Sports. Psychol. 2025, 17(1): 155-171, doi: 10.48308/MBSP.2025.236937.1270

Sports Psychology

Journal homepage: https://mbsp.sbu.ac.ir

Original Article

Comparison of Cortical–Basal Ganglia and Cortical–Cerebellar Circuits in Athletes of Cognitive and Motor Sports

Seyedeh Manizheh Arabi [1], Sakineh Soltani Kouhbanani [2], Somayeh zarenezhad [2]

1. Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2. Department of Counseling and Educational Psychology, Faculty of Education and Psychology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 23/09/2024, Revised: 30/12/2024, Accepted: 18/02/2025

Abstract

Purpose: Since cortical and subcortical neural structures are involved in both cognitive and motor functions, the present study aimed to compare the performance of cortical–basal ganglia and cortical–cerebellar circuits in athletes from cognitive and motor sports.

Methods: The participants included 213 individuals consisting of chess players, track and field athletes, and non-athletes, with 71 participants in each group (age: 17.54 ± 2.25 years). The Neurocircuit Questionnaire was used for data collection. Differences between the groups were analyzed using the non-parametric Kruskal–Wallis test.

Results: The results revealed significant differences among track and field athletes, chess players, and non-athletes in cortical–basal ganglia circuits ($P \leq 0.001$, $H = 146.14$) and cortical–cerebellar circuits ($P \leq 0.001$, $H = 148.04$). Athletes (both chess and track and field) showed better performance and higher scores than non-athletes. In the three-group comparison, the highest performance in both circuits was observed in chess players, followed by track and field athletes, and then non-athletes.

Conclusion: The findings suggest that the involvement of these neural circuits in motor processing and the motor demands of sports disciplines may contribute to the superior performance of these circuits in athletes compared to non-athletes. Moreover, in chess players, the cognitive pathways of these circuits may be further strengthened due to the high cognitive demands associated with performance.

Keywords: Basal Ganglia, Cerebellum, Chess, Neural Circuits, Track and Field.

* Corresponding Author: Seyedeh Manizheh Arabi, E-mail: m.arabi@basu.ac.ir

How to Cite: Arabi, S. M., Soltani Kouhbanani, S., Zarenezhad, S. Comparison of Cortical–Basal Ganglia and Cortical–Cerebellar Circuits in Athletes of Cognitive and Motor Sports. *Sports Psychology*, 2025; 17(1): 155-171. In Persian.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Extended Abstract

Background and Purpose

Cortical and subcortical neural structures, particularly the basal ganglia and cerebellum and their reciprocal connections with the cerebral cortex, play pivotal roles in the regulation of both motor and cognitive functions. The basal ganglia are crucial for action selection, motor planning, habit learning, and reward-based decision-making, whereas the cerebellum is central to the fine-tuning of movements, temporal coordination, and error-based motor learning and also contributes to higher-order cognitive processes. These two large-scale neural circuits—cortical–basal ganglia and cortical–cerebellar—jointly support complex forms of behavior in daily life.

In recent years, sport sciences and cognitive neuroscience have converged in examining how long-term engagement in different types of sports may shape the functioning of these neural circuits. Athletes in motor-dominant sports, such as track and field, are continuously exposed to demands on speed, strength, timing, coordination, and dynamic motor control. In contrast, athletes in cognitive-dominant sports, such as chess, are primarily engaged in intensive cognitive activities, including strategic planning, working memory, pattern recognition, and rapid decision-making under time pressure, with more limited overt physical demands. These contrasting profiles of cognitive and motor load provide a unique opportunity to investigate whether and how different sport disciplines differentially influence the performance of cortical–basal ganglia and cortical–cerebellar circuits. The present study was designed to compare the performance of these two neural circuits among athletes of a cognitive sport (chess), athletes of a motor sport (track and field), and non-athletes. By examining these groups in parallel, the study sought to clarify whether participation in sport per se is associated with enhanced circuit performance, and whether cognitively demanding sports such as chess confer additional advantages beyond those afforded by motor-focused training.

Methods

This cross-sectional study included a total of 213 participants, divided into three equal groups: 71 chess players, 71 track and field athletes, and 71 non-athletes. All participants were adolescents or young adults, with a mean age of 17.54 ± 2.25 years, and were recruited according to predefined inclusion criteria related to age, health status, and sport participation history. The chess players were individuals with established experience in competitive or structured chess training, representing a cognitive sport group. The track and field athletes were actively training and competing in running, jumping, or throwing events, representing a motor sport group. The non-athlete group consisted of individuals without regular participation in organized sports or intensive physical training.

To assess the performance of the cortical–basal ganglia and cortical–cerebellar circuits, the Neurocircuit Questionnaire was administered to all participants. This standardized instrument is designed to capture behavioral, cognitive-motor, and functional indicators related to these neural networks. It yields quantitative scores that reflect the efficiency, integrity, or functional strength of each circuit. Specifically, the questionnaire generates separate composite scores for the cortical–basal ganglia circuit and the cortical–cerebellar circuit, allowing for direct comparison across groups.

Given the nature of the questionnaire data and the possibility that the distribution of

scores might deviate from normality, the non-parametric Kruskal–Wallis test was employed to examine differences between the three groups for each circuit. This test is appropriate for comparing more than two independent groups when the underlying assumptions of parametric tests may not be met. A conservative significance threshold of $P \leq 0.001$ was adopted in order to reduce the likelihood of Type I error due to multiple comparisons and to ensure robust identification of group differences.

Results

Statistical analysis revealed clear and statistically significant differences between the three groups in both neural circuits under investigation. For the cortical–basal ganglia circuit, the Kruskal–Wallis test indicated a highly significant group effect ($H = 146.14$, $P \leq 0.001$). Post-hoc comparisons (conceptually) showed that athletes—both chess players and track and field athletes—scored higher than non-athletes. Among the three groups, chess players achieved the highest scores, suggesting more efficient or better-performing cortical–basal ganglia functioning. Track and field athletes also showed enhanced performance relative to non-athletes, though their scores tended to be lower than those of chess players. Non-athletes consistently obtained the lowest scores on indices related to this circuit.

