University of Tehran
Faculty of
Sport Sciences and Health

Journal of
Sports and Motor Development and Learning

Online ISSN: 2676-4547

The Effect of Cognitive Task Difficulty and Articulation on Postural Sway

Rezvan Azimi[1]✉, Behrouz Abdoli[2], Mohammad Ali Sanjari[3], Reza Khosrowabadi[4]

1. Corresponding Author, Department of Cognitive and Behavioral Science and Technology in Sport, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: r_azimi@sbu.ac.ir
2. Department of Cognitive and Behavioral Science and Technology in Sport, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email:behrouz.abdoli@gmail.com
3. Department of Basic Rehabilitation Sciences, School of Rehabilitation Sciences and Biomechanics Lab., Rehabilitation Research Center, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: sanjarima@iums.ac.ir
4. Institute for Cognitive and Brain Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: r_khosroabadi@sbu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:
Received:
27 April 2022
Received in revised form
21 November 2022
Accepted
23 November 2022
Published online
23 November 2022

Keywords:
articulation,
dual-task paradigm,
unconscious control .

ABSTRACT

Introduction: Many studies evaluate the interaction between cognition and posture but the effect of cognitive task difficulty and articulation on postural control remains inconclusive. The purpose of the present study was to examine the interaction effect of cognitive task difficulty and articulation on postural control.

Methods: Twenty healthy young volunteers (Mean age 22 ± 2.3 years) performed four random conditions while standing on a force platform. Conditions involved combinations of two level of cognitive task difficulty (easy and difficult cognitive task) and two level of verbal response (simultaneous and final).

Results: Two-way ANOVA (significant level $P<0.05$) results demonstrated marked increased in the standard deviation and area of 95% confidence ellipse of the center of pressure in the difficult cognitive task condition with simultaneous verbal response. ($P<0.05$). Also, in the final response condition, difficult cognitive task reduced area of 95% confidence ellipse.

Conclusion: According to the results of the present research, it seems that the difficult cognitive task requires a greater part of attention capacity; subsequently, attention is withdrawn from the postural task and automatic control regulates posture more efficiently through unconscious, fast, and reflexive processes. Also, postural control is simultaneously affected by the difficulty of cognitive task and articulation. Therefore, for designing appropriate interventions, it seems necessary to pay attention to the interactive effects of the difficulty and articulation of cognitive task.

Cite this article: Azimi, R., Abdoli, B., Sanjari, M A., & Khosrowabadi, R. (2022). The Effect of Cognitive Task Difficulty and Articulation on Postural Sway. *Journal of Sports and Motor Development and Learning,14* (3),69-81.
DOI:http//doi.org/10.22059/JSMDL.2022.342190.1651

© The Author(s). Publisher: University of Tehran, Faculty of Sport Sciences and Health.

University of Tehran
Faculty of
Sport Sciences and Health

Journal of
Sports and Motor Development and Learning

Online ISSN: 2676-4547

Extended Abstract

Introduction

Research examining posture and cognition strongly suggests that postural control synergies are sensitive to cognitive manipulations. Therefore, the effect of cognitive task on postural control is evaluated in dual-task paradigm that studies in this field have led to contradictory results. Many studies evaluate the interaction between cognition and posture but the effect of cognitive task difficulty and articulation on postural control remains inconclusive. The purpose of the present study was to examine the interaction effect of cognitive task difficulty and articulation on postural control.

Methods

Twenty healthy young volunteers (Mean age 22 ± 2.3 years) signed informed consent forms according to the procedures approved by the Shahid Beheshti University (IR.SBU.ICBS.98/ 1008). Participants performed four random conditions while standing on a force platform. Conditions involved combinations of two level of cognitive task difficulty (easy and difficult cognitive task) and two level of verbal response (simultaneous and final). The easy cognitive task was comprised of thirty 3-digit random numbers that were presented every 2 seconds on the computer screen. In the final response condition, the participants were instructed to mentally count the total number of times that one of the pre-selected digits were appeared and in the simultaneous response condition, participants were instructed to count aloud pre-selected digits. Participants had to simultaneously search for the specified digit in each 3-digit number and keep a running total in their mind without counting by fingers. To avoid memorization, the pre-selected digits were not the same across all trials. The difficult cognitive task was comprised of twenty 5-digit random numbers that were presented every 3 seconds on the computer screen. To confirm cognitive involvement of participants, another two random single digits were appeared on the monitor; the participants were instructed to mentally count the total number of times that one of the two pre-selected digits were appeared. Participants had to simultaneously search for the specified digit in each 5-digit number and keep a running total in their mind without counting by fingers. To avoid memorization, the pre-selected digits were not the same across all trials. At the end of trials, participants were instructed to verbally give the total count to ensure cognitive involvement for the entire duration of the trial. Rest break between conditions was 5 minutes, while between trials was 1 minute, if requested.

Results

SD of CoP

The results of Bonferroni's post hoc test showed that when participants had a final verbal answer, the SD of the CoP in the conditions with difficult cognitive task was significantly lower than in the condition of easy cognitive task (P=0.02). When participants had verbal responses simultaneously, no significant difference was seen between difficult cognitive task and easy cognitive task conditions (P=0.13). On the other hand, in the conditions of a difficult cognitive task, the simultaneous verbal response compared to the final verbal response led to an increase in the SD of CoP (P=0.008). This effect was not seen in easy cognitive task conditions (P=0.44).

Area of 95 % of confidence ellipse of CoP

The results of Bonferroni's post hoc test showed that when participants had a final verbal answer, the area of 95% confidence ellipse of CoP was significantly lower in conditions with difficult cognitive task than in easy cognitive task conditions (P=0.03). When participants had verbal responses simultaneously, a significant difference was seen between the conditions of difficult cognitive task and easy cognitive task (P=0.001). On the other hand, in the conditions of difficult cognitive task, the simultaneous verbal response compared to the final verbal response led to an increase in the area of 95% confidence ellipse of CoP (P=0.001). This effect was not seen in easy cognitive task conditions (P=0.70).

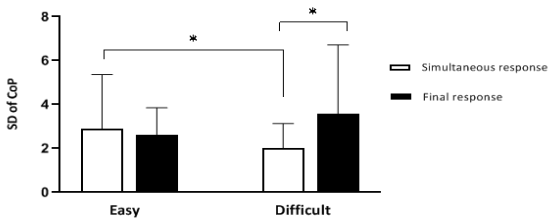


Figure 1- Standard deviation of CoP position in the anterior-posterior direction (AP) in different conditions.

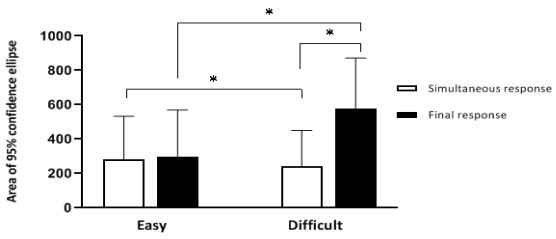


Figure 2- Area of 95 % of confidence ellipse of CoP position in the anterior-posterior direction (AP) in different conditions.

