انطباقی محاسبه شد. در این معادلات، T موقعیت مکانی یا زمانی هدف، X موقعیت مکانی یا زمانی محرک، M میانگین موقعیت مکانی یا زمانی محرک در لحظه قطع لیزر محاسبه‌شده از کوشش‌های هر شرکت‌کننده است و N تعداد کوشش‌ها است. اطلاعات توصیفی مانند سن، خطای ثابت و متغیر در اجرای افراد به‌صورت میانگین و انحراف استاندارد توسط جدول نمایش داده شد. برای پی‌بردن به وقوع APA در عضلات قامتی از آزمون t مستقل به‌منظور مقایسه تغییرات EMG در مرحله حالت پایدار و مرحله APA، برای بررسی تأثیر سطوح مهارتی بر دقت و خطای متغیر اجرا بازیکنان از آزمون تحلیل واریانس چندمتغیره (MANOVA) و به‌منظور بررسی ارتباط بین دامنه و زمان شروع APA و خطای ثابت و متغیر براساس سطوح مهارتی مختلف از ضریب همبستگی پیرسون با سطح معناداری  $\alpha=0.05$  استفاده شد.

## نتایج

در جدول شماره یک، به تفکیک نتایج مربوط به آمار توصیفی شامل سن و خطای ثابت و متغیر در اجرای ضربه فورهند تنیس روی میز شرکت‌کنندگان ماهر و مبتدی ارائه شده است.

1. Absolute Constant Error
2. Variable Error



جدول ۱- آمار توصیفی مربوط به سن و خطای ثابت و متغیر

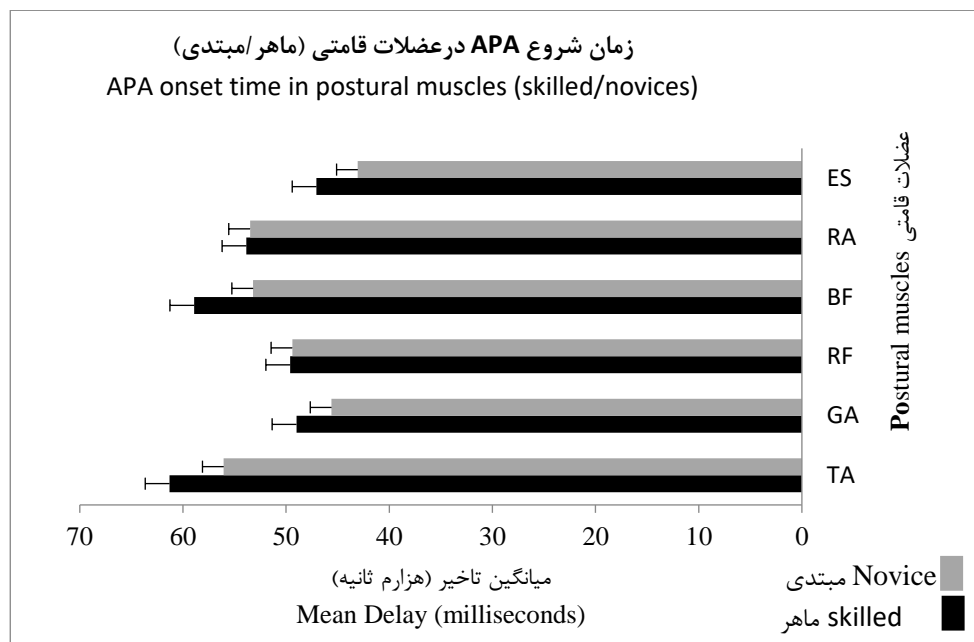
Table 1- Descriptive statistics for Age and Constant and variable errors

خطای متغیر Variable Error	خطای ثابت Constant Error	سن Age	تعداد N	سطح مهارت Skill level
0.1±0.09	0.08±0.07	19.2±0.92	10	ماهر (Skilled)
0.23±0.09	0.25±0.22	19±0.00	10	مبتدی (Novice)

با بررسی اولیه داده‌های EMG، نتایج آزمون t وابسته نشان داد، میانگین فعالیت EMG در بازه زمانی APA (۲۰۰- تا صفر) با میانگین فعالیت EMG در بازه زمانی حالت پایدار (۵۰۰- تا ۲۰۰-) در عضلات راست نگاه‌دارنده ستون مهره‌ها ( $t_{(39)}=5.752, P<0.05$ )، راست شکمی ( $t_{(39)}=10.729, P<0.05$ )، دوسر رانی ( $t_{(39)}=9.94, P<0.05$ )، راست رانی ( $t_{(39)}=5.538, P<0.05$ )، دوقلو ( $t_{(39)}=5.333, P<0.05$ ) و ساقی قدامی ( $t_{(39)}=8.147, P<0.05$ ) تفاوت معناداری دارد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در تمامی عضلات قامتی اندازه‌گیری شده در مطالعه حاضر، APA روی داده است.

تأثیر سطح مهارت بر زمان شروع APA: نتایج آزمون مانوای دوراهه نشان داد، براساس سطوح مختلف مهارتی تفاوت معناداری در زمان شروع APA ( $F_{(7,30)}=1.83, P=0.125, \text{wilk's } \lambda=0.738, \text{partial } \eta^2=0.262$ ) مشاهده نمی‌شود. برای مقایسه زمان شروع APA در بازیکنان ماهر و مبتدی، زمان‌بندی شروع APA در عضلات قامتی در شکل شماره یک نشان داده شده است.