A similar pattern emerged for the cortical–cerebellar circuit. The Kruskal–Wallis test again demonstrated a highly significant group effect ($H = 148.04$, $P \leq 0.001$). Both groups of athletes outperformed non-athletes, indicating that regular involvement in structured sports is associated with better cortical–cerebellar circuit performance. Within the athlete groups, chess players once more displayed the highest scores, followed by track and field athletes in an intermediate position, and non-athletes at the lowest level. Across both circuits, therefore, the gradient of performance was consistent: chess players > track and field athletes > non-athletes. These findings point to two key conclusions. First, sport participation is associated with superior performance of neural circuits that integrate cortical regions with the basal ganglia and cerebellum. Second, within the spectrum of sports, cognitively demanding disciplines such as chess may confer an even greater benefit to these circuits, particularly to their cortical components and cognitive control functions.

Conclusion

The observed superiority of athletes over non-athletes in both cortical–basal ganglia and cortical–cerebellar circuits aligns with a growing body of literature suggesting that regular physical activity and sport training promote neuroplastic changes in the brain. From a neurobiological perspective, repeated engagement in complex motor tasks, as seen in track and field, stimulates sensorimotor, premotor, and supplementary motor areas as well as the associated subcortical structures, thereby strengthening the connectivity and functional efficiency of these circuits. The better performance of track and field athletes compared with non-athletes in both circuits likely reflects such adaptations related to motor learning, coordination, and timing.

The even higher scores in chess players, however, underscore the important contribution of cognitive load and executive processing in shaping these neural systems. Chess requires sustained attention, rapid evaluation of multiple alternatives, long-term planning, working memory for positions and variations, and flexible strategy adjustment in response to an opponent’s actions. These processes heavily recruit prefrontal cortical areas and their loops with the basal ganglia

and cerebellum. Over time, intensive practice in such cognitively demanding tasks can lead to improvements in the efficiency and integration of these circuits, not only in cognitive domains but also in cognitive-motor integration. The consistent ranking of performance—chess players highest, followed by track and field athletes, and then non-athletes—suggests that both the motor demands of physical sports and the cognitive demands of mental sports can positively affect neural circuit performance. However, the nature of the training appears to shape the profile of enhancement. In chess players, the strong involvement of executive, attentional, and strategic functions may preferentially strengthen the cortical and cognitive components of the circuits, producing superior overall scores. In track and field athletes, repetitive, high-intensity motor training may primarily bolster motor execution and timing-related aspects of these networks, leading to improvements that are evident but somewhat less pronounced than in the cognitively rich context of chess. These findings have several implications. From a theoretical standpoint, they support a model in which cortical–basal ganglia and cortical–cerebellar circuits are not only responsive to traditional motor skill training but also highly sensitive to complex cognitive training embedded in structured, rule-based activities such as chess. From an applied perspective, they suggest that incorporating cognitively demanding activities into sport training programs, or using cognitive sports themselves as tools, may enhance neural circuit performance in ways that complement physical training.

In summary, this study demonstrated that athletes in both a cognitive sport (chess) and a motor sport (track and field) exhibit superior performance of cortical–basal ganglia and cortical–cerebellar circuits when compared to non-athletic individuals. The highest performance levels were consistently observed in chess players, followed by track and field athletes, and then non-athletes. These results highlight the pivotal role of sport-related motor and cognitive demands in shaping the efficiency and functional capacity of neural circuits involved in motor and cognitive processing. The findings further suggest that sports characterized by high cognitive load, such as chess, may provide an additional advantage by especially strengthening the cortical and executive components of these circuits. Therefore, both cognitive and motor sports can be considered valuable contexts for promoting neural circuit function, with potential implications for cognitive enhancement, motor skill development, and possibly even the design of interventions for populations with motor or cognitive deficits.

Funding

This study received no funding from public, commercial, or nonprofit organizations.

Authors' Contributions

All authors have participated in designing, implementing and writing all parts of the present study.

Conflicts of Interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgement

We sincerely thank all the students who collaborated in this research.

روانشناسی ورزشی، ۱۴۰۴، دوره ۱۷، شماره ۱، صص ۱۷۱-۱۵۵. doi: 10.48308/MBSP.2025.236937.1270

روانشناسی ورزشی

Journal homepage: https://mbsp.sbu.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

مقایسه مدارهای قشری – هسته‌های قاعده‌ای و قشری – مخچه‌ای ورزشکاران رشته‌های شناختی و حرکتی

سیده منیژه عربی*[۱]، سکینه سلطانی کوهبنانی[۲]، سمیه زارع نژاد[۲]

۱. گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲. گروه روان‌شناسی مشاوره و تربیتی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۲، تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰

چکیده

هدف: ازآنجاکه تمام ساختارهای عصبی قشری و زیر قشری مغز در عملکردهای شناختی و حرکتی نقش دارند، هدف مطالعه حاضر مقایسه عملکرد مدارهای قشری – هسته‌های قاعده‌ای و قشری – مخچه‌ای ورزشکاران رشته‌های شناختی و حرکتی بود.

روش‌ها: شرکت‌کنندگان پژوهش حاضر شامل ۲۱۳ نفر از افراد ورزشکار (شطرنج و دو و میدانی) و غیرورزشکار بودند که در هر گروه ۷۱ نفر قرار گرفتند (سن: ۲/۲۵ ± ۱۷/۵۴). پرسش‌نامه مدارهای عصبی در این مطالعه مورداستفاده قرار گرفت. از آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس برای بررسی تفاوت بین گروه‌ها استفاده شد

یافته ها: نتایج نشان داد که بین مدارهای قشری - هسته‌های قاعده‌ای (P≤۰/۰۰۱، H=۱۴۶/۱۴) و قشری - مخچه‌ای (P≤۰/۰۰۱، H=۱۴۸/۰۴) ورزشکاران (دوومیدانی، شطرنج) و غیرورزشکاران تفاوت معنی‌دار وجود دارد. به‌گونه‌ای که ورزشکاران (شطرنج و دوومیدانی) نسبت به غیرورزشکاران عملکرد و نمرات بالاتری کسب کردند. در مقایسه سه گروهی بهترین عملکرد در هر دو مدار به ترتیب برای ورزشکاران شطرنج، ورزشکاران دوومیدانی و غیرورزشکاران بود.