Conclusion

According to the results of the present research, it seems that the difficult cognitive task requires a greater part of attention capacity; subsequently, attention is withdrawn from the postural task and automatic control regulates posture more efficiently through unconscious, fast, and reflexive processes. Also, postural control is simultaneously affected by the difficulty of cognitive task and articulation. Therefore, for designing appropriate interventions, it seems necessary to pay attention to the interactive effects of the difficulty and articulation of cognitive task.

Ethical Considerations

University of Tehran
Faculty of
Sport Sciences and Health

Journal of
Sports and Motor Development and Learning

Online ISSN: 2676-4547

Compliance with ethical guidelines: Participants signed in formed consent forms according to the procedures approved by the Shaid Beheshti university (IR.SBU.ICBS.98/1008).

Funding: The authors received no financial support.

Authors' contribution: All authors contributed equally.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments: Authors would like to thank students of Shahid Beheshti and Bonyan Sanat Novin Co.(BSN) for developing a custom program for cognitive task presentations.

رشد و یادگیری حرکتی و ورزشی
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۵۴۷
دانشگاه تهران
دانشکده علوم ورزشی و تندرستی

تأثیر دشواری تکلیف شناختی و صدای گفتاری بر نوسان قامت

رضوان عظیمی[۱]✉، بهروز عبدلی[۲]، محمدعلی سنجری[۳]، رضا خسروآبادی[۴]

۱. نویسندهٔ مسؤول، گروه علوم رفتاری و شناختی، دانشکدهٔ علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: r_azimi@sbu.ac.ir
۲. گروه علوم رفتاری و شناختی، دانشکدهٔ علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه:behrouz.abdoli@gmail.com
۳. گروه علوم پایه، دانشکدهٔ علوم توانبخشی و آزمایشگاه بیومکانیک، مرکز تحقیقات توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران. رایانامه: sanjarima@iums.ac.ir
۴. پژوهشکدهٔ علوم شناختی و مغز، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران. r_khosroabadi@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲

کلیدواژه‌ها:
الگوی تکلیف دوگانه، کنترل ناهشیار، صدای گفتاری.

چکیده

زمینه: مطالعات بسیاری برای بررسی تعامل بین قامت و نیازهای شناختی انجام گرفته، اما همچنان اثر تکلیف شناختی بر کنترل قامت به‌روشنی مشخص نشده است. از عوامل مهم ایجاد نتایج متناقض دشواری تکلیف شناختی و همچنین صدای گفتاری (پاسخ کلامی همزمان به تکلیف شناختی) است که به‌درستی بررسی نشده است. این تحقیق با هدف بررسی تعامل اثر دشواری تکلیف شناختی و صدای گفتاری بر کنترل قامت انجام گرفت.

روش پژوهش: ۲۰ داوطلب جوان سالم (میانگین سنی۲/۳±۲۲ سال)، برای اجرای ۴ شرایط آزمایشی تصادفی روی صفحهٔ نیرو ایستادند. شرایط شامل ترکیب دو سطح دشواری تکلیف شناختی (آسان و دشوار) و پاسخ کلامی (پایانی و همزمان) بود.

یافته‌ها: نتایج تحلیل واریانس دوراهه با سطح معناداری P<۰/۰۵، افزایش قابل‌توجهی را در پراکندگی مرکز فشار در شرایط پاسخ کلامی همزمان به تکلیف شناختی دشوار نسبت شرایط پاسخ کلامی پایانی نشان داد (P<۰/۰۵). همچنین مساحت بیضی مرکز فشار در شرایط تکلیف شناختی دشوار نسبت به تکلیف شناختی آسان در صورت پاسخ کلامی پایانی کاهش یافت، اما در پاسخ کلامی همزمان افزایش یافت (P<۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج تحقیق حاضر، به‌نظر می‌رسد که تکلیف شناختی دشوار به سهم بزرگ‌تری از ظرفیت توجه نیاز دارد و به دور کردن توجه از تکلیف قامتی منجر می‌شود. بنابراین پردازش خودکار اجازه دارد تا قامت را از طریق فرایندهای غیرهشیار، سریع و بازتابی به‌صورت کارآمدتری تنظیم کند. همچنین صدای گفتاری به افزایش نوسان قامت منجر شده و مانع از اثر مثبت تکلیف شناختی می‌شود. در نتیجه در طراحی مداخلات مناسب، توجه به اثرات تعاملی دشواری تکلیف شناختی و صدای گفتاری ضروری به‌نظر می‌رسد.

استناد: عظیمی، رضوان؛ عبدلی، بهروز؛ سنجری، محمدعلی؛ و خسروآبادی، رضا (۱۴۰۱). تأثیر دشواری تکلیف شناختی و صدای گفتاری بر نوسان قامت. *نشریه رشد و یادگیری حرکتی*، ۱۴(۳)، ۸۱-۶۹.

DOI:http//doi.org/10.22059/JSMDL.2022.342190.1651

ناشر: دانشگاه تهران، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی.

© نویسندگان.

مقدمه

تعامل سیستم‌های بینایی، حس عمقی و دهلیزی در کنترل قامت[1] بسیار مهم است و هرگونه اختلالات در این سیستم‌ها کنترل قامت را دچار اختلال می‌کند. از طرفی کنترل قامت تحت تأثیر عوامل مرتبط با کنترل خودکار و همچنین نیازهای توجهی درگیر در مناطق قشری بالاتر مغز است. تحقیقات گذشته نشان داده‌اند که سیستم کنترل قامت، بسته به شرایط مختلف به درجات متفاوتی از توجه نیاز دارد (برائور، ولوکات و شاموی کوک[2] ۲۰۰۲؛ کجونن و همکاران[3] ۲۰۰۲؛ مایلر و وینگ، ۱۹۹۶) . در همین زمینهبرای ارزیابی تعامل شناخت و کنترل قامت الگوی تکلیف دوگانه[4] استفاده شده است (پوتوین، دسروچرز و لاجویی[5] ۲۰۱۷). پیش‌فرض‌های الگوی تکلیف دوگانه شامل محدودیت ظرفیت پردازش سیستم مرکزی، سهم مشخص هر تکلیف از این ظرفیت موجود و اختلال در اجرای یک یا هر دو تکلیف در صورت نیاز به ظرفیتی بیش از آنچه موجود است، است (سیو و وولوکات[6] ۲۰۰۷).