شکل ۱- میانگین وقفه زمان شروع APA در عضلات قامتی نسبت به زمان شروع حرکت اصلی ( $t_0$ ) در بازیکنان ماهر و مبتدی

**Figure 1- The mean delay of APA's onset time in the postural muscles relative to the onset time of the focal movement ( $t_0$ ) in skilled and novice players**

تأثیر سطح مهارت بر دامنه APA: نتایج آزمون مانوای دوره‌ها نشان داد، براساس سطوح مختلف مهارتی تفاوت معناداری در دامنه APA ( $F_{(7,30)}=29.07$ ,  $P=0.0005$ ,  $wilk's \lambda=0.151$ ,  $partial \eta^2=0.849$ ) تمام عضلات قامتی مشاهده می‌شود. در جدول شماره دو، تأثیر میان‌گروهی سطوح مهارتی مختلف بر دامنه APA عضلات قامتی نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج آزمون مانوا برای تأثیر سطح مهارت بر دامنه APA در عضلات قامتی

Table 2- Results of MANOVA test for Skill level effect on APA magnitude of postural muscles

اثر سطح مهارت Skill Level Effect			دامنه APA در عضلات قامتی APA magnitude of postural muscles
partial $\eta^2$	P	F <sub>(1,36)</sub>	
0.001	0.88	0.023	راست شکمی (Rectus Abdominis)
0.73	<0.0005*	98.06	راست نگه‌دارنده ستون مهره‌ها (Erector Spinae)
0.000	0.97	0.002	راست رانی (Rectus Femoris)
0.24	0.002*	11.34	دوسر رانی (Biceps Femoris)
0.001	0.89	0.02	درشت‌نئی قدامی (Tibialis Anterior)
0.17	0.011*	7.28	دوقلو (Gastrocnemius)

تحلیل بیشتر نشان داد، بازیکنان ماهر دامنه APA بزرگ‌تری تنها در سه عضله قامتی خلفی دوقلو، دوسر رانی و راست نگه‌دارنده ستون مهره‌ها در مقایسه با بازیکنان مبتدی دارند. اختلاف میانگین دامنه APA میان بازیکنان ماهر و مبتدی در این سه عضله قامتی به ترتیب برابر با  $0.169 \pm 0.05$ ،  $0.136 \pm 0.05$  و  $0.256 \pm 0.026$  است.

تأثیر سطح مهارت بر خطای ثابت و متغیر: نتایج آزمون مانوای دوراهه نشان داد، براساس سطوح مختلف مهارت، تفاوت معناداری در خطای ثابت و متغیر ( $F_{(4,35)}=26.659$ ,  $P=0.0005$ , wilk's  $\lambda=0.396$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.604$ ) در جدول شماره سه، تأثیر میان‌گروهی سطوح مختلف مهارت بر خطای ثابت و متغیر نشان داده شده است.



جدول ۳- آزمون اثرات بین‌گروهی برای بررسی اثر سطح مهارت بر خطای ثابت و متغیر

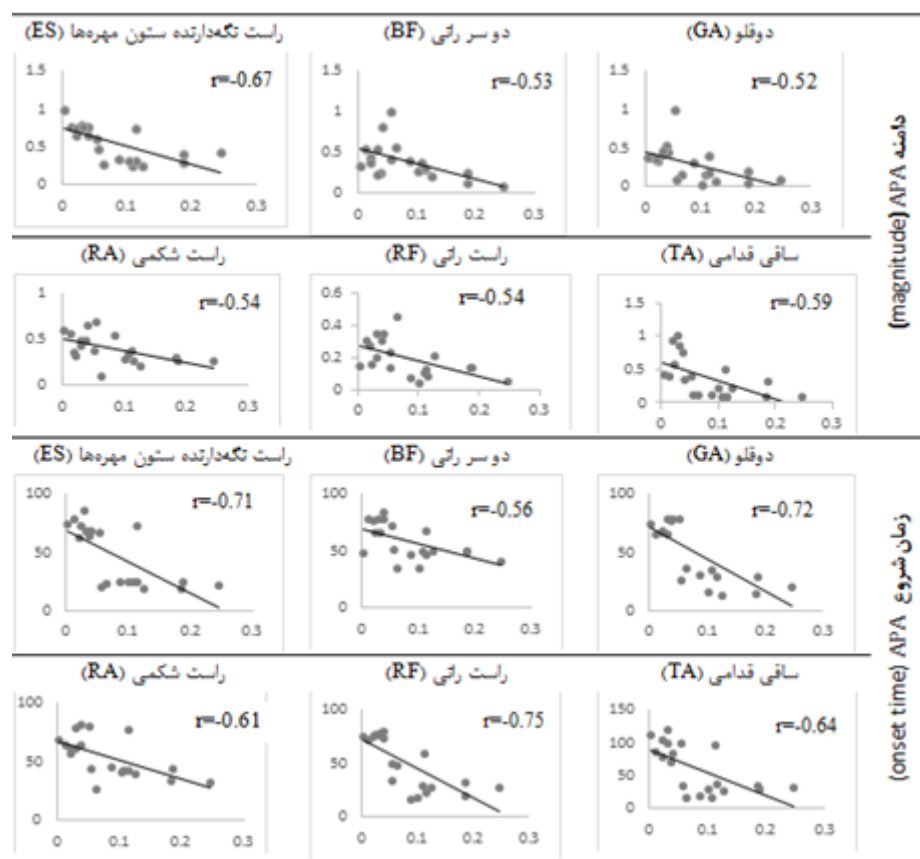
Table 3- test of between-subjects effects of Skill level on Constant and variable errors

مجدور اتا Partial $\eta^2$	معناداری Sig.	F	مربع میانگین Mean square	df	مجموع مربعات Type III sum of square	متغیرهای وابسته Dependent variable	منبع Source
0.28	0.001*	14.19	0.28	1	0.28	خطای ثابت (CE)	سطح مهارت
0.41	<0.005*	24.74	0.17	1	0.17	خطای متغیر (VE)	Skill level

تحلیل اثرات اصلی نشان داد، بازیکنان ماهر در اجرای ضربه فورهند تنیس روی میز خطای ثابت کمتر ( $M=0.079$ ,  $SE=0.032$ ) و خطای متغیر کمتر ( $M=0.102$ ,  $SE=0.018$ ) در مقایسه با بازیکنان مبتدی دارند؛ بنابراین بازیکنان مبتدی خطای ثابت ( $M=0.247$ ,  $SE=0.032$ ) و خطای متغیر ( $M=0.232$ ,  $SE=0.018$ ) بیشتری دارند.

