Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

July and August 2023. Volume 12. Num 3

Research Paper

Offline Learning in Children: Effect of Night-time Sleep and Wakefulness on Memory Consolidation Under a Complex Motor Task

Hamideh Iranmanesh[1], *Alireza Saberi Kakhki[1], Hamidreza Taheri[1], Charles H. Shea[2], Hesam Iranmanesh[1]

1. Department of Motor Behavior and Sports Management, Faculty of Sport Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Department of Health and Kinesiology, Texas A&M University, College Station, Texas, United States.

Use your device to scan and read the article online

Citation Iranmanesh H, Saberi Kakhki A, Taheri H, Charles H. Shea, Hesam Iranmanesh. [Offline Learning in Children: The Effect of Night Sleep and Wakefulness on Memory Consolidation of a Complex Motor Task (Persian)]. J Rehab Med. . Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2023; 12(3):534-549. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.3.11

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.3.11

CC BY NC

ABSTRACT

Background and Aims Sleep after a new sequence memory training can enhance the explicit memory in children. However, children's sleep-dependent motor memory consolidation particularly in implicit complex sequence tasks is unclear. Therefore, this study aims to investigate the role of night-time sleep and wakefulness on children's motor memory consolidation following an implicit complex task.

Methods In the current study, 26 boys aged 9-12 years were randomly assigned in two groups of sleep and awake. Acquisition phase included 10 blocks of 96 trials. The sleep group performed initial training at 8 (±1) PM while the awake group performed it at 8 (±1) AM by using the dynamic arm movement task. The participants were not aware of the sequence order. After training, the children's performance was tested after 12 hours.

Results The results of 2×2 Mixed ANOVA in the consolidation phase showed the significant main effect of block on response time (P=0.000) and prediction error (P=0.023). However, the interaction effect of block and group were not significant on response time (P=0.566) and prediction error (P=0.887).

Conclusion The sequence memory consolidation in children under an implicit complex task can be improved offline regardless of having sleep between training and test sessions. Hence, sleep is not necessary for offline enhancement of motor sequence skills. Passage of time is effective for improvement in dynamic arm movement task. Therefore, the role of sleep in offline learning of motor skills depends on the nature of the task used in training.

Keywords Memory consolidation, Complex task, Motor sequence, Sleep, Offline learning

Received: 01 Jul 2021
Accepted: 17 Jul 2023
Available Online: 23 Jul 2023

Corresponding Author:
Alireza Saberi Kakhki
Address: Department of Motor Behavior and Sports Management, Faculty of Sport Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
Tel: +98 (51) 38805418
E-Mail: askakhki@um.ac.ir

Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

Extended Abstract

Introduction

Memory consolidation includes latent processes that become integrated and strong after training during the quiet and rest period to change the unstable short-term memory into stable long-term memory over time. In such processes, learning happens implicitly, without any practice or experience, usually after sleep. In literature, the role of sleep in the consolidation of explicit (declarative) memory and implicit (non-declarative) memory in adults has been reported. However, few studies have conducted on children. These studies showed that the role of sleep in motor skills depends on the nature and demands of the task. Sleep after learning an explicit motor sequence skill results in enhancement of children's explicit memory. However, children's sleep-dependent motor memory consolidation particularly in implicit motor sequence tasks is unclear. Therefore, this study aims to investigate the role of night-time sleep and wakefulness on children's motor memory consolidation under an implicit complex task.

Materials and Methods

In the current study, participants were 26 boys aged 9–12 years, randomly assigned in two groups of sleep and awake. Acquisition phase included 10 blocks of 96 trials. Children in the sleep group performed initial training at 8 (±1) pm and the wake group performed it at 8 (±1) am. To evaluate the implicit sequence memory, dynamic arm movement task was used. In this task, participants produced the sequences by moving a lever with their right hand to sequentially presented target on the screen. The participants were not aware of sequence order. Children's performance was tested after 12 hours. The consolidation phase included one block of 96 trails. MATLAB software was used for data processing, and SPSS software, version 22 for statistical analysis. The experimental variables were response time and prediction error. For analyzing data in the acquisition and consolidation phases, 2×10 and 2×2 Mixed ANOVA were used.

Results

The results in the acquisition phase showed significant differences between the means of response time and prediction error in 10 blocks ($P<0.05$). However, the interaction effect of block and group was not significant on any variables ($P>0.05$). Therefore, general improvement in acquisition phase occurred similarly in the sleep and awake groups. The results of analysis for the sequence-specific learning memory showed the significant main effect of block (Block 9 and the average of blocks 8 and 9) on both response time and prediction error ($P<0.05$), which were significantly higher in the Block 9 than in the average of Blocks 8 and 10. However, the interaction effect of block and group was not significant on any variables ($P>0.05$).

The results in the consolidation phase indicated the significant effect of block on response time and prediction error ($P<0.05$) which were significantly lower in the block 11 (Testing block) after 12 hours than in the last block (Block 10) of the acquisition phase. Therefore, offline learning and consolidation between training and testing sessions were occurred in children. However, the interaction effect of block and group was not significant on any variables ($P>0.05$).

Conclusion

The findings indicated that online learning in the acquisition phase and offline learning and memory consolidation occurred in children following an implicit complex task (dynamic arm movement task). The sleep and awake groups showed similar improvement. Therefore, improvement in children's performance in an implicit motor task is not only due to the result of practice and training. Such improvement can also occur after training without consciousness and attention (even during night-time sleep). Therefore, passage of time is an essential factor for improvement in the dynamic arm movement task. In conclusion, sleep after training a complex skill is not the only effective factor in sequence memory consolidation; it also depends on the nature of task.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles such as obtaining informed consent from the participants, confidentiality of their information, and allowing them to leave the study at any time were considered in this study. Ethical approval was obtained from the Research Ethics Committee of Ferdowsi University of Mashhad (Code: IR.MUM.FUM.REC.1397.11).

Funding

This study was extracted from the PhD thesis Hamideh Iranmanesh approved by the Department of Motor Behavior and Sports Management, Ferdowsi University of Mashhad. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

The authors contributed equally to preparing this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank all participants in this study for their cooperation.

مقاله پژوهشی

یادگیری خاموش در کودکان: تأثیر خواب شبانه و بیداری بر تحکیم حافظه یک تکلیف حرکتی پیچیده

حمیده ایرانمنش[۱]، *علیرضا صابری کاخکی[۱]، حمیدرضا طاهری[۱]، چارلز اچ. شی[۴]، حسام ایرانمنش[۱]

۱. گروه رفتار حرکتی و مدیریت ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۴. گروه حرکت شناسی و سلامت، دانشگاه تگزاس ای اند ام، تگزاس، آمریکا.

Use your device to scan and read the article online

Citation Iranmanesh H, Saberi Kakhki A, Taheri H, Charles H. Shea, Hesam Iranmanesh. [Offline Learning in Children: The Effect of Night Sleep and Wakefulness on Memory Consolidation of a Complex Motor Task (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2023; 12(3):534-549. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.3.11

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.3.11

CC BY

چکیده

مقدمه و اهداف خواب بعد از تمرین یک مهارت توالی‌دار جدید، باعث بهبود حافظه آشکار در کودکان می‌شود، اما تحکیم حافظه حرکتی وابسته به خواب در کودکان، خصوصاً در تکالیف توالی‌دار پیچیده ضمنی مبهم و بحث برانگیز است. بنابراین، هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی نقش خواب شبانه و بیداری در تحکیم حافظه حرکتی کودکان در تکلیف پیچیده ضمنی بوده است.

مواد و روش‌ها در تحقیق حاضر، ۲۶ کودک داوطلب پسر (۹-۱۲ سال) به‌طور تصادفی به دو گروه خواب و بیداری تقسیم شدند. جلسه اکتساب شامل ۱۰ بلوک ۹۶ کوششی بود. گروه خواب، تمرین اولیه را در ساعت ۲۰(±۱) شب و گروه بیداری در ساعت ۸(±۱) صبح با استفاده از تکلیف حرکتی بازوی دینامیک انجام دادند. شرکت‌کنندگان هیچ آگاهی در مورد ترتیب توالی‌ها نداشتند. پس از جلسه تمرین، عملکرد کودکان بعد از ۱۲ ساعت مورد آزمون قرار گرفت.

یافته‌ها تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در مرحله تحکیم با استفاده از تحلیل واریانس مختلط ۲×۲ نشان داد اثر بلوک در زمان پاسخ اجزا (P=۰/۰۰۰) و خطای پیش‌بینی (P=۰/۰۲۳) معنادار بوده است، اما اثر تعاملی بلوک و گروه در هر دو متغیر زمان پاسخ اجزا (P=۰/۵۶۶) و خطای پیش‌بینی (P=۰/۸۸۷) معنادار نبوده است.

نتیجه‌گیری یافته‌ها نشان دادند تحکیم حافظه توالی حرکتی یک تکلیف پیچیده ضمنی به‌طور پنهان بهبود می‌یابد، بدون در نظر گرفتن این موضوع که شرکت‌کنندگان بین جلسه تمرین و آزمون، خواب شبانه را تجربه کرده‌اند یا خیر. بنابراین، خواب در بهبود پنهان همه مهارت‌های توالی حرکتی ضروری نمی‌باشد و گذر زمان در تحکیم تکلیف حرکتی بازوی دینامیک مؤثر است. بدین ترتیب سهم خواب در یادگیری خاموش مهارت‌های حرکتی وابسته به ماهیت تکلیف مورد استفاده در تمرین می‌باشد.