با وجود مطالعات بسیار در بررسی اثر تکلیف شناختی بر کنترل قامت، همچنان تأثیر فرایندهای شناختی بر کنترل قامت به‌طور گسترده‌ای مورد بحث و اختلاف است (بارا و همکاران، ۲۰۱۲). برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که انجام یک تکلیف شناختی در حالت ایستاده می‌تواند موجب کاهش نوسان و در نتیجه افزایش کنترل قامت شود و دلیل این بهبود را به‌طور فرضی استفاده از کنترل خودکار[7] قامت بیان کرده‌اند (پولسکایا و همکاران، ۲۰۱۵؛ دسروچرزر و همکاران، ۲۰۱۷؛ ریچر و لاجویی، ۲۰۲۰؛ استیز، رویردیک و بیک[8] ۲۰۱۱)، چراکه در این شرایط، تکلیف شناختی به سهم بزرگ‌تری از ظرفیت توجه نیاز دارد و در نتیجه به دور کردن توجه از تکلیف قامتی منجر می‌شود؛ بنابراین کنترل خودکار اجازه دارد تا تنظیمات قامت را بدون محدودیت و از طریق فرایندهای غیرهشیار، سریع و بازتابی به‌صورت کارآمدتری انجام دهد (دانکر و همکاران، ۲۰۰۷؛ ولف، مکنوین و شیا ۲۰۰۱). از طرفی، یافته‌هایی نیز نشان می‌دهد که تکلیف شناختی موجب افزایش نوسان قامت می‌شود که این افزایش را حاصل رقابت دو تکلیف برای منابع توجه و همچنین انگیختگی حاصل از اجرای تکلیف شناختی ذکر کردند (سایت و همکاران، ۲۰۱۴؛ لنزرین و همکاران، ۲۰۱۵؛ منگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ پلژیا، ۲۰۰۳؛ شاموی کوک و ولوکات، ۲۰۰۰).

ادبیات تحقیقی یکی از دلایل ایجاد نتایج متناقض را سطح دشواری تکلیف شناختی معرفی می‌کند (هوکسهولد و همکاران، ۲۰۰۶؛ میترا، ۲۰۰۳؛ پلژیا، ۲۰۰۳)، اما در بررسی اثر افزایش دشواری تکلیف شناختی بر کنترل قامت نیز همچنان شاهد نتایج متناقض هستیم. بعضی تحقیقات کاهش نوسان قامت در حضور تکلیف شناختی دشوار را گزارش کرده‌اند (هانتر و هافمن، ۲۰۰۱؛ پولسکایا و لاجویی، ۲۰۱۶؛ یاردلی و همکاران، ۲۰۰۱) اما یافته‌هایی نیز از افزایش نوسان قامت حمایت می‌کنند (لنزرین و همکاران، ۲۰۱۵؛ پلژیا، ۲۰۰۳). برای مثال پولسکایا و لاجوی[9] (۲۰۱۶) سطوح دشواری یک تکلیف شمارش اعداد را بررسی و نشان دادند که نوسان قامت کاهش یافت. از طرفی سیت[10] و همکاران (۲۰۱۴) دو سطح دشواری تکلیف شمارش معکوس ۳ رقم و ۱۳ رقم را بررسی و تفاوتی در نوسان قامت بین سطوح دشواری تکلیف شناختی گزارش نکردند. لنزارین[11] و همکاران (۲۰۱۵) از یک تکلیف محاسبات ذهنی با دو سطح دشواری استفاده کردند و نشان دادند افزایش نوسان قامت با افزایش دشواری تکلیف شناختی همراه است. نکتهٔ شایان توجه این است که در این مطالعات برای افزایش دشواری تکلیف، از تکالیف با نیازهای شناختی متفاوت استفاده شده است و اندازه‌گیری مستقلی برای تأیید میزان نیازهای شناختی نداشتند (استوفرگن[12] ۲۰۰۷). در اصل می‌توان گفت ارزیابی نکردن میزان دشواری تکلیف شناختی می‌تواند عامل ایجاد نتایج متفاوت در

---

1. Postural control
2. Brauer, Woollacott, & Shumway-Cook
3. Kejonen, Kauranen, Ahasan, & Vanharanta
4. Dual-task paradigm
5. Potvin-Desrochers, Richer, & Lajoie
6. Siu & Woollacott
7. Automatic control
8. Stins, Roerdink, & Beek
9. Polskaia & Lajoie
10. Ceyte
11. Lanzarin
12. Stoffregen

مطالعات مربوط به دشواری تکلیف شناختی باشد. علاوه‌بر این کنترل نکردن دشواری تکلیف قامتی می‌تواند نتایج دستکاری سطوح دشواری تکلیف شناختی را تحت تأثیر قرار دهد (بارا و همکاران، ۲۰۰۷؛ مونتسین[1] و همکاران، ۲۰۲۰؛ شفیع‌زاده و همکاران؛ پروین‌پور و همکاران، ۲۰۲۰). تکالیف قامتی مختلف، سازوکارهای کنترلی متفاوتی دارند؛ برای مثال، زمانی‌که فرد روی سطح ناپایدار می‌ایستد، نسبت به زمانی‌که روی سطح زمین (پایدار) باشد، استراتژی لگن[2] بیشتر می‌شود (هوراک و نشنر،[3] ۱۹۸۶) و ممکن است در نتیجهٔ این تفاوت‌ها، اثر تکلیف شناختی تحت تأثیر قرار بگیرد.

با بررسی مطالعات در این زمینه، عامل مؤثر دیگر بر اثرگذاری تکلیف شناختی و در نتیجه ایجاد نتایج متناقض را می‌توان «صدای گفتاری»[4] یا همان پاسخ کلامی همزمان به تکلیف شناختی در طول اجرای یک کوشش ذکر کرد. در پاسخ کلامی همزمان با اجرای تکلیف شناختی، مراکز بالاتر حرکتی در حین صحبت کردن فعال شده و به تداخل مرکزی با کنترل قامت منجر می‌شود. از طرفی بازخورد شنیداری حاصل از صدای گفتاری نیز می‌تواند موجب ایجاد تداخل شود (قایی و افنبرگ،[5] ۲۰۱۷). با وجود اهمیت این موضوع تحقیقی جهت بررسی اثر «صدای گفتاری» به‌عنوان متغیر مستقل انجام نگرفته است.

به‌طور کلی در بررسی ادبیات قامت- شناخت، مطالعات نشان دادند که دشواری تکلیف شناختی عامل ایجاد تناقضات در نتایج است، اما در بررسی دقیق‌تر دیده شد که دشواری تکلیف شناختی به‌تنهایی عامل ایجاد تناقضات نبوده و مسائلی چون ارزیابی نکردن دشواری تکلیف شناختی و استفاده از تکالیف قامتی دشوار بدون کنترل کردن اثر آن به‌عنوان محدودیت‌های این مطالعات سبب ایجاد نتایج متناقض شده است. همچنین به‌نظر می‌رسد کنترل نکردن عامل «صدای گفتاری» می‌تواند بر اثرات متفاوت سطوح دشواری تکلیف شناختی مؤثر باشد.