ارتباط زمان شروع و دامنه APA با خطای ثابت و متغیر: نتایج همبستگی گشتاوری پیرسون نشان داد، در بازیکنان ماهر ارتباط معنادار منفی بین زمان شروع و دامنه APA تنها با خطای ثابت در تمامی عضلات قامتی وجود دارد ( $P<0.05$ )؛ به این صورت که با افزایش زمان شروع APA (وقوع زودتر APA) و افزایش دامنه APA، خطای ثابت کاهش می‌یابد. همچنین در میان بازیکنان ماهر هیچ رابطه معناداری بین زمان شروع و دامنه APA و خطای متغیر مشاهده نشد ( $P>0.05$ ). در شکل شماره دو، ارتباط بین زمان شروع و دامنه APA با خطای ثابت در عضلات قامتی نمایش داده شده است.





شکل ۲- همبستگی بین دامنه و زمان شروع APA و خطای ثابت ضربه فورهند تنیس روی میز در بازیکنان ماهر نمودارهای پراکندگی نشان‌دهنده همبستگی‌های معنادار بین دامنه (دو ردیف بالا) و زمان شروع (دو ردیف پایین) و APA و خطای ثابت در اجرای بازیکنان ماهر هستند. محورهای افقی نشان‌دهنده خطای ثابت و محورهای عمودی نشان‌دهنده دامنه APA (دو ردیف بالا) و زمان شروع APA (دو ردیف پایین) هستند. مقدار همبستگی نیز در هر نمودار اضافه شده است. تمامی همبستگی‌ها در سطح معناداری  $\alpha=0.05$  معنادار هستند.

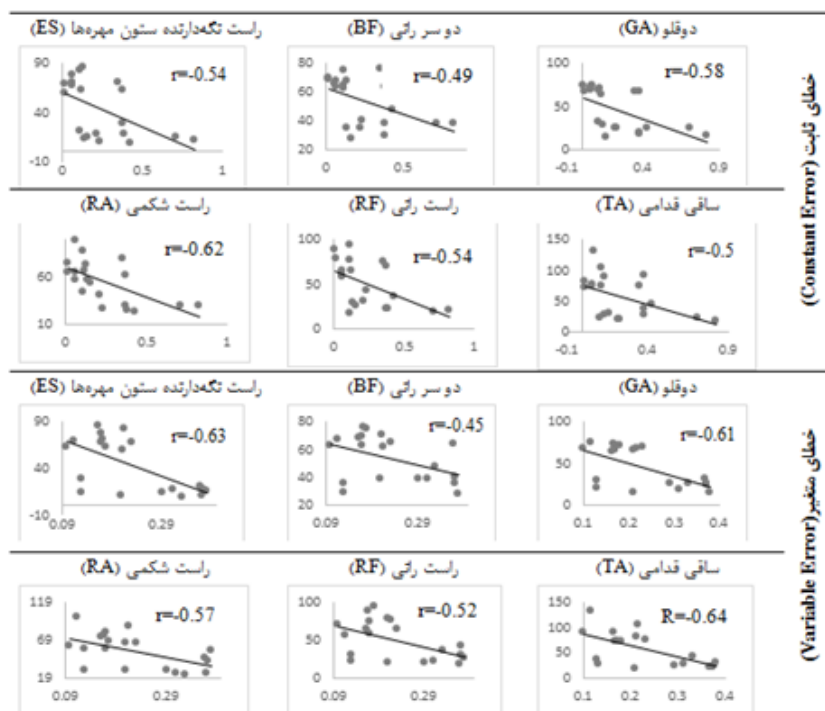
**Figure 2- Correlation between the APA's magnitude and onset time and the constant error of the table tennis forehand stroke in skilled players**

Scatterplots show the significant correlations between APA's magnitude (top two rows) or onset time (bottom two rows), and constant error in the skilled players' performance. The horizontal axes indicate the constant error and the vertical axes indicate the APA's magnitude (top two rows) and APA onset time (bottom two rows). The correlation value is also added to each chart. All correlations are significant at the significance level of  $\alpha=0.05$





همچنین نتایج همبستگی گشتاوری پیرسون نشان داد، در بازیکنان مبتدی ارتباط معنادار منفی بین زمان شروع APA با هر دو خطای ثابت و متغیر در تمامی عضلات قامتی وجود دارد ( $P < 0.05$ )؛ به این صورت که با افزایش زمان شروع APA (وقوع زودتر APA)، خطای ثابت و خطای متغیر کاهش می‌یابد. در شکل شماره سه، ارتباط بین زمان شروع APA با خطای ثابت و متغیر در عضلات قامتی نمایش داده شده است.



شکل ۳- همبستگی بین زمان شروع APA و خطای ثابت و متغیر ضربه فورهند تنیس روی میز در بازیکنان مبتدی نمودارهای پراکندگی نشان‌دهنده همبستگی زمان شروع APA و خطای ثابت (دو ردیف بالا) و خطای متغیر (دو ردیف پایین) در اجرای بازیکنان مبتدی هستند. محورهای افقی نشان‌دهنده خطای ثابت و خطای متغیر و محورهای عمودی نشان‌دهنده زمان شروع APA هستند. مقدار همبستگی نیز در هر نمودار اضافه شده است. تمامی همبستگی‌ها در سطح معناداری  $\alpha = 0.05$  معنادار هستند.