کلیدواژه‌ها تحکیم حافظه، تکلیف پیچیده، توالی حرکتی، خواب، یادگیری خاموش

تاریخ دریافت: ۱۰ تیر ۱۴۰۰
تاریخ پذیرش: ۲۶ تیر ۱۴۰۰
تاریخ انتشار: ۰۱ مرداد ۱۴۰۲

* **نویسنده مسئول:**
علیرضا صابری کاخکی
نشانی: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم ورزشی، گروه رفتار حرکتی و مدیریت ورزشی.
تلفن: ۳۸۸۰۵۴۱۸ (۵۱) ۹۸+
رایانامه: askakhki@um.ac.ir

مقدمه

یادگیری مهارت‌های حرکتی به‌طور وسیعی در مطالعه فرایندهای اساسی کسب مهارت استفاده شده است [۱]. مطالعات تصویربرداری و رفتاری نشان داده‌اند یادگیری یک مهارت حرکتی، حداقل در دو مرحله مجزا اتفاق می‌افتد. مرحله یادگیری سریع که در طول دوره تمرین و یا بلافاصله بعد از آن حاصل می‌شود که از آن تحت عنوان یادگیری آنلاین یا همزمان یاد می‌شود و مرحله یادگیری پنهان آهسته، یادگیری با تأخیر که در فواصل زمانی بین جلسات تمرینی و بعد از تمرین ایجاد می‌شود که شامل فرایندهای تحکیم حافظه می‌باشد [۲]. تحکیم حافظه، مجموعه‌ای از فرآیندهای پنهان است که بعد از تمرین در طول دوره خاموش (دوره بی‌تمرینی) و استراحت به صورتی قوی و یکپارچه تبدیل می شود تا با گذر زمان حافظه را از وضعیت ناپایدار و کوتاه‌مدت تبدیل به وضعیت پایدار و بلندمدت کند. این امر می‌تواند منجر به تثبیت و بهبود عملکرد در آینده بدون دخالت تمرین شود [۲، ۳]. ازنظر رفتاری& تحکیم به‌عنوان پیشرفت در عملکرد بین جلسات تمرین و یا مقاوم شدن در مقابل تداخل پس‌گستر خود را نشان می‌دهد.

بنابراین تحکیم در ارتباط با دو مرحله رفتاری متوالی تثبیت (حفظ عملکرد رفتاری) و بهبود حافظه (یادگیری خاموش) می‌باشد. فرایند یادگیری خاموش که مرحله دوم تحکیم می‌باشد، با تغییرات ساختاری و سیناپسی در مغز همراه است و معمولاً یادگیری بهتر بدون هر گونه تمرین یا تجربه و به‌صورت پنهان بعد از خواب صورت می‌گیرد [۴]. مطالب پی‌گفت، موافق با نظریات تحکیم سیستم فعال، تحکیم اطلاعات خواب، فرضیه فرایند دوگانه و فرضیه هموستاز سیناپسی می‌باشد که بیان می‌کنند بازنمایی‌های مهارت رمزگذاری‌شده جدید مکرراً به‌طور فعال در طول خواب دوباره پردازش می‌شود و باعث سازماندهی مجدد و تثبیت بلندمدت بازنمایی‌های حافظه مربوطه می‌شود. بنابراین چنان‌چه فراگیران، خواب را بعد از تمرین تجربه کنند، عملکردشان در روز بعد به‌واسطه تحکیم اطلاعات یادگرفته‌شده بهتر می‌شود [۵-۸].

مطالعات نشان دادند خواب نقش مهمی در یادگیری مهارت‌های حرکتی خصوصاً مهارت‌های توالی‌دار حرکتی ایفا می‌کند. اکتساب توالی‌های حرکتی، از موضوعات مورد توجه در حیطه رفتار حرکتی است که اغلب بدون تمایل، توجه و آگاهی فرد برای یادگیری و تنها از طریق اجرای تکراری یک الگوی متوالی آموخته می‌شوند. یادگیری توالی‌های حرکتی طبقه خاصی از حافظه را با عنوان حافظه حرکتی ضمنی به خود اختصاص می‌دهد [۹، ۱۰]. بسیاری از تحقیقات نشان داده‌اند عملکرد توالی حرکتی فرد در فاصله تمرین و آزمون (دوره بی‌تمرینی) زمانی که توأم با خواب باشد، پیشرفت بیشتری را نسبت به گذر زمان دارد [۲، ۷، ۱۱، ۱۲]. بنابراین این فرض صورت می‌گیرد که بهبود تحکیم همراه با دوره‌های خواب است، زیرا مغز در حالت خواب نقش مهمی در فرایند شکل‌گیری حافظه و یادگیری تکالیف توالی‌دار حرکتی ایفا می‌کند [۶، ۷، ۱۳، ۱۴]. درحقیقت، خواب در فرایند بهبود تحکیم مهارت‌های توالی‌دار حرکتی از دوران کودکی تا بزرگسالی بسیار کاربرد دارد [۱۵، ۱۶]، به‌طوری‌که مطابق با فرضیه توالی، فرایند بهبود یادگیری حافظه توالی‌دار به دنبال خواب اولیه نیمه‌شب و خواب با تأخیر (نیمه دوم شب) ایجاد می‌شود. نیمه اول شب به‌طور معمول در ارتباط با خواب با موج آهسته[1] که عمیق‌ترین مرحله خواب آرام است، می‌باشد و نیمه دوم شب تحت تأثیر خواب با حرکت سریع چشم[2] می‌باشد [۵].

پژوهش‌ها در حیطه افراد جوان و بزرگسال، نقش خواب شبانه را در بهبود پنهان حافظه آشکار (اخباری، به‌خاطرآوری اطلاعات به روش آگاهانه) و ضمنی (غیراخباری) تأیید می‌کنند [۲، ۵، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۱۸]، اما باتوجه‌به اینکه خواب نقش ضروری در رشد هیجانی، رفتاری، شناختی، سیستم حسی و حرکتی و یادگیری کودکان دارد؛ باوجوداین اطلاعات کمی در مورد تأثیر خواب در فرایند تحکیم حافظه در دوران کودکی وجود دارد [۱، ۵، ۱۹، ۲۰]. پژوهش‌ها در حیطه کودکان نشان داده‌اند خواب فرایند تحکیم حافظه آشکار را بعد از تمرین تسهیل می‌کند، اما تأثیر خواب و گذر زمان در تحکیم حافظه ضمنی که مهارت‌های توالی‌دار حرکتی جزئی از آن‌ها هستند، هنوز نامشخص و بحث برانگیز است [۵، ۲۱-۲۳].

برخی محققان عنوان کردند که عواملی دیگری علاوه‌بر نقش سن در تأثیرپذیری خواب و بهبود متعاقب آن در تکالیف توالی‌دار مؤثر می‌باشند [۲، ۱۴، ۱۵، ۲۴، ۲۵]، به‌طوری‌که بوراگان و همکاران و دویان و همکاران یادگیری خاموش مهارت‌های رویه‌ای را هم وابسته به سن دانستند و هم نیازها و ماهیت تکلیف. [۲۵, ۱۵] جاناسک و نمت نیز ماهیت تکلیف را در بهبود تحکیم مؤثر دانستند [۱۴].

باتوجه‌به تحقیقات پیش‌گفت، نوع تکلیف نیز در کنار سن، عاملی تعیین‌کننده در مستقل و یا وابسته بودن خواب در تحکیم حافظه می‌باشد. به‌گونه‌ای‌که ویلهلم و همکاران در مقایسه بهبود وابسته به خواب در حافظه ضمنی (تکلیف ضربه زدن با انگشت) و آشکار (مکان‌یابی شی دو بعدی و جفت کردن کلمات) کودکان زیر ۸ سال دریافتند که پیشرفت عملکرد بعد از خواب شبانه تنها در تکالیف مربوط به حافظه آشکار صورت گرفت [۲۱]. بوت و همکاران و پرهن-کریستنسن و همکاران نشان دادند عملکرد کودکان و نوجوانان در تکالیف سازگاری حرکتی درشت و ردیابی آینه بهبود یافت، اما وابسته به خواب نبوده است.[۱۶،

1. Slow Wave Sleep (SWS)
2. Rapid Eye Movement (REM)

[۲۲]. فیشر و همکاران پیشرفتی را پس از دوره خواب در حافظه ضمنی کودکان در مقایسه با بزرگسالان در تکلیف زمان واکنش زنجیره‌ای نشان ندادند [۲۴]. ایرانمنش و همکاران نیز به نتایج مشابهی رسیدند و صرف‌نظر از خواب و یا بیداری، گذر زمان را در تحکیم و انتقال توالی حرکتی کودکان مؤثر دانستند [۲۰].