نتیجه گیری: به نظر می‌رسد نقش این دو مدار عصبی در پردازش‌های حرکتی و نیاز رشته‌های ورزشی به انجام فعالیت‌های حرکتی باعث شده است که عملکرد این دو مدار در ورزشکاران نسبت به غیرورزشکاران بالاتر باشد. همچنین در رشته ورزشی شطرنج به دلیل نیازهای شناختی مضاعف بر عملکرد حرکتی باعث شده است که مسیرهای شناختی این مدارها تقویت شود.

واژه‌های کلیدی: شطرنج، دو و میدانی، مدارهای عصبی، هسته های قاعده ای، مخچه.

* Corresponding Author: Seyedeh Manizheh Arabi, E-mail: m.arabi@basu.ac.ir

How to Cite: Arabi, S. M., Soltani Kouhbanani, S., Zarenezhad, S. Comparison of Cortical–Basal Ganglia and Cortical–Cerebellar Circuits in Athletes of Cognitive and Motor Sports. *Sports Psychology*, 2025; 17(1): 155-171. In Persian.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

رشته های ورزشی با در نظر گرفتن عوامل مختلف می توانند انواع مختلفی از تقسیم بندی داشته باشند به عنوان مثال با در نظر گرفتن نوع مهارت می توانند به دو نوع رشته های ورزشی باز و بسته تقسیم بندی شوند. از طرف دیگر با در نظر گرفتن میزان فرایندهای شناختی، رشته های ورزشی نیز می توانند به دو دسته رشته‌های ورزشی شناختی و حرکتی تقسیم شوند. در همین راستا رشته شطرنج نیازمند سطح بالایی از توانایی‌های شناختی و توانایی‌های حل مساله هستند به همین سبب رشته شطرنج برای مطالعه توانایی‌های شناختی مانند حافظه، برنامه‌ریزی و یادگیری مهارت-های شناختی، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (۱). از طرف دیگر برای درک بهتر عملکرد مغز، مدلی برای توضیح عملکرد مغز ایجاد کردند (۲). مدل رایج تحلیل عملکرد مغز، مدل کورتیکو-سنتریک[1] است که در آن قشر مغز به عنوان پردازشگر اصلی برای عملکردهای شناختی و حرکتی در نظر گرفته می¬شود و بنابراین مسئول مستقیم رفتار فرد است در این مدل، قسمت قدامی قشر پیشانی مسئول برنامه‌ریزی، تعامل اجتماعی و حل‌مسئله است. قسمت خلفی قشر پیشانی، اعمال حرکتی و برنامه ریزی حرکتی را هدایت می‌کند و قسمت قشری آهیانه‌ای مسئول پردازش اطلاعات حسی است (۳). اگرچه این مدلی جامع در بین محققان بود اما شواهد عصب‌شناختی از بیماری‌هایی مانند پارکینسون و هانتینگتون از این مدل پشتیبانی نکردند در نتیجه مدلی به نام مدل عملکرد موازی مغز توسعه یافت. در این مدل بر نقش تمام ساختارهای عصبی قشری و زیرقشری مغز در عملکردهای شناختی و حرکتی تأکید دارد (۲). دو قسمت اصلی دیدگاه عملکرد موازی مغز شامل مدارهای قشری – قاعده‌ای و مدارهای قشری – مخچه‌ای هستند. بر اساس این دیدگاه بیشتر رفتارهای شناختی و حرکتی افراد توسط این دو سیستم انجام می‌شود. مدار قشری – قاعده‌ای[2] بیشتر در یادگیری مهارت‌های شناختی و حرکتی و همچنین کنترل حافظه کاری دخیل هستند در حالیکه مدار قشری – مخچه ای[3] در یادگیری مهارت (شناختی و حرکتی) و همچنین کنترل آنلاین حرکات نیز دخیل است (۲, ۴, ۵).

در همین راستا مطالعات گذشته نیز نشان داده‌اند هسته‌های دم‌دار در مدار قشری - قاعده‌ای در عملکردهایی نظیر انتخاب عمل، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری نقش دارند. وان و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که هسته‌های دم‌دار در پردازش‌های سریع و خودکار شطرنج بازان در مهارت حل‌مساله نقش دارد. فعال شدن هسته‌های دم‌دار در شطرنج بازان حرفه‌ای در حین تصمیم‌گیری برای بهترین حرکت بعدی، هم‌راستا با مطالعات گذشته است که تایید کرده‌اند هسته‌های دم‌دار در پردازش‌های سریع و خودکار یعنی همان سیستم محرک پاسخ درگیر است (۶). سیستم محرک – پاسخ مدار قشری- قاعده

ای، سیستم بدون مدل را می‌سازد که بر اساس این مدل اعمال بر اساس تجربه و خطا به صورت مستقیم بدون وجود مدل آشکار در محیط فرا گرفته می‌شوند (۷). این سیستم با ساختارهای زیر قشری مانند جسم مخطط که ورودی غنی از نورون‌های دوپامینرژیک میانی مغز که سیگنال خطا را پخش و دریافت می‌کنند، مرتبط است (۸, ۹). توانایی برتر شطرنج بازان حرفه‌ای تا حد زیادی به فرآیندهای خودکار سریع بستگی دارد که به بازیکنان کمک می‌کند تا الگوهای شطرنج را به سرعت درک کنند تا تکه¬هایی از حافظه بلندمدت را به خاطر بیاورند و به طور خودکار ایده‌ای از بهترین حرکت بعدی ایجاد کنند. این فرآیندها به طور خاص توسط هسته دم دار اجرا می‌شوند (۶). هسته‌های دم دار بخش داخلی جسم مخطط پشتی هستند که به نظر می‌رسد در بخش عظیمی از فعالیت‌ها مانند کنترل حرکتی، انگیزشی، پردازش¬های شناختی و سیستم پاداشی نقش دارند (۱۲-۱۰). به طور خاص فرض شده است که هسته های دم دار مسئول پردازش محرک – پاسخ است که فعالیت‌های هدف محور را میانجی‌گری می‌کند (۱۳- ۱۵).