Figure 3- Correlation between APA's onset time and constant and variable error of table tennis forehand stroke in novice players

Scatterplots show the correlation between APA's onset time and constant (top two rows) or variable error (bottom two rows) in the novice players' performance. The horizontal axes indicate the constant and variable error, and the vertical axes indicate the APA's onset time. The correlation value is also added to each chart. All correlations are significant at the significance level of  $\alpha = 0.05$ .

## بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد، در تمامی عضلات قامتی مطالعه‌شده بازیکنان ماهر و مبتدی، APA به وقوع پیوست. از طرف دیگر نتایج مطالعه حاضر مشخص کرد، اجرای بازیکنان ماهر با دقت بیشتر و خطای متغیر کمتر همراه بود و برعکس، اجرای بازیکنان مبتدی با دقت کمتر و خطای متغیر بیشتری همراه بود. در بررسی ارتباط بین APA و دقت و خطای متغیر اجرا، نتایج مطالعه حاضر نشان داد، در میان بازیکنان ماهر بین زمان شروع و دامنه APA در تمامی عضلات قامتی و دقت اجرا در ضربه فوره‌ند تنیس روی میز ارتباط منفی وجود داشت؛ به این صورت که وقوع زودتر و دامنه بزرگ‌تر APA با دقت بیشتر اجرا ارتباط داشت و برعکس، وقوع با تأخیر APA (نزدیک‌شدن APA به لحظه شروع حرکت) با دقت کمتر ارتباط داشت. همچنین هیچ ارتباطی بین زمان شروع و دامنه APA و خطای متغیر اجرای بازیکنان ماهر مشاهده نشد. در آخر، در میان بازیکنان مبتدی، تنها زمان شروع APA در تمامی عضلات قامتی با دقت و خطای متغیر اجرا ضربه فوره‌ند تنیس روی میز ارتباط منفی وجود داشت؛ به این صورت که وقوع زودتر APA در بازیکنان ماهر با دقت بیشتر و خطای متغیر کمتر اجرا ارتباط داشت.

درباره تأثیر مهارت بر زمان شروع و دامنه APA، وقوع APA در تمامی عضلات قامتی بازیکنان ماهر و مبتدی نشان می‌دهد، تکلیف ضربه فوره‌ند تنیس روی میز از تغییرات بزرگ در وضعیت COP برخوردار است که در ثبات قامتی هر دو گروه بازیکنان آشفستگی ایجاد می‌کند؛ بنابراین برای حذف اثر آشفستگی در اجرای بازیکنان، APA در عضلات قامتی در کمتر از ۱۰۰ میلی‌ثانیه قبل از شروع ضربه فوره‌ند تنیس روی میز رخ می‌دهد. شباهت در زمان شروع APA برای هر دو گروه ماهر و مبتدی نشان می‌دهد که هم‌راستا با مطالعات گذشته، تنظیم هماهنگی بین APA و حرکت اصلی براساس آشفستگی به‌وجودآمده توسط عمل پیش‌رو است (۲۲، ۲۱)، نه یک الگوی APA ازپیش‌تعیین‌شده که به‌واسطه تمرین بلندمدت و تجربه ایجاد می‌شود؛ بنابراین به نظر می‌رسد، سطح مهارتی بازیکنان در تنظیم هماهنگی بین زمان شروع APA و حرکت ارادی اصلی نقش ایفا نمی‌کند. با وجود نبود تفاوت معنادار در زمان شروع APA بین بازیکنان ماهر و مبتدی، دامنه APA در عضلات قامتی خلفی (دوقلو، دوسر رانی و راست نگه‌دارنده ستون مهره‌ها) در بازیکنان ماهر بیشتر از بازیکنان مبتدی بود. این یافته‌ها با مطالعات گاجی و وبر<sup>۱</sup> (۲۳) و پیلارد و نوئی<sup>۲</sup> (۸) هم‌راستا است. این محققان

1. Gagey & Weber
2. Paillard & Noe



در مطالعات خود نشان دادند که فوتبالیست‌های حرفه‌ای در مقایسه با فوتبالیست‌های غیرحرفه‌ای تون عضلانی بزرگ‌تری در عضلات خلفی پاهای خود دارند (۸)؛ بنابراین در کل می‌توان این نتیجه را گرفت که تغییرات ایجادشده در زمان شروع و دامنه APA به‌واسطه سطح مهارت بازیکنان ماهر، هم ثبات قامتی بیشتری را فراهم می‌کند و هم نیروی پیش‌برنده به سمت جلو برای بهبود اجرای حرکتی را فراهم می‌آورد که با سیتو، یاماناکا، کاساهارا و فوکوشیما<sup>۱</sup> (۵) همسوست.