با در نظر گرفتن مطالب سطور قبل، یافته‌ها نشان می‌دهند بهبود حافظه حرکتی در کودکان وابسته به خواب نیست، اما تحقیقات دیگر، خواب شبانه را بعد از رمزگذاری یک مهارت حرکتی جدید در تحکیم حافظه کودکان همانند بزرگسالان مفید دانستند [۱۱، ۱۷، ۱۹، ۲۳، ۲۶-۲۸]. سوگاوارا و همکاران و ویلهلم و همکاران خواب کودکان زیر ۱۲ سال را همانند بزرگسالان در ارتباط با بهبود تکلیف توالی حرکتی دانستند. [۱۹، ۲۸]. چو و همکاران نیز یافته‌های مشابهی را در نوجوانان گزارش دادند [۱۷]. آشورث و همکاران خواب را عاملی مهم در بهبود تحکیم هر دو حافظه آشکار و ضمنی در کودکان دانستند [۲۷]. دورف برگر و همکاران و پیفر و همکاران سودمندی‌های بعد از دوره خواب را در تکلیف ضربه زدن با انگشت و تکلیف حافظه آشکار در کودکان و نوجوانان گزارش کردند [۲۳، ۲۶]. علاوه‌براین وان آبسوده و همکاران در بررسی ظرفیت حافظه‌کاری در یادگیری ضمنی و آشکار کودکان دریافتند که پس از دوره بی‌تمرینی، بهبود تنها در مؤلفه دقت در هر دو نوع یادگیری در یک تکلیف توالی‌دار اتفاق افتاد [۱۱]. همچنین بلیسکه و مالانگر بهبود تکالیف حرکتی پیچیده درشت را در بزرگسالان جوان وابسته به خواب دانستند [۷]. لوگاسی و همکاران نیز دریافتند بهبود مهارت پیچیده‌ای چون شبیه‌ساز دندان با یک تأخیر زمانی ۲۴ ساعت رخ می‌دهد [۱۲].

باتوجه‌به شواهد متناقض، تحکیم مبتنی بر خواب در حافظه توالی حرکتی ضمنی کودکان همانند بزرگسالان مشخص نیست و تحقیقات اندکی عوامل مؤثر بر تحکیم مبتنی بر خواب آنان ازجمله ماهیت تکلیف را بررسی کرده‌اند. پژوهش‌های انجام‌شده در حیطه کودکان اکثراً بر روی تکالیف ساده بوده است، درحالی‌که رابطه خواب و تحکیم حافظه در تکالیف توالی‌دار پیچیده در دوره کودکی مشخص نشده است [۵]. این در حالی است که اکثر مهارت‌های حرکتی که در طول زندگی به دست می‌آوریم، پیچیده‌اند. بنابراین درک و فهم تفاوت‌های بالقوه در یادگیری وابسته به خواب در طیفی از پیچیدگی مهارت‌های حرکتی امری لازم می‌باشد [۱۶]. علاوه‌براین در تحقیقات گذشته از تکالیفی استفاده شد که از اجزای حرکتی پایینی برخوردار بودند و ماهیتاً جنبه شناختی و آشکار داشته‌اند که فرد از قواعد اجرای تکلیف قبل از شروع تمرین آگاه بوده است، اما تکلیف مورد استفاده در تحقیق حاضر، یک تکلیف توالی‌دار حرکتی پیچیده بود که برای ارزیابی یادگیری ضمنی مناسب می‌باشد، زیرا به‌دلیل ماهیت دشوار این تکلیف، تشخیص توالی به مراتب سخت‌تر از انواع تکالیف ساده مورد استفاده دیگر بود و باتوجه‌به استفاده از حرکات خم شدن و باز شدن دست، نیازهای حرکتی بیشتری نسبت به انواع تکالیف گذشته دارد [۲۹]؛ بنابراین در تحقیق حاضر هدف محققان، بررسی یادگیری خاموش و تحکیم حافظه حرکتی وابسته به خواب کودکان در یک تکلیف توالی پیچیده ضمنی بوده است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از منظر گردآوری داده‌ها جزء تحقیقات کمی و از نوع نیمه‌آزمایشی بوده است. از بین جامعه کودکان پسر ۹ تا ۱۲ سال شهر کرمان، ۳۰ نفر (۰/۹۷±۱۰/۶۳) به‌صورت داوطلب انتخاب شده‌اند (نرم افزار جی‌پاور، اندازه اثر ۰/۲۰ و توان ۰/۹۵).

شرکت‌کنندگان، تجربه قبلی در مورد تکلیف نداشتند. همگی راست دست، دارای ضریب هوشی متوسط (۹۰-۱۱۴)، سلامت عمومی، خواب کافی (۷ تا ۸ ساعت)، عدم مشکلات خواب، عدم مصرف داروی خواب‌آور و دید طبیعی یا اصلاح‌شده طبیعی بوده‌اند. در این راستا، از پرسش‌نامه‌های دست برتری ادینبورگ، سلامت کودکان و عادت خواب کودکان به‌ترتیب جهت تعیین دست برتر، سلامت عمومی و عدم مشکلات خواب و از نسخه چهارم مقیاس هوش وکسلر کودکان و مچبند هوشمند شیائومی می بند-۲[3] برای بررسی هوش و میزان خواب کودکان استفاده شد [۲۰، ۲۷، ۳۰].

پس از اطمینان از سلامتی روانی و شناختی و دارا بودن معیارهای پژوهش، شرکت‌کنندگان وارد فرایند تحقیق شدند. ۲ نفر از شرکت‌کنندگان به‌دلیل بیان صحیح الگوی توالی‌دار، ۱ نفر به‌دلیل عدم خواب کافی در شب، ۱ نفر به‌دلیل خواب روزانه از تحقیق خارج شدند. نهایتاً تعداد ۲۶ کودک در تحقیق شرکت کردند. همچنین کودکان و والدین آنان فرم رضایت‌نامه آگاهانه را تکمیل کردند. روند مطالعه توسط کمیته اخلاق در پژوهش‌های زیستی دانشگاه فردوسی مشهد مورد تأیید قرارگرفته است.

ابزار پژوهش

تکلیف حرکتی بازوی دینامیک طراحی‌شده ابزاری جهت سنجش توالی‌های حرکتی است که برگرفته از ابزار پارک و شی می‌باشد [۲۹]. این ابزار شامل یک اهرم افقی و مانیتور (۴۳ اینچی) است. محور اهرم آزادانه به کمک بلبرینگ[4] می‌چرخد و به اهرم اجازه می‌دهد تا در صفحه افقی بالای سطح میز حرکت کند. اهرم در نزدیک انتهایی محور عمودی ثابت است و نزدیک به انتهای تحتانی اهرم، به دسته عمودی متصل می‌شود. موقعیت دسته به گونه‌ای تنظیم شده است تا شرکت‌کنندگان ساعد خود را به‌راحتی بر روی اهرم قرار دهند و آرنج هم‌راستا با محور

3. Xiaomi Mi Band-2
4. Ball-bearing

چرخش باشد تا بتوانند به راحتی دسته را بگیرند. محل قرارگیری دست هر فرد بر روی اهرم باتوجه‌به طول دست شرکت‌کننده قابل تنظیم بوده است [۳۱]. حرکت افقی اهرم توسط یک روتاری اینکودر افزایشی[5] که به انتهای پایین محور متصل است، کنترل می شود تا داده‌ها جهت تجزیه‌وتحلیل بعدی در کامپیوتر ذخیره شوند. یک اشاره‌گر به انتهای اهرم متصل است، به‌طوری‌که افراد بتوانند با کمک حرکات خم شدن و باز شدن بازو آن را حرکت و در درون اهداف ارائه‌شده در مانیتور قرار دهند. از سوی دیگر برای به حداقل رساندن میزان خطا در جابه‌جایی، تعدادی گیرنده نوری بر روی بدنه اصلی دستگاه و در زیر اهرم قرار داده شد تا دستگاه از کالیبریزاسیون دقیق‌تری برخوردار باشد. همچنین، اشاره‌گر دیگری به‌صورت عمود بر اهرم قرار دارد که وظیفه آن برقراری ارتباط با گیرنده‌های نوری می‌باشد. فاصله اشاره‌گر تا مانیتوری که در روبروی آن قرار دارد، حدود ۲۰ سانتی‌متر است و فاصله فرد از مانیتور حدود ۸۰ سانتی‌متر تعبیه شد (تصویر شماره ۱) [۲۹، ۳۲].

روش اجرا

شرکت‌کنندگان براساس فاصله زمانی (زمان شروع مرحله اکتساب) به‌صورت تصادفی به دو گروه آزمایش خواب و بیداری تقسیم شدند. گروه خواب، تمرین اولیه را درساعت (۱±)۲۰ شب و گروه بیداری در ساعت (۱±)۸ صبح انجام دادند [۵]. گروه خواب بعد از انجام آزمون خوابیدند، درحالی‌که کودکان در گروه بیداری اجازه خواب روزانه در ظهر را نداشتند و مجاز به دیدن تلویزیون، استفاده از تبلت و خواندن کتاب بودند. هر دو گروه، جلسه آزمون را بعد از گذشت ۱۲ساعت از مرحله اکتساب انجام دادند [۲۱، ۳۳]. برای انجام آزمون، کودکان در مقابل صفحه نمایشگر بر روی صندلی با قابلیت تنظیم ارتفاع نشستند. صندلی به گونه‌ای تنظیم شد که بازوی شرکت‌کنندگان تقریباً ۶۰ درجه نسبت به ساعد وی در موقعیت شروع قرار گرفت. دامنه حرکت برای شرکت‌کنندگان ۸۰ درجه بود. به تمامی شرکت‌کنندگان اطلاعاتی در مورد چگونگی اجرای تکلیف با بازوی دینامیک داده شد. اهداف در صفحه نمایشگر مقابل شرکت‌کنندگان قرار گرفت و کودکان با حرکات خم و باز کردن بازوی خود، اشاره‌گر را درون اهداف ارائه‌شده در صفحه نمایشگر قرار دادند [۲۹، ۳۱]

قطر اهداف تقریباً ۲ درجه از خم شدن یا باز شدن مفصل آرنج بود که از مرکز اهداف در نظر گرفته شد. ۱۰ هدف در صفحه نمایشگر نمایش داده شد، اما تنها چهار محرک (۱، ۴، ۷، ۱۰) روشن و خاموش شدند. در شروع هر بلوک از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا اهرم را در موقعیت شروع قرار دهند. زمانی‌که موقعیت شروع ایجاد شد، اهداف بر روی صفحه نمایش ظاهر شدند. صدایی کوتاه به نشانه شروع بلوک آغاز و در زمان مشابه اولین محرک نمایش داده شد [۳۲]. به تمامی شرکت‌کنندگان گفته شد که به محض مشاهده اولین محرک، اهرم را از نقطه شروع به محرک ارائه داده‌شده با سرعت، دقت و روانی ممکن حرکت دهند، اما هیچ‌گونه دستورالعملی در مورد ترتیب و تکراری بودن توالی‌ها داده نشد. پس از ضربه زدن به محرک، هدف خاموش و بلافاصله محرک بعدی نمایش داده شد. این کار تا زمانی که کل کوشش‌ها و توالی تکمیل نشد، ادامه یافت. بعد از پاسخ به آخرین هدف در هر بلوک، صدایی به نشانه اتمام بلوک به گوش رسید و نمایش محرک‌ها در صفحه نمایشگر حذف شدند [۲۹، ۳۱، ۳۲].