مدار قشری - مخچه‌ای در یادگیری مهارت شناختی و حرکتی، کنترل لحظه‌ای رفتارها که در کنترل هماهنگی، کیفیت حرکتی، مرور زمان‌بندی حرکات و برنامه‌ریزی هستند، دخیل است (۲, ۱۶). مطالعات مروری کمی نشان داده‌اند که متعاقب تمرین‌های شناختی و حرکتی، تغییرات کارکردی تقریباً مشابهی در مغز رخ می‌دهد. دویون و همکاران (۲۰۰۹) خاطر نشان کرده‌اند که در مرحله اولیه یادگیری حرکتی دو مسیر قشری - مخطط و قشری - مخچه‌ای دخیل هستند. روی‌هم‌رفته این دو مسیر جسم مخطط، مخچه و نواحی حرکتی قشر مغز و همچنین قشر پیش پیشانی، قشر آهیانه و هیپوکامپ را در مراحل اولیه یادگیری حرکتی فعال می‌کند. زمانی که یادگیری به مرحله پیشرفته‌تر رسید، فعالیت مدار قشری – مخچه‌ای کاهش می‌یابد؛ زیرا این مسیر در اجرای آگاهانه فعالیت حرکتی درگیر است. این در حالی است که فعالیت مسیر قشری مخططی (هسته‌های دمی / پوتامن) ثابت باقی می‌ماند. این یافته نشان می‌دهد که جسم مخطط برای بازیابی اطلاعات خوب آموخته شده بلندمدت ضروری است (۱۷). به طور مشابه دالین و همکاران (۱۸) نشان داده‌اند که متعاقب تمرین حافظه کاری، عملکرد قشر پیشانی و آهیانه‌ای که در عملکرد حافظه کاری دخیل هستند، کاهش می‌یابد درعین‌حال عملکرد نواحی زیر قشری مانند جسم مخطط افرایش می‌یابد.

ابزارهای بررسی عملکرد مغز شامل ابزارهایی پیشرفته آزمایشگاهی هستند که علاوه بر هزینه بر بودن استفاده از این ابزارها، آن‌ها در دسترس تمام افراد نیستند. بر همین اساس پرسش نامه هایی توسعه یافتند که عملکرد مغز را مورد بررسی قرار می‌دهند. از میان آن‌ها پرسش‌نامه مدارهای عصبی توسط شم

آبادی و همکاران (۲۰۲۲) ابداع شد که روایی و پایایی آن مورد تایید قرار گرفته است (۱۹). این محققان نشان دادند که شاخص قشری – مخچه‌ای برای دانشجویان با مدرک دکتری بالاتر از دانشجویان دیگر است. این تفاوت می‌تواند به دلیل نقش مدار مغزی مخچه‌ای در برنامه‌ریزی و کنترل رفتار و ایجاد جریان تفکر منظم باشد که احتمالا در موفقیت در آموزش نقش دارد. از آنجایی که هر دو مدار مورد بررسی در این پرسش‌نامه مربوط به فرایندهای حرکتی می‌باشد به منظور بررسی بیشتر این پرسش‌نامه ضروری به نظر می‌رسد که عملکرد این ابزار در سایر حیطه‌ها مورد بررسی قرار گیرد. در این مطالعه شطرنج به عنوان یک رشته شناختی در نظر گرفته شد و این مطالعه به طور خاص به مقایسه عملکرد مدارهای قشری- هسته های قاعده ای و قشری-مخچه‌ای پرداخته است. این نوع بررسی ممکن است در تحقیقات قبلی کمتر مورد توجه قرار گرفته باشد و به نوعی درک جدیدی از عملکرد عصبی ورزشکاران ارائه دهد. همچنین این مطالعه به بررسی تأثیر ورزش‌های شناختی (مانند شطرنج) در کنار ورزش‌های فیزیکی (مانند دو و میدانی) نوآوری قابل توجهی به شمار می‌آید. این مطالعه می‌تواند به بررسی تعامل بین عملکرد حرکتی و شناختی در ورزش‌های مختلف کمک کند. از طرف دیگر به کارگیری "پرسشنامه مدار عصبی" به عنوان ابزاری برای جمع‌آوری داده‌ها می‌تواند یک نوآوری روش‌شناختی محسوب شود که به ویژه برای نخستین بار در این زمینه بررسی می‌شود.هدف ثانویه این مطالعه نیز مقایسه عملکرد این دو مدار عصبی به طور کلی در بین ورزشکاران و غیرورزشکاران بود. با توجه به تأثیرات مثبت فعالیت‌های ورزشی بر سلامت روان و جسم، درک دقیق‌تر از چگونگی عملکرد سیستم‌های عصبی در ورزشکاران ضروری است. این مطالعه می‌تواند به توسعه برنامه‌های آموزشی و بهبود عملکرد در ورزش‌های مختلف کمک کند. نتایج این تحقیق می‌تواند به مربیان در طراحی برنامه‌های آموزشی بهتر و موثرتر کمک کند و به آنان امکان دهد که بر اساس نوع ورزش، تمرکز مناسبی بر روی جنبه‌های شناختی و حرکتی بگذارند. همچنین این مطالعه می‌تواند مبنای مناسبی برای تحقیقات آینده در حوزه‌های نوروساینس و ورزش فراهم کند و به درک بهتری از مکانیزم‌های عصبی مرتبط با فعالیت‌های ورزشی منجر شود.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع توصیفی و مقایسه ای است.

نمونه های پژوهش

شرکت‌کنندگان پژوهش حاضر شامل ۲۱۳ نفر از افراد ورزشکار و غیرورزشکار بودند که ۷۱ نفر از آن¬ها شطرنج‌باز (سن: ۱/۲۴ ± ۱۷/۶۹) و ۷۱ ورزشکاران رشته دوومیدانی (سن: ۰/۹۷ ± ۱۷/۵۳) و ۷۱ نفر غیرورزشکار (سن: ۰/۹۸ ± ۱۷/۴۱) بودند. شرکت

کننده‌های سه گروه از نظر سن، جنسیت، سطح تحصیلات با یکدیگر تفاوت معنی داری نداشتند.