در این مطالعه قصد داریم با رفع محدودیت مطالعات پیشین به بررسی اثر دشواری تکلیف شناختی و صدای گفتاری (پاسخ کلامی همزمان به تکلیف شناختی) و همچنین اثر تعاملی این دو عامل که خود می‌تواند نتایج را تحت تأثیر قرار دهد، بپردازیم. در نتیجه فرض مطالعه بر این است که اثر تکلیف شناختی بر کنترل قامت متأثر از سطح دشواری تکلیف شناختی و همچنین صدای گفتاری خواهد بود.

روش‌شناسی پژوهش

شرکت‌کنندگان

تحقیق حاضر شبه‌تجربی با طرح تحقیق سری-زمانی است. حداقل تعداد نمونه با استفاده از نرم‌افزار جی پاور[6] و با احتساب توان آماری ۰/۸، اندازهٔ اثر ۰/۳ و فاصلهٔ اطمینان ۰/۹۵، ۱۵ نفر برآورد شد، با این حال، با احتساب ریزش، ۲۰ نفر بررسی شدند. شرکت‌کنندگان این تحقیق دانشجویان دختر با میانگین سنی ۲۲±۲/۳ سال از دانشجویان مقطع کارشناسی دانشگاه شهید بهشتی بودند که داوطلبانه در شرکت کردند. همچنین افراد فاقد نقص بینایی یا اصلاح‌شده به‌وسیلهٔ عینک بودند و اختلال تعادلی، آسیب‌های اسکلتی عضلانی و اختلالات عصبی را گزارش نکردند. شرکت‌کنندگان رضایت خود را از طریق رضایت‌نامهٔ کتبی اعلام کردند. این مطالعه دارای کد اخلاق از کمیتهٔ اخلاق در پژوهش‌های زیستی دانشگاه شهید بهشتی با شمارهٔ IR.SBU.ICBS.98/1008 است.

1. Montecinos
2. Hip strategy
3. Horak & Nashner
4. Articulation
5. Ghai, & Effenberg
6. Power*G

ابزار

تکلیف پژوهش حاضر، ایستادن روی یک صفحهٔ نیرو[1]با تغییر سطوح دشواری تکلیف شناختی و پاسخ کلامی به تکلیف شناختی بود. تکلیف شناختی شامل دو سطح تکلیف شناختی آسان و تکلیف شناختی دشوار بود. همچنین در هر سطح دشواری تکلیف شناختی، شرکت‌کنندگان پاسخ کلامی همزمان و پاسخ کلامی پایانی نسبت به تکلیف شناختی داشتند. به‌طور کلی داده‌های موقعیت مرکز فشار[2] تحت چهار شرایط اجرای تکلیف شناختی آسان- پاسخ کلامی همزمان، اجرای تکلیف شناختی آسان- پاسخ کلامی پایانی، اجرای تکلیف شناختی دشوار- پاسخ کلامی همزمان و اجرای تکلیف شناختی دشوار- پاسخ کلامی پایانی ثبت شد. تکلیف شناختی آسان شامل ۳۰ عدد تصادفی ۳ رقمی بود که هر ۲ ثانیه روی صفحهٔ رایانه ارائه می‌شد. به شرکت‌کنندگان آموزش داده شد که تعداد دفعات حضور یکی از ارقام از پیش انتخاب‌شده را ذهنی و بدون استفاده از انگشتان شمارش و جمع کنند. شرکت‌کنندگان مجبور بودند همزمان رقم مشخص‌شده را در هر عدد ۳ رقمی جست‌وجو کنند. برای جلوگیری از حفظ کردن، ارقام از پیش انتخاب‌شده در کوشش‌ها متفاوت بود. تکلیف شناختی دشوار شامل ۲۰ عدد تصادفی ۵ رقمی بود که هر ۳ ثانیه روی صفحهٔ رایانه ارائه می‌شد.

روند اجرای پژوهش

به شرکت‌کنندگان آموزش داده شد که تعداد دفعات حضور دو رقم از پیش انتخاب‌شده را ذهنی و بدون استفاده از انگشتان شمارش و جمع کنند. شرکت‌کنندگان مجبور بودند همزمان ارقام مشخص‌شده را در هر عدد ۵ رقمی جست‌وجو کنند. برای جلوگیری از حفظ کردن، ارقام از پیش انتخاب‌شده در کوشش‌ها متفاوت بود. تکلیف شناختی با توجه به تحقیق پولسکایا و لاجوی تهیه شد (پولسکایا و لاجویی، ۲۰۱۶). در شرایط پاسخ پایانی از شرکت‌کنندگان خواسته شد تعداد دفعات ارائهٔ ارقام را در کل عددهای یک کوشش در ذهن نگه‌دارند و پس از اتمام کوشش، تعداد تکرار نهایی را گزارش کنند. اما در پاسخ کلامی همزمان، افراد در حین اجرای تکلیف شناختی با صدای بلند تعداد تکرار را با هر بار نمایش عدد جدید اعلام می‌کردند.

در مرحلهٔ اجرای آزمون، از شرکت‌کنندگان خواسته شد در تمام شرایط، درحالی‌که پاها به اندازهٔ عرض شانه است، به مدت ۶۰ ثانیه روی صفحهٔ نیرو بایستند و به صفحهٔ نمایشی که دو متر جلوتر و در سطح چشم آنها قرار داشت، نگاه کنند. موقعیت پای شرکت‌کنندگان روی صفحهٔ نیرو مشخص شده بود تا از ثبات قرارگیری موقعیت پا در کوشش‌های بعدی اطمینان حاصل شود. هر شرایط آزمایشی شامل یک کوشش آشنایی با تکلیف و سه کوشش اصلی بود. در پایان هر کوشش، به‌منظور اطمینان از درگیری شناختی در تمام مدت یک کوشش پاسخ شرکت‌کنندگان در مورد تعداد دفعات حضور رقم از پیش تعیین‌شده با مقدار صحیح آن بررسی شد. اگر نمرهٔ خطای شرکت‌کنندگان برای تکلیف شناختی آسان از چهار و برای تکلیف شناختی دشوار بیشتر از شش بود، کوشش در پایان کار تکرار می‌شد. زمان هر کوشش ۶۰ ثانیه و استراحت بین کوشش‌ها در صورت درخواست شرکت‌کنندگان ۱ دقیقه بود. همچنین بین هر شرایط آزمایشی ۵ دقیقه استراحت در نظر گرفته شد (پولسکایا و لاجویی، ۲۰۱۶).