پروتکل تمرینی تحقیق حاضر، شامل دو جلسه اکتساب و یادداری بوده است. جلسه اکتساب شامل ۱۰ بلوک ۹۶ کوششی (۱۲ جزء توالی با ۸ تکرار) با فاصله استراحت ۱ دقیقه در بین بلوک‌ها بود که در این فاصله زمانی بازخوردی به فرد داده نمی‌شد [۳۳]. قبل از شروع جلسه اکتساب، کودکان یک بلوک تصادفی ۱۰ کوششی را جهت آشنا شدن با تکلیف انجام دادند [۲۹]. ظهور محرک‌ها به غیر از بلوک‌های اول، پنجم و نهم که به‌صورت تصادفی بودند، از یک الگو و توالی از پیش تعیین‌شده پیروی می‌کردند. ترتیب توالی مورد استفاده شامل (۱، ۴، ۷، ۴، ۱، ۴، ۱، ۴، ۷، ۱۰، ۷، ۴) بوده است که اجزا دارای فواصل مساوی ۲۰ درجه نسبت به یکدیگر بودند. جهت جلوگیری از اکتساب دانش الگو، علاوه‌بر تصادفی بودن بلوک‌ها، در تمامی بلوک‌ها ۳ کوشش اول به‌صورت تصادفی بودند که جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از تحلیل حذف شدند [۳۳]. جلسه آزمون یادداری شامل یک بلوک ۹۶ کوششی بود. طول مدت خواب و کیفیت آن در شب پس از جلسه یادگیری، با گزارش کلامی از کودکان و والدین آنان و مچ‌بند هوشمند شیائومی می بند-۲[6] مورد بررسی قرار گرفت [۵، ۳۴]. این ردیاب خواب با استفاده از حرکات بدن و مانیتور کردن تغییرات مداوم ضربان قلب در طول خواب و ثبت داده‌ها در نرم‌افزار می‌فیت[7] که بر روی گوشی تلفن همراه والدین نصب شد، جهت ردیابی و شناسایی زمان خواب کودکان استفاده شد [۲۰، ۳۴].

در پایان آزمون، دانش آشکار الگو و توالی توسط مصاحبه از کودکان و آزمون بازشناسی مورد ارزیابی قرار گرفت، تا در صورت کسب دانش و آگاهی از ترتیب کوشش‌های توالی از تحقیق حذف شوند. مصاحبه شامل سؤالاتی در مورد موقعیت محرک‌ها و پاسخ‌ها بود است. مثل « آیا شما در طول اجرای تمرین برای ظاهر شدن محرک به نظم و راهبرد خاصی توجه کرده‌اید؟» اگر جوابتان مثبت می‌باشد «از چه نوع راهبردی (سرعت و دقت) استفاده کردید؟» «آیا توپر شدن دایره‌ها از یک توالی تکراری تبعیت می‌کند. در صورت بلی. لطفا توالی را ذکر کنید.» ذکر

5. Increment rotary encoder

6. (Xiaomi Mi Band-2)
7. Mi Fit

۶ جزء توالی پشت سر هم در صورت بیان و حدس توالی، نشان‌دهنده آگاهی از دانش خاص آن توالی بوده است [۳۳]. علاوه‌براین از آزمون بازشناسی[8] جهت شناسایی دانش آشکار استفاده شد. شرکت‌کنندگان در مقابل صفحه نمایشگر نشسته، ۵ توالی متفاوت به آن‌ها نشان داده شد که فقط یکی از آن‌ها، توالی اصلی ارائه‌شده در تحقیق بوده است. پاسخ صحیح به توالی مورد نظر نشان‌دهنده آگاهی از قواعد تکلیف و دانش آشکار توالی بوده است و منجر به حذف شرکت‌کننده از تحقیق حاضر بوده است [۲۰، ۲۹].

برای ذخیره و پردازش داده‌ها از نرم‌افزار متلب[9] و برای تجزیه‌وتحلیل آماری از نسخه ۲۲ نرم‌افزار SPSS استفاده شد. متغیرهای پژوهش شامل زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی بودند. زمان پاسخ اجزا به زمان سپری‌شده از ضربه زدن به محرکی که اخیراً نشان داده شد تا ضربه زدن به محرک ظاهرشده بعدی است. خطای پیش‌بینی نشان‌دهنده حرکت در خلاف جهت رسیدن به هدف بوده است. این بدان معناست که فرد در انتخاب محرک صحیح، پیش‌بینی اشتباه داشته است. باتوجه‌به اینکه الگوی مورد نظر دارای ۶ تغییر جهت طبیعی در هر ۱۲ جزء توالی بوده است. هر تغییر جهت غیرضروری و مازاد بر ۶ تغییر جهت‌های پیش فرض در مسیر حرکت، به‌عنوان خطا ثبت شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها شامل یادگیری هم‌زمان و یادگیری خاموش (تحکیم) بوده است. یادگیری هم‌زمان در دو مرحله پیشرفت عمومی شامل بررسی بلوک اول تا دهم مرحله تمرین (اکتساب)؛ یادگیری اختصاصی توالی[10] شامل مقایسه بلوک تصادفی نهم با میانگین بلوک ۸ و ۱۰ بوده است. تحکیم، مقایسه بلوک ۱۰ (بلوک آخر جلسه اول) و بلوک ۱۱ (بلوک جلسه دوم) بوده است [۱۱، ۳۳].

یافته‌ها

قبل از انجام استنباط‌های آماری، میانگین و انحراف‌معیار پرسش‌نامه‌های سلامت کودکان، عادت خواب کودکان و آزمون هوش وکسلر کودکان (نسخه چهارم) به دست آمد. همچنین با در نظر گرفتن مقیاس نمره‌دهی این متغیرها، شرکت‌کنندگان هر دو گروه بهره هوشی نرمال (۱۰۴/۱۲±۴/۶۷)، کیفیت خواب مناسب (۴۱/۴۴±۱/۲۵) و سطح مطلوبی از سلامت (۹۸/۴۷±۲/۵۲) را دارا بودند.

همچنین، میانگین زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی (میانگین ۹۶ کوشش) در ۱۱ بلوک (بلوک‌های ۱ تا ۱۰ در مرحله اکتساب و بلوک ۱۱ در مرحله یادداری پس از گذشت ۱۲ ساعت) در دو گروه خواب و بیداری ارائه شده است (تصویر شماره ۲). علاوه‌براین، فرض یکسان بودن ماتریس‌های کوواریانس زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی بین گروه‌ها در تحلیل‌های واریانس مختلط ۲×۱۰ (زمان پاسخ اجزا P=۰/۱۱۲ و خطای پیش‌بینی؛ P=۰/۰۸۰) و ۲×۲ (زمان پاسخ اجزا P=۰/۶۱۳ و خطای پیش‌بینی؛ P=۰/۳۴۱)، باتوجه‌به آزمون باکس[11] رد نمی‌شود، اما فرض کرویت خطای ماتریس کوواریانس زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی باتوجه‌به آزمون موچلی[12] رد می‌شود (زمان پاسخ اجزا P=۰/۰۰۰ و خطای پیش‌بینی P=۰/۰۰۰) و درنتیجه از اپسیلون گرین هاوس- گیزر[13] به منظور تصحیح درجه آزادی در تحلیل واریانس مختلط استفاده شده است.

یادگیری هم‌زمان در مرحله اکتساب

نتایج تحلیل واریانس مختلط ۲×۱۰ به‌صورت مجزا برای دو متغیر زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی در پیشرفت عمومی نشان داد اثر درون گروهی (بلوک‌های ۱ تا ۱۰) معنادار است. به‌عبارت‌دیگر بین میانگین‌های زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی در ۱۰ بلوک تفاوت معناداری وجود داشته است (زمان پاسخ اجزا P=۰/۰۰۰ و $F_{(۴،۹۶)}$=۱۷/۹۶۹ و خطای پیش‌بینی P=۰/۰۰۰ و $F_{(۵،۱۱۷)}$=۹/۸۴۵)، به‌طوری‌که روند نزولی میانگین زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی در همه بلوک‌ها به استثنای بلوک‌های ۵ و ۹ وجود داشته است (تصویر شماره ۲). درنتیجه می‌توان گفت یادگیری توالی عمومی (پیشرفت عمومی) در مرحله اکتساب در هر دو متغیر رخ داده است و باتوجه‌به ضریب مجذور ایتا، میزان آن برای متغیر زمان پاسخ اجزا ۴۲/۸ درصد و برای خطای پیش‌بینی ۲۹/۱ درصد بوده است. همچنین اثر تعاملی بلوک و خواب برای دو متغیر معنادار نبوده است (زمان پاسخ اجزا P=۰/۳۵۰ و $F_{(۴،۹۶)}$=۱/۱۲۴ و خطای پیش‌بینی P=۰/۷۹۸ و $F_{(۵،۱۱۷)}$=۰/۴۶۳). به‌عبارت‌دیگر اثر بلوک بین دو گروه تفاوت معنادار نداشته است و درنتیجه می‌توان گفت پیشرفت عمومی در مرحله اکتساب در گروه‌های خواب و بیداری به‌صورت یکسان رخ داده است.