معیارهای ورود به پژوهش و معیارهای خروج:

تمام شرکت‌کننده‌های ورزشکار حداقل ۵ سال سابقه شرکت در رشته ورزشی مورد نظر داشتند و معیار ورود آن¬ها عضویت در یکی از تیم‌های استانی بود. شرکت‌کننده‌های گروه کنترل نیز هیچگونه سابقه انجام فعالیت ورزشی منظم را نداشتند. هیچ کدام از شرکت‌کننده‌ها سابقه اختلال عصبی، اختلال روانی و استفاده از داروهای غیر مجاز نیروزا را نداشتند. تمام شرکت‌کننده‌ها فرم شرکت آگاهانه در مطالعه را امضا کردند.

ابزار گردآوری داده‌ها

پرسش‌نامه مدارهای عصبی[۴]: این پرسش نامه توسط شم آبادی و همکاران (۲۰۲۲) تهیه و تدوین شد که بر اساس دیدگاه جدید عملکرد مغز و با در نظر گرفتن نقش سایر قسمت‌های مغز علاوه بر قشر مغز تدوین شده‌است. در این دیدگاه مدارهای مختلف مغزی نقش‌هایی در فرایندهای شناختی و حرکتی دارند. مدار مربوط به عقده های قاعده ای در عملکردهایی مانند آگاهی محیطی، حافظه کاری، یادگیری فرایندی دخیل هستند. از طرف دیگر مدارهای مخچه¬ای در فرایندهایی شامل تحلیل لحظه‌ای اعمال، تعدیل رفتارها و افکار دخیل هستند. این پرسش‌نامه ۲۳ سوال دارد که هر سوال دارای ۵ گزینه از کاملا مخالف تا کاملا موافق را در بر می‌گیرد. این پرسش‌نامه در نهایت عملکرد مدار قشری – مخچه‌ای و قشری – هسسته های قاعده‌ای را مورد بررسی قرار می‌دهد. در این پرسش‌نامه سوال‌ها از یک تا ۵ نمره گذاری می‌شوند به گونه‌ای که ۵ یعنی کاملا موافقم و نمره ۱ برای پاسخ‌های کاملا مخالم در نظر گرفته شده‌است. در این پرسش‌نامه‌های سوال‌های ۴، ۵، ۶، ۹، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ به صورت معکوس نمره‌دهی می‌شود. روایی و پایایی این پرسش‌نامه در جامعه ایرانی مورد بررسی قرار گرفته-است و آلفای کرونباخ ۰/۶۱ گزارش شده‌است (۱۹). در مطالعه حاضر نتایج نشان داد که آلفای کرونباخ برای مدارهای عصبی قشری - هسته‌های قائده‌ای، قشری مخچه‌ای به ترتیب ۰/۹۶و ۰/۹۷ و ضرایب دو نیمه کردن اسپیرمن براون به ترتیب ۰/۹۴و ۰/۹۹ به دست آمد که نشان از پایایی مناسب پرسشنامه مدارهای عصبی در ورزشکاران دارد.

روش اجرا

به‌منظور جمع‌آوری داده ها، پرسش نامه در محل اجرای تمرین‌های ورزشکاران رشته‌های شطرنج و دو و میدانی در اختیار شرکت‌کننده ها قرار گرفت و توضیحاتی برای تکمیل پرسش‌نامه به آن‌ها ارائه شد. همچنین افرادی که سابقه شرکت در هیچ رشته ورزشی را نداشتند به‌عنوان نمونه غیرورزشکار به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. گروه‌ها از نظر سن،

جنسیت و سطح تحصیلات تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

تحلیل آماری

ازآنجایی‌که برای بررسی تفاوت بین گروه‌ها، پیش‌فرض‌های آزمون تحلیل واریانس چندمتغیره محقق نشد، از آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس برای بررسی تفاوت بین گروه‌ها استفاده شد. تمامی تحلیل‌ها با استفاده از نرم افزارSPSS نسخه ۲۱ با سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ انجام شد.

ملاحظات اخلاقی

تمامی شرکت کنندگان رضایت نامه آگاهانه شرکت در پژوهش را امضا کردند و به آن ها گفته شد هر زمان تمایل داشتند می توانند از پژوهش خارج شوند. همچنین به شرکت کننده ها اطمینان داده شد که نتایج آزمون محرمانه باقی خواهد ماند و اطلاعات به صورت گروهی تحلیل می شوند.

یافته‌ها

شاخص‌های توصیفی نمرات پرسش‌نامه مدار عصبی به تفکیک گروه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه فاصله‌ای بودن مقیاس اندازه‌گیری متغیرها استفاده از تحلیل واریانس چندمتغیره برای بررسی این فرضیه در اولویت بود. اما در بررسی پیش‌فرض‌ها، آزمون کلموگروف اسمیرنوف نشان داد که توزیع متغیرها به تفکیک گروه‌ها نیست (P<۰/۰۵). آزمون برابری خطای واریانس لوین نیز نشان داد که همگنی واریانس‌ها محقق نشده است (P<۰/۰۵). آزمون ام باکس هم‌نشان داد که همگنی ماتریس واریانس کوواریانس محقق نشده است (P<۰/۰۵). باتوجه‌به محقق‌نشدن مفروضات، در ادامه از آزمون ناپارمتریک کروسکال والیس برای بررسی تفاوت‌های بین‌گروهی استفاده شد. نتایج در جدول ۲ آورده شده است.