با وجود مشابهت در زمان شروع APA در میان بازیکنان ماهر و مبتدی و همچنین روش مشابه محاسبه انتگرال فعالیت EMG، این تفاوت در دامنه APA عضلات قامتی خلفی در بازیکنان ماهر را می‌توان به اثر مهارت و راهبرد بازیکنان ماهر برای مقابله با آشفستگی و حفظ تعادل مرتبط دانست. فعالیت پیش‌بینانه عضلات خلفی بازیکنان ماهر در توافق با مطالعات گذشته است که نشان داده‌اند، بازیکنان ماهر راهبردهای قامتی پیچیده‌تر و برتری دارند (۲۴) که با ظرفیت قامتی-کینتیکی بازیکنان ماهر مطابق است. همچنین محققان یک فرضیه کلی را شکل دادند که دامنه APA می‌تواند به ثبات قامتی ادراک‌شده و طیف تغییرات ممکن در مرکز فشار مربوط باشد (۲۵)؛ یعنی ادراک افراد از میزان آشفستگی و ثبات قامتی خود بر دامنه APA تأثیر می‌گذارد. احتمالاً در مطالعه حاضر نیز ادراک شرکت‌کنندگان از ثبات قامتی خود در بین بازیکنان ماهر و مبتدی متفاوت بوده است و بیشتر بودن دامنه عضلات خلفی در بازیکنان ماهر ممکن است به دلیل ادراک بهتر بازیکنان ماهر از وضعیت قامتی خود و میزان آشفستگی بوده باشد که قرار است به وقوع بپیوندد؛ بنابراین به دلیل حرکت دست بازیکنان به سمت جلو و افزایش جابه‌جایی قدامی COP، احتمالاً راهبرد قامتی پیش‌بینانه بازیکنان ماهر در مقایسه با مبتدی افزایش دامنه APA عضلات خلفی است تا با آشفستگی موجود مقابله کند. این تفاوت ادراک از ثبات قامتی بین بازیکنان ماهر و شرکت‌کنندگان مبتدی، با مطالعات گذشته در مقایسه ورزشکاران و افراد عادی (۲۶) و مقایسه بازیکنان ورزش‌های برخوردار و غیربرخوردی (۱) همسوست. از طرف دیگر، ممکن است این تفاوت در دامنه APA بین بازیکنان ماهر و مبتدی به دلیل تشکیل مدل‌های درونی<sup>۲</sup> باشد که بازیکنان ماهر در طول سازگاری بلندمدت با این تکلیف به دست آورده‌اند. براساس نظریه‌های کنترل حرکتی، CNS دارای ساختارهای عصبی (مدل‌های درونی) است که می‌تواند حالت بعدی سیستم را با استفاده از حالت کنونی سیستم و سیگنال‌های کنترلی حسی حرکتی پیش‌بینی کند. وجود چنین مدل‌های درونی فرد را قادر می‌سازد که با وجود پارازیت‌های

1. Saito, Yamanaka, Kasahara, & Fukushima
2. Internal Models



حرکتی، تأخیرهای حسی حرکتی و آشفتگی‌های پیش رو، رفتار حرکتی سریع و دقیقی را برای خود به کار برد (۲۷). به‌طور خاص، ساختار APA نیز نشان‌دهنده وجود مدل‌های درونی است که اثر بی‌ثبات‌کننده قامت به‌واسطه اجرای حرکت را می‌تواند پیش‌بینی کند (۲۸). همچنین محققان اظهار کردند که فرایندهای یادگیری متمایز و وابسته به هم اکتساب مهارت‌های حرکتی را ممکن می‌کند که در نتیجه تمرین، این فرایندها به شکل‌گیری و کاربرد مدل‌های درونی منجر می‌شوند که این مهارت‌ها را کنترل می‌کنند (۲۹)؛ بنابراین بازیکنان ماهر در اثر تمرین طولانی‌مدت و سازگاری بیشتر در مهارت تنیس روی میز، مدل‌های درونی دقیق‌تری را در CNS شکل داده‌اند. هنگامی که ضربه فورهند تنیس روی میز اجرا می‌شود، CNS در بازیکنان ماهر می‌تواند به‌طور دقیق‌تر آشفتگی ایجادشده را پیش‌بینی کند و پاسخی را برای مقابله با این آشفتگی اتخاذ کند. ضربه فورهند تنیس روی میز موجب جابه‌جایی قدامی بیشتر COP می‌شود؛ بنابراین بزرگ‌بودن دامنه APA در عضلات قامتی خلفی قبل از شروع حرکت در بازیکنان ماهر می‌تواند به‌دلیل وجود مدل‌های درونی دقیق‌تری باشد که در اثر تمرین، تجربه و کسب مهارت در رشته تنیس روی میز به‌منظور حفظ ثبات قامتی و مقابله با آشفتگی در این بازیکنان شکل گرفته است که این موضوع نیازمند انجام‌دادن تحقیقات بیشتر است.

همچنین شباهت در زمان شروع APA بین بازیکنان مبتدی و ماهر ممکن است به تنظیم مرکزی<sup>۱</sup> آن‌ها مربوط باشد. تنظیم مرکزی، انتخاب فوری عضلات قامتی و شیوه آماده‌کردن آن‌ها برای حرکت مطابق با توانایی عضلات قامتی به‌منظور مشارکت در ثبات قامتی است. گزارش شده است که تنظیم مرکزی مختص به تکلیف است و بر وقفه‌های شروع EMG تأثیر می‌گذارد (۳۰)؛ بنابراین تفاوت در سطح مهارت نتوانسته است، تفاوت در تنظیم مرکزی شرکت‌کنندگان ایجاد کند. با توجه به جست‌وجوها، مطالعه‌ای یافت نشد که اثر سطح مهارت را بر زمان شروع و دامنه عضلات قامتی بررسی کرده باشد؛ در نتیجه مقایسه یافته‌ها با تحقیقات گذشته میسر نیست.

درباره تأثیر مهارت بر دقت و خطای متغیر اجرا، نتایج مطالعه حاضر نشان داد، بازیکنان ماهر دقت بیشتر و خطای متغیر کمتری در اجرای ضربه فورهند تنیس روی میز داشتند که با مطالعات بنگوی‌گوی و ریپول<sup>۲</sup> (۳۱) و ریپول و لاتیری<sup>۳</sup> (۳۲) هم‌راستاست. این مطالعات نشان دادند، بازیکنان تنیس روی میز ماهر در اجرای تکلیف زمان‌بندی پیش‌بینی انطباقی دقت بیشتر و خطای متغیر

1. Central Set
2. Benguigui, & Ripoll
3. Ripoll, & Latiri



کمتری در مقایسه با بازیکنان تنیس روی میز مبتدی داشتند. در مطالعه حاضر که نحوه اجرای تکلیف زمان‌بندی پیش‌بینی انطباقی مشابه با مطالعه ویلیامز<sup>۱</sup> و همکاران در شرایط اکولوژیک و تاحدممکن به شرایط واقعی نزدیک بود، نتایج مشابهی نیز در ارتباط با اجرای بازیکنان ماهر و مبتدی تنیس روی میز به دست آمد. این محققان دریافتند، بازیکنان تنیس روی میز ماهر در اجرای تکلیف زمان‌بندی پیش‌بینی انطباقی عملکرد بهتری از نظر دقت و خطای متغیر داشتند (۳۳).