همچنین، نتایج تحلیل واریانس مختلط ۲×۲ به‌طور مجزا برای متغیرهای زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی در یادگیری اختصاصی توالی نشان داد اثر درون گروهی (بلوک ۹ و میانگین بلوک‌های ۸ و ۱۰) معنادار است، به‌عبارت‌دیگر بین میانگین‌های زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی در بلوک ۹ و متوسط بلوک‌های ۸ و ۱۰ تفاوت معناداری بوده است (زمان پاسخ اجزا P=۰/۰۰۰ و $F_{(۱،۲۴)}$=۶۸/۳۱۲ و خطای پیش‌بینی P=۰/۰۰۰ و $F_{(۱،۲۴)}$=۳۶/۵۶۹)، به‌طوری‌که زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی در بلوک ۹ به‌طور معناداری از میانگین بلوک ۸ و ۱۰ بیشتر بوده است و درنتیجه می‌توان گفت یادگیری اختصاصی توالی رخ داده

8. Recognition Test
9. Math works, R2014a
10. Sequence specific learning
11. Box's Test
12. Mauchly's Test
13. Greenhouse-Geisser's Epsilon

تصویر ۱. نمایی از دستگاه تکلیف حرکتی بازوی دینامیک

طب توانبخشی

است که باتوجه‌به ضریب مجذور ایتا، میزان آن در متغیرهای زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی به‌ترتیب ۷۴ و ۶۰ درصد بوده است. همچنین اثر تعاملی بلوک و خواب برای دو متغیر معنادار نبوده است. به‌عبارت‌دیگر اثر بلوک در دو گروه تفاوت معنادار نداشته است (زمان پاسخ اجزا P=۰/۶۲۲ و ۰/۲۵۰ = $F_{(۱،۲۴)}$ و خطای پیش‌بینی P=۰/۰۵۶ و ۴/۰۳۶ = $F_{(۱،۲۴)}$).

تحکیم حافظه توالی حرکتی

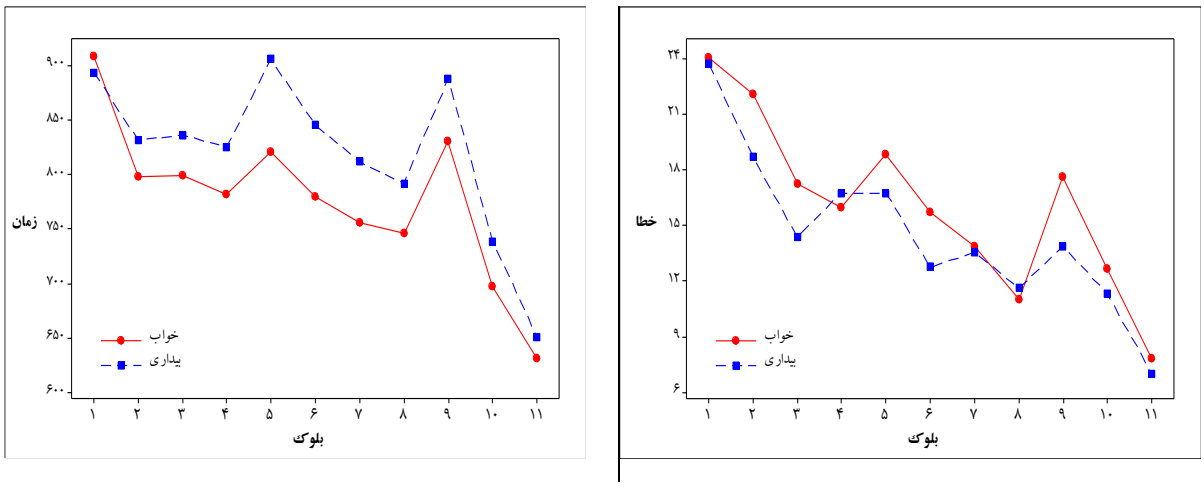
نتایج تحلیل واریانس مختلط ۲×۲ به‌صورت مجزا برای دو متغیر زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی نشان داد اثر درون گروهی (بلوک‌های ۱۰ و ۱۱) معنادار است. به‌عبارت‌دیگر بین میانگین‌های زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی در دو بلوک تفاوت معنادار وجود داشته است (زمان پاسخ اجزا P=۰/۰۰۰ و خطای پیش‌بینی P=۰/۰۲۳) (جدول شماره ۱)، به‌طوری‌که زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی بلوک ۱۱ در فاصله زمانی بعد از ۱۲ساعت به‌طور معناداری از آخرین بلوک مرحله اکتساب (بلوک ۱۰) کمتر بوده است (تصویر شماره ۲). در نتیجه می‌توان گفت تحکیم حافظه توالی حرکتی بعد از گذشت ۱۲ ساعت صورت گرفته است. همچنین اثر تعاملی بلوک و خواب برای دو متغیر معنادار نبوده است (زمان پاسخ اجزا P=۰/۵۶۶ و خطای پیش‌بینی P=۰/۸۸۷) و درنتیجه می‌توان گفت تحکیم حافظه وابسته به خواب نبوده است (جدول شماره ۱).

در پایان جلسه آخر، دانش آشکار توالی، مورد آزمون قرار گرفت. دو کودک اطلاعات دقیقی از الگوی حرکت و ترتیب توالی‌های تکراری مورداستفاده در بلوک‌های اکتساب و برخی بلوک‌هایی که متفاوت بودند را گزارش کردند. همچنین این دو کودک در آزمون بازشناسی نیز توالی صحیح را درست پاسخ دادند. بنابراین، از دانش آشکار مربوط به قوانین توالی استفاده کردند و از تحلیل خارج شدند.

بحث

در تحقیق حاضر، تأثیر خواب شبانه و بیداری در فرایند بهبود تحکیم یک تکلیف توالی‌دار حرکتی پیچیده مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها نشان دادند یادگیری هم‌زمان در مرحله اکتساب و یادگیری خاموش و تحکیم در بین جلسه تمرین و آزمون در کودکان رخ داده است و بین گروه‌های خواب و بیداری تفاوت وجود نداشته است و این پیشرفت در گروه‌ها به‌صورت مشابه رخ داده است.

نتایج در طول یادگیری هم‌زمان نشان داد هر دو گروه بهبود معناداری را در اکتساب یک مهارت جدید به دنبال تمرین با تکلیف حرکتی بازوی دینامیک در بلوک‌های متوالی به دست آوردند، به‌طوری‌که زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی در بلوک‌های توالی‌دار از ابتدا نسبت به انتها روندی نزولی داشته‌اند. این روند بهبود بین گروه‌های خواب و بیداری تفاوت معناداری نداشت. درنتیجه می‌توان گفت ساعات شروع تمرین (صبح/عصر) در کودکان در مرحله اکتساب تأثیر معناداری نداشته است و پیشرفت عمومی در دو گروه خواب و بیداری به‌طور یکسان شکل گرفته است. این بهبود در طی مرحله تمرین نشان داد عملکرد توالی حرکتی کودکان حتی زمانی که فرد به‌صورت فعال و آگاهانه تمرین نمی‌کنند نیز ادامه دارد [۵]. درحقیقت با تمرین مناسب و کافی به نظر می‌رسد کودکان ساختاری را بر توالی اعمال کنند که زمان اضافی جهت تکمیل توالی را کاهش می‌دهد، زیرا در طول تمرین شرکت‌کنندگان اجزای توالی را به‌عنوان یک بسته با هم قطعه‌بندی کرده‌اند [۳۱]. بنابراین عملکرد در طول بلوک‌های توالی با افزایش تعداد کوشش‌های تمرینی پیشرفت داشته و در آخرین کوشش‌ها نسبت به ابتدا ارتقا یافته است. نتایج حاضر هم‌راستا با مطالعات برخی از محققان در توالی حرکتی درشت و تکالیف زمان واکنش زنجیره‌ای بوده است. آنان نشان دادند با اجرای مهارت، تغییر در میانگین زمان واکنش و زمان حرکت



طب توانبخشی

تصویر ۲. میانگین زمان پاسخ اجزا (میلی ثانیه) و خطای پیش‌بینی برای ۱۱ بلوک (۱۰ بلوک در مرحله اکتساب و ۱ بلوک در مرحله یادداری بعد از ۱۲ساعت) در گروه‌های خواب و بیداری. بلوک‌های ۱، ۵ و ۹ تصادفی و بلوک‌های ۲-۴ و ۶-۸ و ۱۰ بلوک‌های توالی و بلوک ۱۱ در مرحله یادداری مشابه بلوک‌های توالی‌دار مرحله اکتساب می‌باشد.

روندی کاهشی داشته است [۵، ۱۱، ۲۰].