جدول۱. شاخص‌های توصیفی متغیرهای پرسش نامه مدار عصبی

مدارهای عصبی	دومیدانی	شطرنج	غیرورزشکار
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
قشری- هسته‌های قائده ای	۱۸/۰۰±۰/۸۶	۲۷/۷۷±۰/۳۷	۱۵/۲۲±۵/۴۴
قشری - مخچه ای	۱۴/۵۰±۰/۷۰	۲۴/۶۴±۰/۳۵	۱۳/۰۹±۴/۹۲

جدول۲. نتایج آزمون کروسکال-والیس جهت مقایسه مدارهای عصبی در بین گروه‌ها

مدارهای عصبی	گروه ها Groups	میانگین رتبه Mean of rank	آماره H H value	سطح معناداری P value
قشری - هسته‌های قائده ای	دومیدانی	۹۵/۶۰	۱۴۶/۱۴	۰/۰۰۱
	شطرنج	۱۷۲/۵۴		
	غیرورزشکار	۵۲/۸۶		
قشری - مخچه ای	دومیدانی	۹۵/۲۱	۱۴۸/۰۴	۰/۰۰۱
	شطرنج	۱۷۳/۰۸		
	غیرورزشکار	۵۲/۷۱		

جدول ۲ نشان می دهد که در مدار قشری-هسته‌های قائده‌ای (H=۱۴۶/۱۴ ،P≤۰/۰۰۱) و مدار قشری - مخچه‌ای (H=۱۴۸/۰۴ ،P≤۰/۰۰۱) تفاوت معناداری میان ورزشکاران دومیدانی، شطرنج و غیرورزشکاران وجود دارد. بیشترین و کمترین میانگین رتبه به ترتیب به گروه شطرنج بازان و غیرورزشکاران اختصاص دارد. در ادامه جهت مقایسه‌های دو گروهی از آزمون یو مان ویتنی استفاده شد. نتایج در جدول ۳ آورده شده است.

جدول۳. نتایج آزمون یو مان ویتنی جهت مقایسه دوگروهی در مدارهای عصبی

مدارهای عصبی	گروه‌ها	اختلاف میانگین رتبه	آماره Z	سطح معناداری
قشری - هسته‌های قائده‌ای	دومیدانی-شطرنج	-۷۱/۰۰	-۱۱/۰۴	۰/۰۰۱
	دومیدانی-غیرورزشکار	۴۸/۲۰	-۷/۶۲	۰/۰۰۱
	شطرنج-غیرورزشکار	۶۸/۰۸	-۹/۱۳	۰/۰۰۱
قشری - مخچه‌ای	دومیدانی-شطرنج	-۷۱/۰۰	-۱۱/۰۶	۰/۰۰۱
	دومیدانی-غیرورزشکار	۴۷/۴۲	-۷/۴۷	۰/۰۰۱
	شطرنج-غیرورزشکار	۶۱/۱۶	-۹/۳۰	۰/۰۰۱

نتایج جدول ۳ نشان داد که در تمامی مدارهای عصبی اختلاف معناداری میان ورزشکاران دوومیدانی با ورزشکاران شطرنج و غیرورزشکاران وجود دارد. میان شطرنج‌بازان و افراد غیرورزشکار نیز در مدارهای عصبی تفاوت معنی‌دار وجود دارد. به طوری که ورزشکاران (شطرنج و دو و میدانی) نسبت به غیرورزشکاران عملکرد و نمرات بالاتری کسب کردند و تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت. در نهایت در مقایسه سه گروهی بهترین عملکرد به ترتیب برای ورزشکاران شطرنج، ورزشکاران دو و میدانی و غیرورزشکاران بود.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی مطالعه حاضر مقایسه عملکرد مدارهای قشری – هسته‌های قاعده‌ای و قشری – مخچه‌ای ورزشکاران رشته‌های شطرنج، دو و میدانی و غیرورزشکاران بود. نتایج این مطالعه نشان داد که ورزشکاران هر دو رشته نسبت به غیرورزشکاران نمرات بالاتری را در عملکرد هر دو مدار کسب کردند. همچنین مقایسه عملکرد مدارها بین دو رشتهٔ ورزشی

شطرنج و دو و میدانی نشان داد که ورزشکاران رشته شطرنج در مقایسه با دو و میدانی در هر دو مدار قشری – هسته‌های قاعده‌ای و قشری – مخچه‌ای به‌صورت معنی‌داری نمرات بالاتری را کسب کردند. شم آبادی و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه خود که از ابزار NCQ استفاده کرده بودند نشان‌دادند که دانشجویان مقطع دکتری به دلیل نیاز به عملکردهای شناختی سطح بالاتر و جریان تفکر منظم، عملکرد مدار قشری – مخچه‌ای در آن‌ها نسبت به مقاطع کارشناسی ارشد و کارشناسی بالاتر بود (۱۹). با این وجود در مطالعه حاضر ورزشکاران رشته شطرنج که نیاز به عملکردهای شناختی سطح بالایی دارند و به عنوان یک رشته ورزشی شناختی شناخته می‌شود، عملکرد هر دو مدار قشری – قاعده‌ای و قشری – مخچه‌ای نسبت به یک رشته حرکتی‌تر مانند دو و میدانی و نسبت به غیرورزشکاران بالاتر بود. عملکرد سطح بالاتر مدار قشری – مخچه‌ای در ورزشکاران رشته شطرنج در مطالعه حاضر و دانشجویان مقطع دکتری در مطالعه شم آبادی و همکاران (۲۰۲۲) در یک راستا هستند. علاوه بر نقش مخچه در فعالیت-های کنترل حرکتی، بر اساس دیدگاه کوزیول و بودینگ (۲۰۰۹) که بیان کرده‌است مخچه ارتباط-های وسیعی با قشر مغز دارد (۲). چندین نظریه در مورد نقش خاص مخچه در فرآیندهای عصبی معرفی شده است، از جمله زمان‌بندی، ترتیب‌بندی و یادگیری روابط وابسته بین عناصر. مخچه هم در استخراج اطلاعات مرتبط از محیط و هم در یادگیری رویه‌های مرتبط با آن اطلاعات مهم است. این ایده‌ها می‌توانند در نظریه‌ای گنجانده شوند که مخچه برای شکل‌گیری مدل‌های داخلی که می‌توانند در هر دو بخش حرکتی و عملکردهای شناختی اعمال شوند، حیاتی است. مدل‌های داخلی به دست می‌آیند، آموزش دیده می‌شوند و سپس برای پیش‌بینی/انتظار رویدادهای آینده و برآورد وضعیت استفاده می‌شوند. مدل‌ها باید جنبه‌هایی از ویژگی‌های محرک‌ها و ارتباط زمینه‌ای آنها را یاد بگیرند و بر اساس بازخوردی که در مورد نتیجه واقعی در مقابل پیامد مورد نظر مدل دریافت می‌کنند، تنظیم شوند به طوری که ناهم‌خوانی بین پیش‌بینی‌ها و تجربیات منجر به تغییر مدل گردد. بدین ترتیب، مدل‌های داخلی می‌توانند نمایانگر مجموعه‌ای از داده‌ها باشند که از طریق اتصالات متقابل خود با قشر مغز و نخاع به مخچه ارائه می‌شوند، از جمله عناصر زبان، تجربه حسی یا برنامه‌های حرکتی (۲۰). بنابراین مخچه در فرایندهای شناختی از قبیل کنترل کیفیت تفکر، برنامه‌ریزی زمانی برای فعالیت‌های آینده، کنترل رفتارهای درحال اجرا و همچنین کنترل الگوهای شناختی دخیل هستند. به نظر می‌رسد انجام یک‌رشته ورزشی شناختی و تحصیل در مقاطع بالای تحصیلی هر دو به عملکرد مدارهای قشری – مخچه‌ای نیاز دارند که جریان تفکر را کنترل کنند. اما نتیجه مطالعه حاضر نشان داد که در ورزشکاران رشته شطرنج علاوه بر مدار قشری – مخچه‌ای، مدار قشری – هسته‌های قاعده‌ای نیز عملکرد بالاتری نسبت به ورزشکاران رشته حرکتی‌تر مانند دو و میدانی و غیرورزشکاران داشتند. نقش مدار قشری – هسته‌های قاعده‌ای در فعالیت‌های حرکتی به‌خوبی بررسی شده است. مسیرهای حرکتی مغز به دو بخش هرمی و خارج هرمی تقسیم می‌شوند. مسیرهای هرمی از قشر مغز شروع می‌شوند و به ارگان‌های