اطلاعات موقعیت مرکز فشار با استفاده از یک دستگاه صفحهٔ نیرو ساخت شرکت بنیان صنعت نوین میلاش با نرخ نمونه‌برداری ۱۰۰ هرتز اندازه‌گیری شد. این ابزار قابلیت اندازه‌گیری نیرو در سه محور را با دقت زیاد فراهم می‌کند. نیروسنج سه‌بعدی با ابعاد ۸ × ۴۵ × ۴۵ سانتی‌متر مکعب، دارای ۴ حسگر (Strain gaug Zemic) در چهار گوشه دستگاه و همچنین پایایی ۰/۸۸است. داده‌های صفحهٔ نیرو با استفاده از نرم‌افزار متلب نسخهٔ ۲۰۱۷ پردازش و پراکندگی مرکز فشار در جهت قدامی خلفی ($SD\ CoP_{AP}$)[3] مساحت بیضی مرکز فشار (ACE CoP)[4]و میانگین سرعت مرکز فشار (Vm CoP)[5] محاسبه شد. همچنین از نرم‌افزاری برای نمایش تکلیف شناختی استفاده شد.

1. Force plate
2. Center of pressure
3. Standard deviation of center of pressure in anterior posterior direction
4. Area of 95% confidence ellipse of center of pressure
5. Mean Velocity of center of pressure

این نرم‌افزار صرفاً برای نمایش تکلیف شناختی با ویژگی‌هایی همچون نمایش تصادفی، تنظیم زمان‌بندی تکالیف و تعداد رقم اعداد بود و لحظهٔ نمایش تکلیف شناختی را همزمان با ثبت اطلاعات صفحهٔ نیرو تنظیم می‌کرد.

روش آماری

در بخش تحلیل داده‌های متغیر پراکندگی مرکز فشار در جهت قدامی–خلفی، مساحت بیضی مرکز فشار و میانگین سرعت مرکز فشار از روش آماری تحلیل واریانس دوراهۀ درون‌گروهی ۲ (تکلیف شناختی آسان و دشوار) در ۲ (پاسخ کلامی همزمان و پایانی) استفاده شد. تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار اس.پی.اس.اس نسخهٔ ۲۶ در سطح معناداری P<۰/۰۵ انجام گرفت. همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار گراف پد[1] نسخهٔ ۸ استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

داده‌ها با استفاده از شاخص‌های گرایش مرکزی و پراکندگی توصیف شد (جدول ۱). علاوه‌بر این، پیش‌فرض طبیعی بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو – ویلک بررسی شد و نتایج نشان داد که توزیع داده‌های متغیر پراکندگی مرکز فشار در جهت قدامی–خلفی، مساحت بیضی مرکز فشار و میانگین سرعت مرکز فشار طبیعی بود (P>۰/۰۵).

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای مرکز فشار

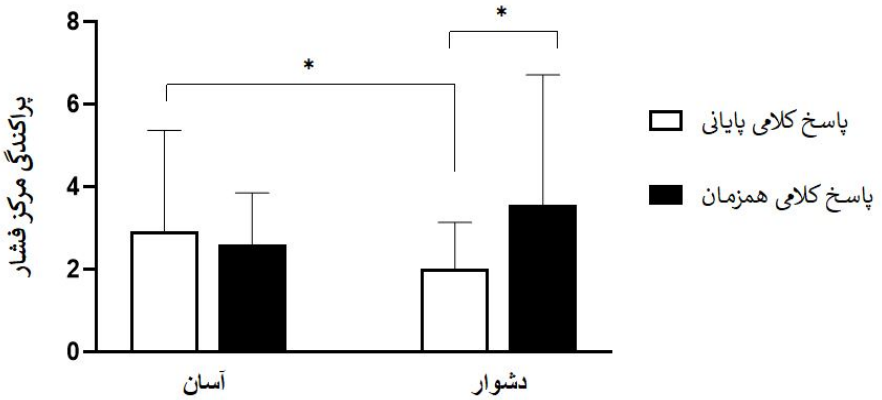
متغیر / شرایط	پراکندگی قدامی خلفی	مساحت بیضی	میانگین سرعت
تکلیف شناختی آسان/ پاسخ کلامی پایانی	۲/۲±۹۱/۴۵	۲۸۲/۲۵۰±۳۸/۴۳	۸/۴±۱۵/۳۴
تکلیف شناختی آسان/ پاسخ کلامی همزمان	۲/۱±۶۱/۲۴	۲۹۸/۲۷۰±۸۲/۸۶	۱۰/۶±۰۳/۰۴
تکلیف شناختی دشوار/ پاسخ کلامی پایانی	۲/۱±۰۱/۱۳	۲۴۰/۲۱۰±۰۱/۲۳	۷/۲±۴۸/۴۷
تکلیف شناختی دشوار/ پاسخ کلامی همزمان	۳/۳±۵۶/۱۵	۵۷۸/۲۹۲±۴۵/۹۸	۱۳/۵±۱۴/۹۵

پراکندگی مرکز فشار

نتایج تحلیل واریانس دوراهۀ درون‌گروهی در متغیر پراکندگی مرکز فشار در جهت قدامی–خلفی نشان داد اثر اصلی عامل دشواری تکلیف شناختی ($F(۱و۱۹) =۰/۰۹$،$P =۰/۷۵$، $\eta^2=۰/۰۰۵$) معنادار نبود، اما اثر اصلی عامل صدای گفتاری ($F(۱و۱۹) =۶/۰۸$، $P =۰/۰۲$، $\eta^2=۰/۳۰$) و اثر تعاملی آنها ($F(۱و۱۹) =۵/۳۲$، $P =۰/۰۳$، $\eta^2=۰/۲۴$) معنادار بود. به‌دلیل معنادار شدن اثر تعاملی، برای مقایسه‌های زوجی از دستور syntax استفاده شد. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد زمانی که افراد پاسخ کلامی پایانی داشتند، پراکندگی مرکز فشار در شرایط با تکلیف شناختی دشوار نسبت به شرایط تکلیف شناختی آسان ($P =۰/۰۲$) به‌طور معناداری کمتر بود. زمانی که افراد پاسخ کلامی همزمان

[1] Graphpad

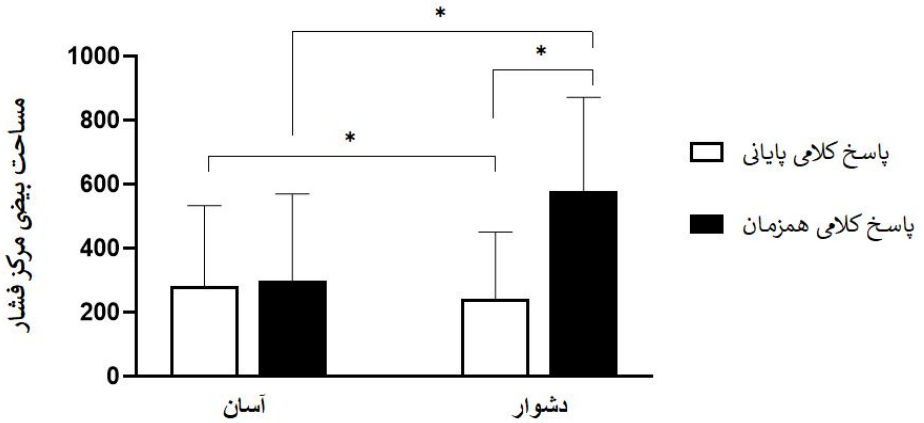
داشتند، بین شرایط تکلیف شناختی دشوار و تکلیف شناختی آسان تفاوت معناداری دیده نشد (P =۰/۱۳). از طرفی در شرایط تکلیف شناختی دشوار، پاسخ کلامی همزمان نسبت به پاسخ کلامی پایانی به افزایش پراکندگی مرکز فشار منجر شد (P =۰/۰۰۸). این اثر در شرایط تکلیف شناختی آسان دیده نشد (P =۰/۴۴).