همچنین یافته‌های مطالعه در یادگیری اختصاصی توالی نشان دادند در دو گروه، زمان پاسخ اجزا و خطای پیش‌بینی در بلوک نهم به‌طور معناداری بیشتر از میانگین بلوک‌های هشتم و دهم بوده است و این روند کاهشی از بلوک تصادفی به بلوک‌های توالی‌دار مشابه بوده است. هنگامی‌که سرعت و خطا در کوشش‌های غیر قابل پیش‌بینی (توالی تصادفی) نسبت به بلوک‌های مجاور قابل پیش‌بینی آن (الگوی توالی‌دار تکراری) افزایش یابد؛ یعنی پاسخ‌های آهسته‌تر و خطای بیشتری در زمان ارائه توالی جدید ایجاد شود، می‌توان استنباط کرد که یادگیری اختصاصی توالی درکودکان ایجاد شده است. بنابراین، برای عملکرد بهتر لزومی ندارد که افراد از قواعد تکلیف اطلاع داشته باشند و بدون آگاهی از آن هم عملکردشان نسبت به بخش‌های تصادفی بهتر می‌شود [۴، ۱۱].

در بررسی تحکیم، نتایج نشان دادند در هر دو گروه خواب و بیداری بهبود سرعت و کاهش خطا بعد از گذشت ۱۲ ساعت از مرحله تمرین ایجاد شد. این یافته‌ها نشان می‌دهند هنگامی‌که فرد مهارت پیچیده‌ای را تمرین می‌کند، یادگیری وی صرفاً در طول جلسه تمرین و رمزگذاری رخ نمی‌دهد، بلکه بهبود یادگیری در فاصله بین جلسات تمرین و به‌صورت پنهان نیز رخ می‌دهد، زیرا سیستم عصبی انسان بعد از جلسه تمرین و مهارت‌آموزی، به‌صورت ناخودآگاه شروع به رمزگذاری، فعالیت و توسعه مناطقی از مغز که در طی تمرین مهارت فعال بوده‌اند، می‌کند و تغییرات عصبی در بازنمایی‌های مهارت در قشر حرکتی مغز اتفاق می‌افتد. درنتیجه این امر منجر به ارتقای حافظه مربوط به مهارت آموخته‌شده حرکتی می‌شود [۳۵]. وان آبسوده و همکاران بهبود دقت را پس از دوره بی‌تمرینی، در هر دو گروه ضمنی و آشکار کودکان مشاهده کردند. [۱۱] ویلهلم و همکاران و ایران‌منش و همکاران بهبود زمان واکنش در کودکان را پس از فاصله تمرین‌آسایی در آزمون یادداری گزارش دادند [۲۰، ۲۱].

علاوه‌براین، در تحقیق حاضر هرچند تحکیم در کودکان رخ داد، اما تفاوتی بین گروه‌ها در سرعت و دقت وجود نداشته است، به‌طوری‌که هر دو گروه به‌طور مشابهی خطا و زمان آن‌ها کاهش یافته است. بنابراین تحکیم صورت گرفته است، اما وابسته به خواب نبود. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های برخی از محققان هم‌راستا است [۲، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۴، ۲۵]، به‌طوری‌که سینگ سوکان و آلشارمن، دویان و همکاران، بوت و همکاران، واندنبرگ و همکاران، پرهن-کریستنسن و همکاران و بوراگان و همکاران نشان دادند خواب عامل مهمی در بهبود فرایند تحکیم در تکالیف انطباق حرکتی درشت، تکلیف یادگیری توالی حرکتی، زمان واکنش زنجیره‌ای لمسی، ردیابی مداوم، ردیابی آینه و انطباق بینایی نمی‌باشد [۲، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۲۲، ۲۵]. ویلهلم و همکاران و فیشر و همکاران به این نتیجه رسیدند که برخلاف بزرگسالان، خواب در کودکان منجر به بهبود عملکرد در مهارت‌های رویه‌ای نمی‌شود [۲۱، ۲۴].

اما برخی پژوهشگران برخلاف یافته‌های حاضر به این نتیجه رسیدند که خواب در اولین شب پس از تمرین باعث بهبود در اجرای مهارت‌های حرکتی می‌شود [۱۷، ۱۹، ۲۱، ۲۶، ۲۸]. چو و همکاران و دورف برگر و همکاران سودمندی‌های عملکرد را بعد از دوره خواب در کودکان و نوجوانان همانند بزرگسالان گزارش کردند [۱۷، ۲۶]. واندنبرگ و همکاران و آشورث و همکاران نوع تکلیف را از لحاظ ماهیت آشکار و پنهان در بهبود مبتنی بر ارتقای حافظه مؤثر دانستند و عنوان کردند زمانی که فرد با آگاهی از قواعد مربوط به تکلیف (برج هانوی)، توالی را تمرین کند، خواب

جدول ۱. تحلیل واریانس ۲×۲ آخرین بلوک مرحله اکتساب و اولین بلوک بعد از گذشت ۱۲ ساعت در دو گروه خواب و بیداری در مرحله تحکیم

متغیر	منبع تغییرات	آزمون	مقدار آماره	F	درجه آزادی فرضیه	درجه آزادی خطا	P	مجذور ایتا
زمان پاسخ اجزا	بلوک	آزمون پیلایی	۰/۴۱۴	۱۶/۹۸۵	۱	۲۴	۰/۰۰۰	۰/۴۱۴
		لامبدای ویلکز	۰/۵۸۶	۱۶/۹۸۵	۱	۲۴	۰/۰۰۰	۰/۴۱۴
		اثر هتلینگ	۰/۷۰۸	۱۶/۹۸۵	۱	۲۴	۰/۰۰۰	۰/۴۱۴
		بزرگترین ریشه روی	۰/۷۰۸	۱۶/۹۸۵	۱	۲۴	۰/۰۰۰	۰/۴۱۴
	بلوک×گروه	آزمون پیلایی	۰/۰۱۴	۰/۳۳۹	۱	۲۴	۰/۵۶۶	۰/۰۱۴
		لامبدای ویلکز	۰/۹۸۶	۰/۳۳۹	۱	۲۴	۰/۵۶۶	۰/۰۱۴
		اثر هتلینگ	۰/۰۱۴	۰/۳۳۹	۱	۲۴	۰/۵۶۶	۰/۰۱۴
		بزرگترین ریشه روی	۰/۰۱۴	۰/۳۳۹	۱	۲۴	۰/۵۶۶	۰/۰۱۴
خطای پیش‌بینی	بلوک	آزمون پیلایی	۰/۱۹۷	۵/۸۸۳	۱	۲۴	۰/۰۲۳	۰/۱۹۷
		لامبدای ویلکز	۰/۸۰۳	۵/۸۸۳	۱	۲۴	۰/۰۲۳	۰/۱۹۷
		اثر هتلینگ	۰/۲۴۵	۵/۸۸۳	۱	۲۴	۰/۰۲۳	۰/۱۹۷
		بزرگترین ریشه روی	۰/۲۴۵	۵/۸۸۳	۱	۲۴	۰/۰۲۳	۰/۱۹۷
	بلوک×گروه	آزمون پیلایی	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱	۱	۲۴	۰/۸۸۷	۰/۰۰۱
		لامبدای ویلکز	۰/۹۹۹	۰/۰۲۱	۱	۲۴	۰/۸۸۷	۰/۰۰۱
		اثر هتلینگ	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱	۱	۲۴	۰/۸۸۷	۰/۰۰۱
		بزرگترین ریشه روی	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱	۱	۲۴	۰/۸۸۷	۰/۰۰۱

طب توانبخشی

عامل مهمی در بهبود عملکرد وی خواهد بود [۱۸، ۲۷]. سوگاوارا و همکاران خواب را در ارتباط با بهبود یادگیری توالی حرکتی آشکار همانند بزرگسالان دانستند [۲۸]. علاوه‌براین یافته‌ها مخالف با نظریات تحکیم سیستم فعال، تحکیم اطلاعات خواب و فرضیه هموستاز سیناپسی می‌باشند. این نظریات عنوان کردند که خواب افراد به منظور پردازش اطلاعاتی است که در طول روز به دست آمده است. این امر منجر به انتقال اطلاعات به حافظه بلندمدت و بهبود حافظه می‌شود. همچنین فرضیه هموستاز سیناپسی، خواب را در هر دو حافظه وابسته به هیپوکامپ (حافظه آشکار) و مستقل از هیپوکامپ (حافظه رویه‌ای) مفید می‌داند [۷، ۸].

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده، ازجمله دلایل مهم با یافته‌های متناقض، ماهیت تکلیف می‌باشد. ماهیت تکلیف حاضر، پیچیده و ضمنی بوده است. گرچه، تکالیف مورد استفاده در تحقیقات گذشته اکثراً ساده و ماهیتی آشکار داشته‌اند. مطابق با نظریات آگاهی رابرتسون و نظریه تحکیم وابسته به خواب، یادگیری خاموش تکالیف ضمنی بعد از یک فاصله زمانی بدون در نظر گرفتن مرحله خواب صورت می‌گیرد، اما در شرایط آشکار، بهبود اجرا تنها زمانی رخ می‌دهد که افراد پس از تمرین یک مهارت، دوره خواب را تجربه کرده باشند [۲، ۱۳، ۱۵]. برخی محققان علت وابستگی خواب را در تکالیف ضربه زدن با انگشت، برج هانوی و انطباق بینایی فضایی، اتکا این نوع تکالیف به فرایندهای شناختی و ادارکی دانستند [۲، ۱۵، ۱۸]. ویلهلم و همکاران و پیفر و همکاران نیز خواب شبانه را عامل اصلی در تحکیم حافظه آشکار کودکان دانستند [۲۱، ۲۳]. بوراگان و همکاران خواب را در تحکیم مهارت‌های حرکتی و نه در مهارت‌های توالی‌دار حرکتی جوانان سودمند دانستند و سن و ماهیت تکلیف را دو عامل مهم در بهبود پنهان مهارت حرکتی برشماردند [۲۵].