همچنین در مطالعه حاضر نتایج ارتباط زمان شروع و دامنه APA با دقت و خطای متغیر اجرا نشان داد، زمان شروع و دامنه APA در عضلات قامتی همبستگی معناداری با دقت اجرای ضربه فورهند تنیس روی میز داشت؛ به طوری که در بازیکنان ماهر با شروع زودتر APA و دامنه بزرگ‌تر APA دقت اجرای ضربه فورهند تنیس روی میز بیشتر می‌شد و در بازیکنان مبتدی نیز با وجود اینکه دقت کمتر و خطای متغیر بیشتری در مقایسه با بازیکنان ماهر داشتند، شروع زودتر APA با دقت بیشتر و خطای متغیر کمتر در اجرای آن‌ها ارتباط داشت. به طور خاص در مطالعه حاضر نشان داده شد، مشارکت APA در بهبود اجرای حرکتی نقش دارد که این یافته با مطالعه یو و دو<sup>۲</sup> هم‌راستا است. آن‌ها دریافتند، سرعت اجرای شمشیربازان در طول حرکت پیچیده ورزشی لانژ<sup>۳</sup> در مقایسه با افراد غیر شمشیرباز بهتر بود و این بهتر بودن زمانی رخ می‌داد که ضربه تاچ در زمان وقوع APA حرکت لانژ آغاز می‌شد؛ بنابراین آن‌ها نتیجه گرفتند که APA مشارکت قوی در بهبود اجرای حرکتی دارد (۳۴). سیتو و همکاران نیز به این نتیجه دست یافتند که تمرین و تجربه مکرر در اجرای یک مهارت حرکتی به بروز تغییرات APA منجر خواهد شد که خود یک عامل در بهبود اجرای حرکت دسترس‌ی دست خواهد بود (۵).

نتایج مطالعه حاضر مبنی بر افزایش ثبات قامتی و بهبود اجرای ضربه فورهند تنیس روی میز هم‌راستا با یافته‌های مطالعات گذشته در مهارت‌های مختلف مانند تیراندازی با تفنگ (۷)، ژیمناستیک (۹) و حرکات موزون دستی (۳۵) هم‌راستا است. این شواهد به‌طور کلی تأییدکننده این موضوع است که بهبود قامتی و سازگاری بیشتر در اجرای مهارت حرکتی به‌واسطه تمرین و تجربه حاصل می‌شود. این مطالعات همچنین نشان دادند، افراد ماهر APA بهتری از خود نشان می‌دهند که آن‌ها را قادر می‌سازد هم ثبات قامتی بیشتری داشته باشند و هم اجرای بهتری در مهارت حرکتی از خود نشان دهند؛ باین‌حال، به نظر می‌رسد، بازیکنان ماهر از اطلاعات حسی خاصی برای تنظیم قامت خود استفاده

1. Williams
2. Yiu & Do
3. Lunge



می‌کنند که با ملزومات رشته ورزشی آن‌ها مطابق است؛ برای مثال، نشانه‌های حسی پیکری در ژیمناستیک‌کاران ماهر بیشتر از نشانه‌های اوتولیتی اطلاعاتی را برای ادراک موقعیت بدن و جهت‌یابی فراهم می‌کند؛ درحالی‌که حس بینایی در تنظیم قامت برای حرکات موزون و رقص و ورزش‌های گروهی مانند بسکتبال، والیبال و فوتبال بیشتر مشارکت دارد (۳۶)؛ بنابراین ارتباط بین تنظیم قامت و سطوح مهارت ورزشکاران، بیشتر به نوع، ویژگی و بافت آن ورزش مدنظر بستگی دارد (۸) که از حیظه مطالعه حاضر خارج است، اما آنچه یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد، بهبود عملکرد قامتی و اجرای حرکت در بازیکنان ماهر است که در توافق با مطالعات مذکور است؛ باین‌حال، یافتن علت چنین ارتباطی به انجام‌دادن مطالعات بیشتر نیاز دارد.