شکل ۱. پراکندگی مرکز فشار در جهت قدامی خلفی در شرایط مختلف

مساحت بیضی مرکز فشار

نتایج تحلیل واریانس دوراهۀ درون‌گروهی در متغیر مساحت بیضی مرکز فشار نشان داد اثر اصلی عامل دشواری تکلیف شناختی (P =۰/۰۲، η^2 =۰/۲۵، F(۱و۱۹) =۶/۵۱) اثر اصلی عامل صدای گفتاری (P =۰/۰۰۲، η^2 =۰/۴۵، F(۱و۱۹) =۱۳/۵۹) و اثر تعاملی آنها (P =۰/۰۰۲، η^2 =۰/۴۳، F(۱و۱۹) =۱۳/۱۸) معنادار بود. به‌دلیل معنادار شدن اثر تعاملی، برای مقایسه‌های زوجی از دستور syntax استفاده شد. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد زمانی‌که افراد پاسخ کلامی پایانی داشتند، مساحت بیضی مرکز فشار در شرایط با تکلیف شناختی دشوار نسبت به شرایط تکلیف شناختی آسان (P =۰/۰۳) به‌طور معناداری کمتر بود. زمانی‌که افراد پاسخ کلامی همزمان داشتند، بین شرایط تکلیف شناختی دشوار و تکلیف شناختی آسان تفاوت معناداری دیده شد (P =۰/۰۰۱). از طرفی در شرایط تکلیف شناختی دشوار، پاسخ کلامی همزمان نسبت به پاسخ کلامی پایانی منجر به افزایش مساحت بیضی مرکز فشار شد (P =۰/۰۰۱). این اثر در شرایط تکلیف شناختی آسان دیده نشد (P =۰/۷۰).



شکل ۲. مساحت بیضی مرکز فشار در شرایط مختلف

میانگین سرعت مرکز فشار

نتایج تحلیل واریانس دوراهۀ درون‌گروهی در متغیر میانگین سرعت مرکز فشار در جهت قدامی–خلفی نشان داد اثر اصلی عامل دشواری تکلیف شناختی ($F(۱و۱۹) =۱/۲۷$، $P =۰/۲۸$، $\eta^2 =۰/۰۶$) معنادار نبود، اما اثر اصلی عامل صدای گفتاری ($F(۱و۱۹) =۹/۹$، $P =۰/۰۰۶$، $\eta^2 =۰/۳۶$) و اثر تعاملی آنها ($F(۱و۱۹) =۶/۱۲$، $P =۰/۰۳$، $\eta^2 =۰/۲۱$) معنادار بود. به‌دلیل معنادار شدن اثر تعاملی، برای مقایسه‌های زوجی از دستور syntax استفاده شد. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی تفاوت معناداری را بین شرایط مختلف نشان نداد.

جدول ۲. مقایسه‌های زوجی متغیرهای مرکز فشار در شرایط مختلف

شرایط		P		
		پراکندگی	مساحت بیضی	میانگین سرعت
تکلیف شناختی آسان پاسخ کلامی پایانی	تکلیف شناختی دشوار پاسخ کلامی پایانی	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۳۱
تکلیف شناختی آسان پاسخ کلامی همزمان	تکلیف شناختی دشوار پاسخ کلامی همزمان	۰/۱۳	۰/۰۰۱	۰/۲
تکلیف شناختی آسان پاسخ کلامی پایانی	تکلیف شناختی آسان پاسخ کلامی همزمان	۰/۴۴	۰/۷	۰/۱۶
تکلیف شناختی دشوار پاسخ کلامی پایانی	تکلیف شناختی دشوار پاسخ کلامی همزمان	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۷

بحث و نتیجه‌گیری

هدف تحقیق حاضر بررسی اثر دشواری تکلیف شناختی و صدای گفتاری بر کنترل قامت در تکلیف ایستادن روی سطح زمین بود. یکی از فرض‌های مطالعه این بود که دشواری تکلیف شناختی به افزایش کنترل قامت منجر می‌شود. از طرفی پاسخ کلامی همزمان به کاهش کنترل قامت منجر می‌شود و این دو عامل در تعامل یکدیگر نوسان قامت را تحت تأثیر قرار می‌دهند. نتایج نشان داد تکلیف شناختی دشوار در شرایط پاسخ کلامی پایانی موجب کاهش پراکندگی مرکز فشار (تغییرپذیری نوسان) در جهت قدامی–خلفی و مساحت بیضی مرکز فشار شد، درحالی‌که در شرایط پاسخ کلامی همزمان به افزایش پراکندگی مرکز فشار منجر شد. همچنین در شرایط پاسخ کلامی همزمان تکلیف شناختی دشوار موجب تفاوت معناداری در پراکندگی مرکز فشار نسبت به تکلیف شناختی آسان نشان نشد.

نتایج افزایش کنترل قامت در حضور تکلیف شناختی دشوار با پاسخ کلامی پایانی می‌تواند با ادبیات تحقیقی کانون توجه و پردازش خودکار بررسی شود. تحقیقات پوسکایا و همکاران (۲۰۱۵)، ریچر و لاجویی[1] (۲۰۲۰) و آمانت[2] و همکاران (۲۰۲۰) افزایش کنترل قامت را در حضور تکلیف شناختی نشان دادند. با توجه به اینکه در رویکردهای خطی کاهش تغییرپذیری نوسان قامت نشان‌دهندۀ کنترل قامت بهتر است، افزایش کنترل قامت در حضور تکلیف شناختی می‌تواند مربوط به استفاده از فرایندهای کنترل خودکار باشد (ریچر و لاجویی، ۲۰۲۰).