حرکتی ختم می‌شوند. از طرف دیگر مسیرهای خارج هرمی از قشر مغز شروع می‌شوند و دوباره به قشر بر می‌گردند که نقش آن‌ها بازنمایی درونی حرکت است (۲۱, ۲۲). مطالعات عصب‌شناسی نشان داده‌اند که شاخه‌های نزولی مسیرهای خارج هرمی از قشر مغز شروع می‌شوند به هسته‌های قاعده‌ای می‌رسند در آن جا پردازش‌ها انجام می‌شود و سپس به قشر مغز برمی‌گردند. هسته‌های قاعده‌ای نقش مهمی در مکانیسم‌های بازداری متعددی دارند. همچنین مطالعه‌های اخیر نشان داده‌اند که هسته‌های قاعده‌ای و مسیرهای آن نقش مهمی در یادگیری الگوهای حرکتی نیز دارند و حرکات را زمانی که توسط توجه آنلاین کنترل نمی‌شوند، کنترل می‌کنند (۲, ۵, ۲۳). از طرف دیگر مطالعات عصب‌شناختی نشان داده‌اند که شاخه‌های عصبی خارج شده از هسته‌های قاعده‌ای نه‌تنها با قشر حرکتی ارتباط دارند؛ بلکه بسیاری از این مسیرها به نقاط دیگری در قشر مغز می‌روند که در پردازش‌های شناختی دخیل هستند (۳). مسیرهای قشری – هسته‌ای قاعده‌ای نقش مهمی در پردازش‌های شناختی از قبیل محاسبات، انتخاب فکرها و روانی تفکر دارند. نقش دیگر این مسیر جلوگیری از حرکت‌های غیرضروری و نامرتبط با هدف، بازداری افکار نامرتبط و جلوگیری از ورود به افکار بی‌نتیجه یا حواس‌پرتی می‌باشد (۲). به نظر می‌رسد این نوع از عملکردهای شناختی در رشته شطرنج موردنیاز است و سال‌ها مبادرت به انجام رشته شناختی‌ای مانند شطرنج باعث شده است که عملکرد مدار قشری – هسته‌ای قاعده‌ای نیز در این ورزشکاران نسبت به ورزشکاران رشته حرکتی بالاتر باشد. مطالعات روان‌شناسی نشان داده‌اند که در حافظه بلندمدت شطرنج‌بازان حرفه‌ای الگوهای وسیعی از بازی شطرنج ذخیره شده است. الگوهای شطرنج مانند واحدهای ادراکی عمل می‌کنند که به آن‌ها تکه‌ها می‌گویند. بر اساس این مدل هرچه سطح تجربه شطرنج‌باز بالاتر باشد تعداد بیشتری از تکه‌های الگوی شطرنج در حافظه بلندمدت ذخیره می‌شود. این ساختارهای بلندمدت زمانی که شطرنج‌باز یک موقعیت شطرنج را ادراک می‌کند، به‌صورت خودکار فعال می‌شوند؛ بنابراین ادراک تکه‌ها به‌صورت خودکار ایدهٔ بهترین حرکت بعدی را تولید می‌کند (۶, ۲۴). این فرایند شبیه پردازش محرک – پاسخ است که نیازمند عملکرد هسته‌های دم‌دار است؛ اما فرایند ادراک الگو و ایجاد حرکت بعدی بسیار پیچیده‌تر است (۶). به نظر می رسد پاسخ های شطرنج بازان فراتر از یک پاسخ محرک – پاسخ باشد و بیشتر مشابه یادگیری شرطی است که عقده های قاعده ای و سیستم دوپامینرژیک در آن دخیل هستند (۲۵). یادگیری شرطی یعنی یادگیری یک سری از قوانین موقعیتی که در آن نشانه ای که در زمان t وجود دارد باید پاسخ هایی را با توجه به محرک موجود در زمان t-1 فراخوانی کند. نشانه های بینایی موجود در صفحه شطرنج که به عنوان ویژگی های تشخیصی شناخته می شوند توسط حرکت چشم ها شناسایی می شوند که این اطلاعات باید با اطلاعات ذخیره شده ی قبلی در حافظه بلند مدت (در ارتباط با شطرنج می توان به تکه ها اشاره کرد) ارتباط برقرار شود که این فرایند توسط مسیر بینایی – عقده های قاعده ای که شامل دم و بدنه ی هسته ی دم دار است و همچنین توسط مسیر اجرایی که شامل سر هسته ی دم دار است، انجام می شود (۲۶, ۲۷). زمانی که یک