همچنین نتایج مطالعه حاضر مبنی بر جنبه مشارکت APA در بهبود اجرای قامتی بازیکنان ماهر و مبتدی، با نتایج مطالعه پیلارد و همکاران (۲۰۰۶) در دو گروه فوتبالیست با سطوح رقابتی مختلف و نیز با نتایج مطالعاتی که به بررسی ارتباط ثبات قامتی و اجرای حرکتی تیراندازی با تفنگ (۳۷) و کمان (۳۸) پرداختند، هم‌راستاست. درکل، نتایج تمام این مطالعات نشان داد، جابه‌جایی ناحیه مرکز فشار در بازیکنان مبتدی بیشتر از ورزشکاران ماهر بوده که نشان‌دهنده اجرای قامتی بهتر ورزشکاران ماهر است؛ بنابراین آن‌ها رابطه‌ای نزدیک بین سطح تمرین ورزشی و توانایی‌های قامتی نشان دادند که نتایج آن با مطالعه حاضر درمورد عملکرد قامتی بهتر بازیکنان تنیس روی میز ماهر مطابقت دارد. همچنین این محققان نشان دادند، سطح مهارت بالاتر ورزشکاران ارتباط بسیار با ثبات قامتی و کنترل قامتی آن‌ها دارد؛ در نتیجه اجرای حرکتی بهتری را از خود نشان می‌دهند؛ بنابراین می‌توان به ارتباط سطح مهارت بالاتر و اجرای حرکتی بهتر پی برد. همچنین در مطالعات مربوط به بررسی APA در زمان رهاکردن تیر از کمان (۳۹) یا شلیک تفنگ بادی (۴۰)، محققان نشان دادند که در ثانیه‌هایی قبل از رهاشدن تیر از کمان یا شلیک تفنگ میزان جابه‌جایی در COP در افراد ماهر به مقدار کمتر خود رسیده است و آن‌ها امتیاز بیشتری را در اجرای خود به دست آوردند؛ بنابراین محققان نتیجه گرفتند که کاهش نوسان قامتی قبل از شروع اجرای حرکت یکی از عامل‌های پیش‌بینی امتیاز زیاد در تیراندازی افراد ماهر است (۳۹) که با یافته‌های مطالعه حاضر همسوست.

در نهایت، یافته‌های مطالعه حاضر مبنی بر اینکه زمان شروع و دامنه APA در بازیکنان ماهر ارتباط معناداری با خطای متغیر اجرا ندارد، اما با دقت اجرا ارتباط معنادار دارد، می‌تواند با بخشی از یافته‌های پژوهش یانگ مرتبط باشد. در مطالعه یانگ که به بررسی دقت و خطای متغیر اجرای تکلیف پیش‌بینی انطباقی فوتبالیست‌ها پرداخته شد، نتیجه گرفته شد که خطای متغیر در تکلیف پیش‌بینی انطباقی، بیشتر به فرایندهای ادراکی مربوط است؛ درحالی‌که دقت در تکلیف پیش‌بینی انطباقی، بیشتر به اندام



و عضوی مربوط است که در اجرای چنین تکلیفی نقش دارد (۴۱)؛ بنابراین از آنجاکه دامنه و زمان شروع APA در عضلات قامتی در حین اجرای ضربه فورهند تنیس روی میز برای حفظ ثبات قامتی و اجرای مهارت نقش دارد، در نتیجه همبستگی APA در دقت اجرای ضربه فورهند تنیس روی میز مشاهده شده است.

### پیام مقاله

مربی‌ان تنیس روی میز باید اهمیت تقویت عضلات قامتی، به‌ویژه عضلات قامتی خلفی را برای کسب ثبات قامتی بهتر و عملکرد حرکتی مناسب‌تر مدنظر قرار دهند؛ با این حال، بررسی رابطه علت و معلولی بین APA با بهبود عملکرد حرکتی به انجام‌دادن مطالعات بیشتر نیاز دارد.

### منابع

1. Liang Y, Hiley M, Kanosue K. The effect of contact sport expertise on postural control. *PLoS One*. 2019;14(2):e0212334.
2. Bouisset S, Zattara M. Biomechanical study of the programming of anticipatory postural adjustments associated with voluntary movement. *J Biomech*. 1987;20(8):735–42.
3. Klous M, Mikulic P, Latash ML. Two aspects of feedforward postural control: anticipatory postural adjustments and anticipatory synergy adjustments. *J Neurophysiol*. 2011;105:2275–88.
4. Galgon AK, Shewokis PA, Tucker CA. Changes in standing postural control during acquisition of a sequential reaching task. *Gait Posture*. 2010;31(2):265–71.
5. Saito H, Yamanaka M, Kasahara S, Fukushima J. Relationship between improvements in motor performance and changes in anticipatory postural adjustments during whole-body reaching training. *Hum Mov Sci*. 2014;37:69–86.
6. Andreeva A, Melnikov A, Skvortsov D, Akhmerova K, Vavaev A, Golov A, et al. Postural stability in athletes: the role of age, sex, performance level, and athlete shoe features. *Sports*. 2020;8(6):89.
7. Era P, Kontinen N, Mehto P, Saarela P, Lyytinen H. Postural stability and skilled performance—a study on top-level and naive rifle shooters. *J Biomech*. 1996;29(3):301–6.
8. Paillard TH, Noé F. Effect of expertise and visual contribution on postural control in soccer. *Scand J Med Sci Sports*. 2006;16(5):345–8.
9. Garcia C, Barela JA, Viana AR, Barela AMF. Influence of gymnastics training on the development of postural control. *Neurosci Lett*. 2011;492(1):29–32.