1. Richer & Lajoie
2. Amant

به‌عبارت دیگر در الگوی تکلیف دوگانه، تکلیف شناختی به سهم بزرگ‌تری از ظرفیت توجه نیاز دارد و در نتیجه به دور کردن توجه از تکلیف قامتی منجر می‌شود، بنابراین پردازش خودکار اجازه دارد تا تنظیمات قامت را بدون محدودیت و از طریق فرایندهای غیرهشیار، سریع و بازتابی به‌صورت کارامدتری انجام دهد (آمانت و همکاران، ۲۰۲۰؛ ولف و همکاران، ۲۰۰۱). این استدلال در مطالعات کانون توجه و کنترل قامت هم دیده می‌شود؛ انتقال توجه به سمت حرکات بدن (کانون توجه درونی) موجب تداخل با فرایندهای کنترل حرکتی که مسئول تنظیم حرکت هستند می‌شود، درحالی‌که انتقال توجه به سمت اثرات حرکت (کانون توجه بیرونی) به کاهش تداخل با فرایندهای کنترلی و ارتقای کنترل خودکار قامت منجر می‌شود (پولسکایا و همکاران، ۲۰۱۵؛ ریچر و همکاران، ۲۰۱۷). در پژوهش حاضر تکلیف شناختی دشوار نسبت به تکلیف شناختی آسان به افزایش کنترل قامت منجر شد. از آنجایی که اگر دشواری و نیاز توجهی تکلیف شناختی کم باشد، نمی‌تواند توجه را از تکلیف قامتی دور کند و در نتیجه کنترل قامت به‌صورت خودکارتر اجرا شود (پولسکایا و لاجویی، ۲۰۱۶)، به‌نظر می‌رسد احتمالاً نیازهای شناختی بیشتر تکلیف دشوار توانسته منابع توجهی ایستادن روی سطح زمین را بیشتر درگیر کند و در نتیجه توجه را از تکلیف قامتی دور کند. از طرفی نتایج تحقیق حاضر ناهمخوان با تحقیق بارا[1]و همکاران (۲۰۰۶)، وندر[2]و همکاران (۲۰۰۸) و مونتسینوس و همکاران (۲۰۲۰) بود که نشان دادند نوسان قامت در حضور تکلیف شناختی همزمان با اجرای تکلیف قامتی دشوار افزایش یافت. تکلیف قامتی بارا و همکاران (۲۰۰۶) ایستادن به‌صورت یک پا جلو و یک پا عقب روی چوب موازنه با ۳ سطح دشواری (عرض چوب موازنه: ۲، ۳ و۶ سانتی‌متر) بود. همچنین وندر و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیق خود از تکلیف قامتی یک پا جلو و یک پا عقب استفاده کردند. مونتسینوس و همکاران افزایش نوسان قامت را در اجرای تکلیف شمارش معکوس در حین ایستادن روی یک پا نشان دادند. وجه اشتراک این سه مطالعه ۱. انتخاب تکلیف قامتی بسیار دشوار است که شاید به نیازهای شناختی بسیار زیادی نیاز دارند، ۲. تکلیف شناختی در این مطالعات نیاز به پاسخ کلامی همزمان داشت.

از طرفی نتایج این تحقیق در شرایط تکلیف شناختی دشوار همراه با پاسخ کلامی همزمان به کاهش کنترل قامت منجر شد. این نتیجه با پژوهش‌های پلژیا[3](۲۰۰۳)، سیت و همکاران (۲۰۱۴) و منگ[4]و همکاران (۲۰۱۹) که کاهش کنترل قامت را در حضور تکلیف شناختی گزارش کردند، همراستاست. وجه اشتراک تحقیق حاضر و این مطالعات مربوط به پاسخ کلامی به تکلیف شناختی همزمان با اجرای تکلیف قامتی است، درحالی‌که در تحقیق حاضر شرکت‌کننده‌ها پاسخ کلامی به تکلیف شناختی را پس از هر کوشش ارائه می‌کردند. عامل اصلی افزایش نوسان قامت در این سه مطالعه را می‌توان صدای گفتاری[5]یا همان پاسخ کلامی به تکلیف شناختی در حین اجرای یک کوشش ذکر کرد و دلیل آن درگیری مراکز بالاتر حرکتی در حین صحبت کردن است که به تداخل مرکزی با کنترل قامت منجر می‌شود. بازخورد شنیداری حاصل از صدای گفتاری نیز می‌تواند موجب ایجاد تداخل شود (قایی و همکاران، ۲۰۱۷).

یکی دیگر از نتایج جالب این تحقیق تفاوت اثر صدای گفتاری در دو شرایط تکلیف شناختی آسان و دشوار است، زیرا کنترل قامت هنگام اجرای تکلیف شناختی آسان بین دو شرایط پاسخ کلامی همزمان و پایانی تفاوت معناداری نداشت، درحالی‌که این تفاوت هنگام اجرای تکلیف شناختی دشوار دیده شد. این نتایج نشان‌دهندهٔ اثرات تعاملی دو عامل دشواری تکلیف شناختی و صدای گفتاری است؛ یعنی اثر عامل صدای گفتاری صرفاً زمانی دیده می‌شود که تکلیف شناختی دشوار باشد. همچنین در نتایج دیده شد، پاسخ کلامی همزمان به کاهش کنترل قامت در شرایط تکلیف شناختی دشوار منجر شد، اما در شرایط پاسخ کلامی پایانی افزایش کنترل قامت دیده شد. این نتیجه هم تأییدی بر اثر تعاملی این دو عامل است و نشان می‌دهد که پاسخ کلامی همزمان اثر مثبت تکلیف شناختی دشوار را خنثی می‌کند. به‌طور کلی می‌توان گفت توجه نکردن به اثرات تعاملی این دو عامل می‌تواند از دلایل مهم ایجاد نتایج متناقض در ادبیات شناخت و قامت باشد.

1. Barra
2. Vander
3. Pellecchia
4. Meng
5. Articulation

به‌طور کلی می‌توان گفت تکلیف شناختی دشوار با پاسخ کلامی پایانی موجب افزایش کنترل قامت شد و این اتفاق حاصل دور کردن توجه از تکلیف قامتی و کنترل خودکارتر و کارآمدتر قامت است. از طرفی پاسخ کلامی همزمان به کاهش کنترل قامت انجامید که حاصل تداخل مراکز عصبی درگیر در دو تکلیف است. همچنین نتایج این تحقیق اثرات تعاملی دو عامل دشواری تکلیف شناختی و صدای گفتاری را به‌خوبی نشان داد. بنابراین توصیه می‌شود در طراحی مداخلات مناسب برای بهبود کنترل قامت به نیازهای شناختی متفاوت تکالیف شناختی و همچنین اثرات تعاملی دشواری تکلیف شناختی و پاسخ کلامی همزمان توجه شود. همچنین پیشنهاد می‌شود تحقیقی مشابه ولی با استفاده از متغیرهای رویکردهای غیرخطی چون انتروپی[1] به‌منظور بررسی این عوامل انجام گیرد، زیرا رویکردهای خطی بهبود کنترل قامت را صرفاً در کاهش نوسان قامت می‌دانند و افزایش در نوسان را به‌عنوان کاهش کنترل قامت در نظر می‌گیرند، درحالی‌که رویکردهای غیرخطی از متغیرهای دیگری چون انتروپی استفاده می‌کنند و به بررسی پیچیدگی نوسان قامت می‌پردازند و علاوه‌بر توجه به افزایش یا کاهش نوسان قامت، افزایش یا کاهش اطلاعات موجود در نوسان را شاخص کنترل قامت در نظر می‌گیرند.