علاوه‌براین رابرتسون و همکاران بهبود مبتنی بر ارتقای مهارت‌های ضمنی و آشکار را متفاوت از هم دانستند و این تفاوت‌ها را در اساس و پایه‌های بیولوژیک اکتساب مهارت در طول تمرین نشان دادند [۱۳]، به‌طوری‌که جاناسک بیان کردند خواب با کارکردهای شناختی مغز در ارتباط می‌باشد. کارکردهای شناختی مغز نیز در ارتباط با لب پیشانی هستند. لبی از مغز که در حرکت، تصمیم‌گیری، حل مسئله و اعمال ارادی و آگاهانه نقش دارد. این امر حاکی از آن است که خواب می‌تواند بر جنبه‌های شناختی مرتبط با لب پیشانی و دیگر ساختارهای قشری مغز که جنبه آگاهانه و آشکار دارند، تأثیرگذار باشد؛ درحالی‌که یادگیری ضمنی که با ساختارهای زیرقشری مغز مرتبط هستند، از خواب بی‌بهره‌اند [۳۶].

باتوجه‌به مطالب سطور قبل، تغییرات مشابه ایجادشده در دو گروه خواب و بیداری به‌دلیل ضمنی بودن تکلیف امری محتمل است و گذر زمان عامل اصلی در تحکیم توالی حرکتی می‌باشد. از سویی دیگر، بوت و همکاران ماهیت تکالیف را ازنظر ساده و پیچیده بودن در بهبود پنهان متفاوت از هم دانستند [۱۶]. بلیسکه و مالانگر بهبود خاموش وابسته به خواب در تکلیف پیچیده حرکتی درشت را با تغییر ساختار تکلیف (طولانی بودن الگو) بزرگسالان مرتبط دانستند. آنان بیان کردند که عملکرد هنگامی که طول توالی کوتاه و یا فرد الگوی حرکتی معمولی را انجام می‌دهد، بهبود نمی‌یابد [۷]. لوگاسی و همکاران در مقایسه بهبود تحکیم در فواصل تمرین‌آسایی ۱۲ و ۲۴ ساعت مهارت پیچیده شبیه‌ساز دندان به این نتیجه رسیدند که تحکیم وابسته به خواب با تأخیر زمانی ۲۴ ساعت بعد از اکتساب مهارت رخ می‌دهد [۱۲].

با در نظر گرفتن موارد فوق، علت تفاوت تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات بزرگسالان در تکالیف پیچیده، ماهیت و نوع تکلیف و فاصله زمانی تمرین تا آزمون بوده است. در تکالیف تحقیقات یادشده، از مهارت آشکار و صریح که فرد از قواعد تکلیف آگاه بود، استفاده شده است. به همین علت ممکن است خواب در تحکیم مهارت تأثیرگذار باشد، اما تکلیف حرکتی بازوی دینامیک جنبه ضمنی داشته است. بنابراین، منطقی است که تحکیم آنان وابسته به گذر زمان باشد. از طرفی، آزمون تحکیم در فاصله زمانی ۱۲ ساعت انجام شد. گرچه، لوگاسی و همکاران بازه زمانی طولانی‌تر از ۱۲ ساعت را بر یادگیری خاموش مهارت پیچیده مفید می‌دانند [۱۲]. بنابراین این عامل نیز در عدم تأثیر خواب در مهارت حرکتی پیچیده می‌تواند مؤثر باشد.

علاوه‌بر ماهیت تکلیف، مراحل رشدی نیز حائز اهمیت می‌باشند. براساس فرضیه حسی‌حرکتی هرناندز و همکاران، روش یادگیری حرکتی کودکان با بزرگسالان متفاوت می‌باشد. فرایند پردازش اطلاعات در کودکان بیشتر ضمنی است تا آشکار. برخلاف بزرگسالان که بیشتر آگاهانه درگیر فرایندهای تحلیل کلامی و استراتژی‌های آزمون فرضیه و استفاده از حافظه و دانش آشکار هستند، کودکان بیشتر از فرایندهای ادراکی حرکتی ضمنی بهره می‌برند [۳۷]. بوت و همکاران بیان کردند فرایند تحکیم قبل از بلوغ نشان‌دهنده بهبود عملکرد تکلیف در طول دوران خواب و بیداری به‌طور مشابه می‌باشد [۱۶]. باتوجه‌به اینکه نمونه تحقیق حاضر، کودکان زیر ۱۲ سال و این دوره قبل از دوره بلوغ بوده است، بنابراین یادگیری آنان به‌صورت ضمنی می‌باشد. بنابراین، مناطق زیر قشری آنان فعال می‌باشد و منطقی است که تحکیم آنان وابسته به گذر زمان باشد.

علاوه‌بر عوامل یادشده، فرایند ارتقاء عملکرد مرتبط با خواب شبانه تحت تأثیر مراحل امواج آهسته خواب و خواب با حرکات سریع چشم قرار می‌گیرد [۵]. مطابق با فرضیه فرایند دوگانه، تحکیم در هر دو سیستم حافظه به مراحل مختلف خواب بستگی دارد. امواج خواب آرام برای حافظه آشکار و خواب با حرکت سریع چشم برای حافظه ضمنی و رویه‌ای سودمند هستند [۵، ۶]. بوت و همکاران نشان دادند فعال‌سازی مجدد یادگیری ضمنی در طول خواب با حرکت سریع چشم اتفاق می‌افتد [۱۶]. آکرمن و راش نشان دادند خواب با موج آهسته (خواب عمیق) عمدتاً برای حافظه آشکار وابسته به هیپوکامپ و خواب با حرکت سریع چشم برای حافظه رویه‌ای بسیار با اهمیت می‌باشد [۶]. از طرفی، پیفر و همکاران بیان کردند دوره کودکی نه تنها توسط مقادیر و انواع تجربیات یادگیری، بلکه توسط مقادیر خواب با موج آهسته با دوره بزرگسالی متفاوت می‌باشد. کودکان ۷ تا ۱۲سال سهم بیشتری از خواب را در خواب با موج آهسته نسبت به بزرگسالان دارند [۲۳]. ویلهلم نیز خواب در دوره کودکی را با مقدار زیادی خواب عمیق همراه دانست. دامنه و فعالیت خواب با موج آهسته قبل از شروع بلوغ و دوره نوجوانی افزایش و بعد از آن به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد [۵]. بنابراین، خواب در کودکان به‌دلیل ارتباط با خواب عمیق در تکالیف آشکار و نه تکالیف توالی‌دار ضمنی سودمند است. بنابراین، باتوجه‌به مقدار زیادی خواب عمیق در این سنین و باتوجه‌به فرضیه فرایند دوگانه این انتظار وجود دارد که تحکیم کودکان وابسته به خواب نباشد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این بررسی نشان داد ارتقاء و پیشرفت عملکرد کودکان در مهارت توالی‌دار پیچیده ضمنی صرفاً بر اثر تمرین، آگاهی از قواعد تکلیف و در طول جلسات تمرین به دست نمی‌آید، بلکه بعد از یادگیری مهارت، بدون توجه و آگاهی و در مرحله استراحت و تمرین‌آسایی نیز ایجاد می‌شود و گذر زمان در بهبود تکلیف حرکتی بازوی دینامیک امری ضروری می‌باشد. بنابراین، خواب بعد از تمرین یک مهارت پیچیده تنها عامل مؤثر در تحکیم حافظه توالی‌دار نمی‌باشد. ازاین‌رو، یادگیری و بهبود خاموش در مهارت‌های حرکتی به ماهیت و نیازهای تکلیف بستگی دارد.

باتوجه‌به مطالب پیش‌گفت، در تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود، تحکیم وابسته به خواب در تکالیف توالی‌دار و دیگر تکالیف حرکتی کودکان مورد مقایسه و بررسی قرار گیرد. همچنین باتوجه‌به فاصله تمرین‌آسایی و پیچیدگی تکلیف در تحقیق حاضر، تحقیقات بیشتری جهت ارزیابی یادگیری خاموش در فواصل زمانی متفاوت در تکالیف حرکتی پیچیده مورد نیاز است. همچنین مکانیسم‌های زیربنایی تحکیم مبتنی بر خواب در کودکان خصوصاً در تکالیف حرکتی پیچیده مشخص نیست. بدین ترتیب بررسی مکانیسم‌های عصبی زیربنایی یادگیری مهارت‌های توالی پیچیده توصیه می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه فردوسی مشهد در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره IR.MUM.FUM.REC.1397.11 دریافت شده است.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه حمیده ایرانمنش با راهنمایی علیرضا صابری کاخکی و ر حمیدرضا طاهری و مشاوره چارلز اچ. شی و مسعود فضیلت‌پور گروه رفتار حرکتی و مدیریت ورزشی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت یکسان داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

محققان این مقاله از تمامی شرکت‌کنندگانی که در این پژوهش شرکت کردند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌کنند.

References

[1] Adi-Japha E, Berke R, Shaya N, Julius MS. Different post-training processes in children's and adults' motor skill learning. PloS One. 2019; 14(1):e0210658. [DOI:10.1371/journal.pone.0210658] [PMID] [PMCID]

[2] Al-Sharman A, Siengsukon CF. Time rather than sleep appears to enhance off-line learning and transfer of learning of an implicit continuous task. Nature and Science of Sleep. 2014; 6:27-36. [DOI:10.2147/NSS.S53789] [PMID] [PMCID]

[3] Gudberg C, Wulff K, Johansen-Berg H. Sleep-dependent motor memory consolidation in older adults depends on task demands. Neurobiology of Aging. 2015; 36(3):1409-16. [DOI:10.1016/j.neurobiolaging.2014.12.014] [PMID] [PMCID]

[4] Gabay Y, Schiff R, Vakil E. Dissociation between online and offline learning in developmental dyslexia. Clinical and Experimental Neuropsychology. 2012; 34(3):279-88. [DOI:10.1080/13803395.2011.633499] [PMID]

[5] Wilhelm I. Sleep-dependent memory consolidation in children [PhD dissertation]. Lübeck: German University of Lübeck; 2011. [Link]

[6] Ackermann S, Rasch B. Differential effects of non-REM and REM sleep on memory consolidation? Current Neurology and Neuroscience Reports. 2014; 14(2):430. [DOI:10.1007/s11910-013-0430-8] [PMID]

[7] Blischke K, Malangré A. Task complexity modulates sleep-related offline learning in sequential motor skills. Frontiers in Human Neuroscience. 2017; 11:374. [DOI:10.3389/fnhum.2017.00374] [PMID] [PMCID]

[8] Cellini N. Memory consolidation in sleep disorders. Sleep Medicine Reviews. 2017; 35:101-12. [DOI:10.1016/j.smrv.2016.09.003] [PMID]

[9] Shamsipour Dehkordi P, Abdoli B, Namazizadeh M. [The role of sleep and wake on enhancement of implicit motor sequence in youth (Persian)]. Motor Behavior. 2014; 7(22):33-54. [Link] .

[10] Prashad S, Du Y, Clark JE. Sequence structure has a differential effect on underlying motor learning processes. Journal of Motor Learning and Development. 2021; 9(1):38-57. [DOI:10.1123/jmld.2020-0031]

[11] van Abswoude F, Buszard T, van der Kamp J, Steenbergen B. The role of working memory capacity in implicit and explicit sequence learning of children: Differentiating movement speed and accuracy. Human Movement Science. 2020; 69:102556. [DOI:10.1016/j.humov.2019.102556] [PMID]

[12] Lugassy D, Herszage J, Pilo R, Brosh T, Censor N. Consolidation of complex motor skill learning: Evidence for a delayed offline process. Sleep. 2018; 41(9). [DOI:10.1093/sleep/zsy123] [PMID]

[13] Robertson EM, Pascual-Leone A, Press DZ. Awareness modifies the skill-learning benefits of sleep. Current Biology. 2004; 14(3):208-12. [DOI:10.1016/j.cub.2004.01.027] [PMID]

[14] Janacsek K, Nemeth D. Predicting the future: From implicit learning to consolidation. International Journal of Psychophysiology. 2012; 83(2):213-21. [DOI:10.1016/j.ijpsycho.2011.11.012] [PMID]

[15] Doyon J, Korman M, Morin A, Dostie V, Tahar AH, Benali H, et al. Contribution of night and day sleep vs. simple passage of time to the consolidation of motor sequence and visuomotor adaptation learning. Experimental Brain Research. 2009; 195(1):15-26. [DOI:10.1007/s00221-009-1748-y] [PMID] [PMCID]

[16] Bothe K, Hirschauer F, Wiesinger HP, Edfelder J, Gruber G, Birklbauer J, et al. The impact of sleep on complex gross-Motor adaptation in adolescents. Journal of Sleep Research. 2019; 28(4):e12797. [DOI:10.1111/jsr.12797] [PMID] [PMCID]

[17] Cho LD, Bartz A, Carskadon MA, Saletin JM. 0082 circadian influences on sleep-dependent consolidation of hippocampus-dependent memory: Preliminary results from adolescents undergoing 28-hour forced desynchrony. Sleep. 2019; 42(Supplement_1):A34. [DOI:10.1093/sleep/zsz067.081]

[18] Van den Berg N, Al-Kuwatli J, Paulin J, Ray L, Owen A, Fogel S. Sleep preferentially enhances memory for a cognitive strategy but not the implicit motor skills used to acquire it. Neurobiology of Learning and Memory. 2019; 161:135-42. [DOI:10.1016/j.nlm.2019.04.005] [PMID]

[19] Wilhelm I, Metzkow-Mészàros M, Knapp S, Born J. Sleep-dependent consolidation of procedural motor memories in children and adults: The pre-sleep level of performance matters. Developmental Science. 2012; 15(4):506-15. [DOI:10.1111/j.1467-7687.2012.01146.x] [PMID]

[20] Iranmanesh H, Saberi Kakhki A, Taheri H, Shea C, Fazilat-Pour M. [The role of sleep in children's motor memory consolidation in a motor sequence task (Persian)]. Journal of Cognitive Psychology. 2020; 8(2):17-32. [Link]

[21] Wilhelm I, Diekelmann S, Born J. Sleep in children improves memory performance on declarative but not procedural tasks. Learning & Memory. 2008; 15(5):373-7. [DOI:10.1101/lm.803708] [PMID]

[22] Prehn-Kristensen A, Göder R, Chirobeja S, Breßmann I, Ferstl R, Baving L. Sleep in children enhances preferentially emotional declarative but not procedural memories. Journal of Experimental Child Psychology. 2009; 104(1):132-9. [DOI:10.1016/j.jecp.2009.01.005] [PMID]

[23] Peiffer A, Brichet M, De Tiège X, Peigneux P, Urbain C. The power of children's sleep-Improved declarative memory consolidation in children compared with adults. Scientific Reports. 2020; 10(1):9979. [DOI:10.1038/s41598-020-66880-3] [PMID] [PMCID]

[24] Fischer S, Wilhelm I, Born J. Developmental differences in sleep's role for implicit off-line learning: Comparing children with adults. Journal of Cognitive Neuroscience. 2007; 19(2):214-27. [DOI:10.1162/jocn.2007.19.2.214] [PMID]

[25] Borragán G, Urbain C, Schmitz R, Mary A, Peigneux P. Sleep and memory consolidation: Motor performance and proactive interference effects in sequence learning. Brain and Cognition. 2015; 95:54-61. [DOI:10.1016/j.bandc.2015.01.011] [PMID]

[26] Dorfberger S, Adi-Japha E, Karni A. Reduced susceptibility to interference in the consolidation of motor memory before adolescence. Plos One. 2007; 2(2):e240. [DOI:10.1371/journal.pone.0000240] [PMID] [PMCID]

[27] Ashworth A, Hill CM, Karmiloff-Smith A, Dimitriou D. Sleep enhances memory consolidation in children. Journal of Sleep Research. 2014; 23(3):302-8. [DOI:10.1111/jsr.12119] [PMID]

[28] Sugawara SK, Tanaka S, Tanaka D, Seki A, Uchiyama HT, Okazaki S, et al. Sleep is associated with offline improvement of motor sequence skill in children. Plos One. 2014; 9(11):e111635. [DOI:10.1371/journal.pone.0111635] [PMID] [PMCID]

[29] Park JH, Shea C. Sequence learning: Response structure and effector transfer. The Quarterly Journal of Experimetal Psychology. 2005; 58(3):387-419. [DOI:10.1080/02724980343000918] [PMID]

[30] Ashtamker K, Karni A. Limits on movement integration in children: The concatenation of trained subsequences into composite sequences as a specific experience-triggered skill. Neurobiology of Learning and Memory. 2015; 123:58-66. [DOI:10.1016/j.nlm.2015.05.007] [PMID]

[31] Boutin A, Fries U, Panzer S, Shea CH, Blandin Y. Role of action observation and action in sequence learning and coding. Acta Psychologica. 2010; 135(2):240-51. [DOI:10.1016/j.actpsy.2010.07.005] [PMID]

[32] Kovacs A, Mu¨hlbauer T, Shea C. The coding and effector transfer of movement sequences. Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance. 2009; 35(2):390-407. [DOI:10.1037/a0012733] [PMID]

[33] Meier B, Cock J. Offline consolidation in implicit sequence learning. Cortex. 2014; 57:156-66. [DOI:10.1016/j.cortex.2014.03.009] [PMID]

[34] Xie J, Wen D, Liang L, Jia Y, Gao L, Lei J. Evaluating the validity of current mainstream wearable devices in fitness tracking under various physical activities: Comparative study. JMIR mHealth and uHealth. 2018; 6(4):e94. [DOI:10.2196/mhealth.9754] [PMID] [PMCID]

[35] Ahar S, Aslankhani MA, Zareian E. [Effect of different offline periods on enhance-based consolidation process in implicit motor memory of veteran and disabled athletes (Persian)]. Iranian Journal of War and Public Health. 2016; 8(1):41-7. [Link].

[36] Janacsek K. Age-related differences in implicit sequence learning and consolidation across the human life span: Implications for the functioning of the fronto-striatal circuitry [PhD dissertation]. Southampton: University of Southampton; 2012. [DOI:10.14232/phd.1583]

[37] Nazari Kavandi S, Saberi Kakhki A, Taheri H, Salsali S, Beik M. [The effect of explicit and implicit practice schedule on learning of motor skill in children with cerebral palsy spastic hemiplegia (Persian)]. Advances in Cognitive Science. 2018; 20(3):67-88. [Link].

This Page Intentionally Left Blank