10. Kiers H, van Dieën J, Dekkers H, Wittink H, Vanhees L. A systematic review of the relationship between physical activities in sports or daily life and postural sway in upright stance. *Sport Med.* 2013;43(11):1171–89.
11. Caronni A, Bolzoni F, Esposti R, Bruttini C, Cavallari P. Accuracy of pointing movements relies upon a specific tuning between anticipatory postural adjustments and prime mover activation. *Acta Physiol.* 2013;208(1):111–24.
12. Yu C, Shao S, Baker JS, Awrejcewicz J, Gu Y. A comparative biomechanical analysis of the performance level on chasse step in table tennis. *Int J Sports Sci Coach.* 2019;14(3):372–82.
13. Aruin AS, Latash ML. The role of motor action in anticipatory postural adjustments studied with self-induced and externally triggered perturbations. *Exp Brain Res.* 1995;106(2):291–300.
14. Schmidt RA. *Motor Control and learning.* 5<sup>th</sup> ed. Champaign: Human Kinetics; 1988.
15. Popa T, Bonifazi M, Della Volpe R, Rossi A, Mazzocchio R. Anticipatory control of impending postural perturbation in elite springboard divers. *Eur J Appl Physiol.* 2008;104(6):1007–11.
16. Sheppard A, Li FX. Expertise and the control of interception in table tennis. *Eur J Sport Sci.* 2007;7(4):213–22.
17. Schäfer T, Schwarz MA. The Meaningfulness of Effect Sizes in Psychological Research: Differences Between Sub-Disciplines and the Impact of Potential Biases. *Front Psychol.* 2019;10.
18. Chen B, Lee YJ, Aruin AS. Anticipatory and compensatory postural adjustments in conditions of body asymmetry induced by holding an object. *Exp Brain Res.* 2015;233(11):3087–96.
19. Hermens HJ, Freriks B, Merletti R, Stegeman D, Blok J, Rau G, et al. European recommendations for surface electromyography. *Roessingh Res Dev.* 1999;8(2):13–54.
20. Abdoli B, Farsi A, Ramezanzade H. Comparison the effect of increasing and decreasing contextual interference with the change motor program on the task of learning anticipation timing coincidence and error detection capability. *Mot Behav.* 2013;5(13):57-75 [in persian].
21. Aruin AS. The effect of changes in the body configuration on anticipatory postural adjustments. *Motor Control.* 2003;7(3):264–77.
22. Slijper H, Latash ML, Mordkoff JT. Anticipatory postural adjustments under simple and choice reaction time conditions. *Brain Res.* 2002;924:184–97.
23. Gagey P-M, Weber B. *Posturologie. Régulation dérèglements la Stn debout* Deuxième édition, préface du Profr Henrique Martins da Cunha Masson, Paris. 1999;
24. Paillard T. Relationship between sport expertise and postural skills. *Front Psychol.* 2019;10:1428.
25. Slijper H, Latash ML. The effects of muscle vibration on anticipatory postural adjustments. *Brain Res.* 2004;1015(1–2):57–72.





26. Thompson LA, Badache M, Cale S, Behera L, Zhang N. Balance performance as observed by center-of-pressure parameter characteristics in male soccer athletes and non-athletes. *Sports*. 2017;5(4):86.
27. Yiou E, Artico R, Teyssedre CA, Labaune O, Fourcade P, Hasson CJ, et al. Anticipatory postural control of stability during gait initiation over obstacles of different height and distance made under reaction-time and self-initiated instructions. *Neuroscience*. 2016;10:449.
28. Lyon IN, Day BL. Control of frontal plane body motion in human stepping. *Exp Brain Res*. 1997;115(2):345–56.
29. Gentile AM. Movement science: implicit and explicit processes during acquisition of functional skills. *Scand J Occup Ther*. 1998;5(1):7–16.
30. Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: translating research into clinical practice. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
31. Benguigui N, Ripoll H. Effects of tennis practice on the coincidence timing accuracy of adults and children. *Res Q Exerc Sport*. 1998;69(3):217–23.
32. Ripoll H, Latiri I. Effect of expertise on coincident-timing accuracy in a fast ball game. *J Sports Sci*. 1997;15(6):573–80.
33. Williams LRT, Katene WH, Fleming K. Coincidence timing of a tennis stroke: Effects of age, skill level, gender, stimulus velocity, and attention demand. *Res Q Exerc Sport*. 2002;73(1):28–37.
34. Yiou E, Do MC. In a complex sequential movement, what component of the motor program is improved with intensive practice, sequence timing or ensemble motor learning? *Exp brain Res*. 2001;137(2):197–204.
35. Amado AC, Palmer CJ, Hamill J, Van Emmerik REA. Coupling of postural and manual tasks in expert performers. *Hum Mov Sci*. 2016;46:251–60.
36. Vuillerme N, Teasdale N, Nougier V. The effect of expertise in gymnastics on proprioceptive sensory integration in human subjects. *Neurosci Lett*. 2001;311(2):73–6.
37. Ball K, Best R, Wrigley T. Body sway, aim point fluctuation and performance in rifle shooters: inter-and intra-individual analysis. *J Sports Sci*. 2003;21(7):559–66.
38. Musa RM, Abdullah MR, Juahir H, Maliki A, Mat-Rasid SM, Kosni NA, et al. A multidimensional analysis of physiological and mechanical variables among archers of different levels of expertise. *J Fundam Appl Sci*. 2018;10(1S):18–32.
39. Spratford W, Campbell R. Postural stability, clicker reaction time and bow draw force predict performance in elite recurve archery. *Eur J Sport Sci*. 2017;17(5):539–45.
40. Ihalainen S, Kuitunen S, Mononen K, Linnamo V. Determinants of elite-level air rifle shooting performance. *Scand J Med Sci Sports*. 2016;26(3):266–74.
41. Young G. Anticipation timing as a function of expertise and effector-specific training [Master's thesis]. [Knoxville]: University of Tennessee; 2008.



**استناد به مقاله**

امینایی علیرضا، طهماسبی بروجنی شهزاد، عرب‌عامری الهه، شهبازی مهدی، شریف‌نژاد علی. بررسی ارتباط بین کنترل پیش‌خوراندی قامت و خطای ثابت و متغیر در تکلیف زمان‌بندی پیش‌بینی انطباقی: مطالعه بازیکنان ماهر و مبتدی تنیس روی میز. بهار ۱۴۰۲؛ ۱۵(۵۱): ۴۱-۶۶. شناسه دیجیتال: 10.22089/MBJ.2021.9910.1939

Aminae A. R, Tahmasebi Boroujeni Sh, Arabameri E, Shahbazi M, Sharifnezhad A. Investigating the Relationship between Feed-Forward Postural Control and Constant and Variable Error of Coincident Anticipation Timing Task: Study of Skilled and Novice Table Tennis Players. *Motor Behavior*. Spring 2023; 15 (51):41-66. (In Persian). Doi: 10.22089/MBJ.2021.9910.1939