تقدیر و تشکر

از دانشجویان دانشگاه شهید بهشتی که در این تحقیق شرکت کردند و همچنین از شرکت بنیان صنعت نوین میلاش (BNS) که طراحی نرم‌افزار نمایش تکلیف شناختی را به عهده داشت، صمیمانه سپاسگزاریم.

References

Barra, J., Bray, A., Sahni, V., Golding, J. F., & Gresty, M. A. (2006). Increasing cognitive load with increasing balance challenge: recipe for catastrophe. *Experimental brain research, 174*(4), 734-745.

Brauer, S., Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). The influence of a concurrent cognitive task on the compensatory stepping response to a perturbation in balance-impaired and healthy elders. *Gait & posture, 15*(1), 83-93.

Ceyte, H., Lion, A., Caudron, S., Kriem, B., Perrin, P. P., & Gauchard, G. C. (2014). Does calculating impair postural stabilization allowed by visual cues? *Experimental brain research, 232*(7), 2221-2228.

Cruz-Montecinos, C., Carrasco, J. J., Guzmán-González, B., Soto-Arellano, V., Calatayud, J., Chimeno-Hernández, A., . . . Pérez-Alenda, S. (2020). Effects of performing dual tasks on postural sway and postural control complexity in people with haemophilic arthropathy. *Haemophilia, 26*(3), e81-e87.

Donker, S. F., Roerdink, M., Greven, A. J., & Beek, P. J. (2007). Regularity of center-of-pressure trajectories depends on the amount of attention invested in postural control. *Experimental brain research, 181*(1), 1-11.

Ghai, S., Ghai, I., & Effenberg, A. O. (2017). Effects of dual tasks and dual-task training on postural stability: a systematic review and meta-analysis. *Clinical interventions in aging, 12*, 557.

Horak, F. B., & Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of neurophysiology, 55*(6), 1369-1381.

Hunter, M. C., & Hoffman, M. A. (2001). Postural control: visual and cognitive manipulations. *Gait & posture, 13*(1), 41-48.

Huxhold, O., Li, S.-C., Schmiedek, F., & Lindenberger, U. (2006). Dual-tasking postural control: aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain research bulletin, 69*(3), 294-305.

Kejonen, P., Kauranen, K., Ahasan, R., & Vanharanta, H. (2002). Motion analysis measurements of body movements during standing: association with age and sex. *International journal of rehabilitation research, 25*(4), 297-304.

1. Entropy

Lanzarin, M., Parizzoto, P., Libardoni, T. d. C., Sinhorim, L., Tavares, G. M. S., & Santos, G. M. (2015). The influence of dual-tasking on postural control in young adults. *Fisioterapia e Pesquisa, 22*(1), 61-68.

Maylor, E. A., & Wing, A. M. (1996). Age differences in postural stability are increased by additional cognitive demands. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 51*(3), P143-P154.

Meng, H.-J., Luo, S.-S., & Wang, Y.-G. (2019). The interplay between cognitive tasks and vision for upright posture balance in adolescents. *PeerJ, 7*, e7693.

Mitra, S. (2003). Postural costs of suprapostural task load. *Human movement science, 22*(3), 253-270.

Pellecchia, G. L. (2003). Postural sway increases with attentional demands of concurrent cognitive task. *Gait & posture, 18*(1), 29-34.

Polskaia, N., & Lajoie, Y. (2016). Reducing postural sway by concurrently performing challenging cognitive tasks. *Human movement science, 46*, 177-183.

Polskaia, N., Richer, N., Dionne, E., & Lajoie, Y. (2015). Continuous cognitive task promotes greater postural stability than an internal or external focus of attention. *Gait & posture, 41*(2), 454-458.

Potvin-Desrochers, A., Richer, N., & Lajoie, Y. (2017). Cognitive tasks promote automatization of postural control in young and older adults. *Gait & posture, 57*, 40-45.

Richer, N., & Lajoie, Y. (2020). Automaticity of postural control while dual-tasking revealed in young and older adults. *Experimental aging research, 46*(1), 1-21.

Richer, N., Saunders, D., Polskaia, N., & Lajoie, Y. (2017). The effects of attentional focus and cognitive tasks on postural sway may be the result of automaticity. *Gait & posture, 54*, 45-49.

Shafizadeh, M., Parvinpour, S., Balali, M., & Shabani, M. (2020). Effects of age and task difficulty on postural sway, variability and complexity. *Adaptive Behavior*, 1059712320963974.

Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. (2000). Attentional demands and postural control: the effect of sensory context. *Journals of Gerontology-Biological Sciences and Medical Sciences, 55*(1), M10.

Siu, K.-C., & Woollacott, M. H. (2007). Attentional demands of postural control: the ability to selectively allocate information-processing resources. *Gait & posture, 25*(1), 121-126.

St-Amant, G., Rahman, T., Polskaia, N., Fraser, S., & Lajoie, Y. (2020). Unveilling the cerebral and sensory contributions to automatic postural control during dual-task standing. *Human movement science, 70*, 102587.

Stins, J. F., & Beek, P. J. (2012). A critical evaluation of the cognitive penetrability of posture. *Experimental aging research, 38*(2), 208-219.

Stins, J. F., Roerdink, M., & Beek, P. J. (2011). To freeze or not to freeze? Affective and cognitive perturbations have markedly different effects on postural control. *Human movement science, 30*(2), 190-202.

Stoffregen, T. A., Hove, P., Bardy, B. G., Riley, M., & Bonnet, C. T. (2007). Postural stabilization of perceptual but not cognitive performance. *Journal of motor behavior, 39*(2), 126-138.

Swan, L., Otani, H., & Loubert, P. V. (2007). Reducing postural sway by manipulating the difficulty levels of a cognitive task and a balance task. *Gait & posture, 26*(3), 470-474.

Vander Velde, T., & Woollacott, M. (2008). Non-visual spatial tasks reveal increased interactions with stance postural control. *Brain research, 1208*, 95-102.

Wulf, G., McNevin, N., & Shea, C. H. (2001). The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 54*(4), 1143-1154.

Yardley, L., Gardner, M., Bronstein, A., Davies, R., Buckwell, D., & Luxon, L. (2001). Interference between postural control and mental task performance in patients with vestibular disorder and healthy controls. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, 71*(1), 48-52.