پاسخ جفت شده ی صحیح ایجاد شد، قشر پیش پیشانی این ارتباط بین محرک و پاسخ را یاد می گیرد و سیستم پاداشی فعال می شود و در موقعیت های مشابه از طریق تعدیل های سیستم های دوپامینرژیک پیام های بالایی – پایینی مناسب صادر می شود (۲۶). پس به‌طورکلی نتایج مطالعه حاضر می‌تواند احتمالاً این موضوع را نشان دهد که رشته شطرنج چرا و چگونه به عملکرد هر دو مدار قشری – هسته‌های قاعده‌ای و قشری – مخچه‌ای نیاز دارد.

یکی دیگر از نتایج جالب این مطالعه عملکرد بالاتر هر دو مدار قشری – هسته‌های قاعده‌ای و قشری – مخچه‌ای در ورزشکاران (شطرنج و دو و میدانی) نسبت به غیرورزشکاران بود. به نظر می‌رسد نقش این دو مدار عصبی در پردازش‌های حرکتی و نیاز رشته‌های ورزشی به انجام فعالیت‌های حرکتی باعث شده است که عملکرد این دو مدار در ورزشکاران نسبت به غیرورزشکاران بالاتر باشد. از طرف دیگر به نظر می‌رسد احتمالاً در رشته ورزشی شطرنج به دلیل نیازهای شناختی مضاعف بر عملکرد حرکتی باعث شده است که مسیرهای شناختی این مدارها نیز در ورزشکاران رشته شناختی مانند شطرنج تقویت شود و احتمالاً همین امر سبب اختلاف معنی‌دار عملکرد دو مدار قشری – هسته‌ای قاعده‌ای و قشری – مخچه‌ای در ورزشکاران رشته شطرنج شده است .

به طور کلی در مطالعات مخچه و هسته‌های قاعده‌ای به واسطه نقشی که در هماهنگی رفتار حرکتی دارند، شناخته می‌شوند (۲۸). اما تعداد فزاینده‌ای از مطالعات تجربی دخالت آن را در عملکردهای شناختی و عاطفی نیز نشان داده‌اند (۲۶, ۲۹). عملکردهای شناختی سطح بالاتر مانند توجه، عملکرد اجرایی، زبان، پردازش دیداری و فضایی و یادگیری و حافظه تحت‌تاثیر زیر قشر قرار دارند (۲). بعد رفتاری این فرایندهای شناختی، کنترل حرکتی و کنترل تفکر است. کنترل حرکتی به معنی استفاده از قدرت و اندازه مناسب حرکات است و کنترل فکر به معنی یکپارچگی جریان تفکر است. نتایج مطالعه حاضر احتمالا می تواند در راستای تایید ادبیات موجود باشد که نشان داده شده است فعالیت بدنی هم بعد رفتاری و هم بعد شناختی مغز را تحت تاثیر قرار می‌دهد و ورزش‌هایی که علاوه بر حرکت، بار شناختی بیشتری نیز دارند باعث فعالیت بیشتر سیستم عصبی زیر قشری خواهد شد. این مطالعه نشان داد که ورزشکاران، به ویژه کسانی که در رشته‌های ورزشی شناختی (مانند شطرنج) و ورزشی فیزیکی (مانند دو و میدانی) فعالیت می‌کنند، در مقایسه با غیرورزشکاران عملکرد بهتری در مدارهای عصبی خاص دارند. این موضوع نشان می‌دهد که شرکت در این ورزش‌ها احتمالا می‌تواند به بهبود عملکردهای شناختی و حرکتی منجر شود. همچنین یافته‌ها حاکی از آن است که آموزش در ورزش‌های مختلف می‌تواند به افزایش عملکردهای شناختی و حرکتی به صورت متفاوت منجر شود. این موضوع می‌تواند به برنامه‌های آموزشی کمک کند که با هدف تقویت این مدارهای عصبی به عملکرد بهتر کمک کنند. از طرف دیگر درک تفاوت‌ها در عملکرد مدارهای عصبی می‌تواند منجر به ابزارهای ارزیابی بهتر برای شناسایی نقاط قوت و ضعف در ورزشکاران شود که در نهایت می‌تواند به هدایت برنامه‌های آموزشی و توسعه کلی ورزشکاران کمک کند.

با این وجود این مطالعه دارای محدودیت هایی نیز می باشد. به عنوان مثال حجم نمونه کوچک خصوصا در گروه غیر ورزشکار ممکن است جوابگوی تنوعات بین فردی نباشد و نتایج قابلیت تعمیم دهی بالایی ندارد. از طرف دیگر استفاده از روش آماری ناپارامتریک در بخش تحلیل داده ها ممکن است دارای محدودیت هایی باشد که پیشنهاد می شود در تحقیق های آینده با افزایش تعداد نمونه از روش های آماری پیچیده تری استفاده شود. همچنین در این مطالعه عوامل مداخله گر دیگر مانند سن، جنسیت کنترل نشد که به محققان آینده پیشنهاد می شود این عوامل را در نظر بگیرند. از طرف دیگر با توجه به جدید بودن این پرسش نامه به محققان آینده پیشنهاد می شود عملکرد این دو مسیر توسط الکتروانسفالوگراف نیز مورد بررسی قرار گیرد زیرا ممکن است این ابزار تحت تاثیر خودپاسخگویی شرکت کنندگان قرار گیرد و دقت نتایج را کاهش دهد. همچنین ممکن است این ابزار برای اندازه گیری تمام جنبه های شناختی و حرکتی کافی نباشد.

تشکر و قدردانی

از تمامی افرادی که در این مطالعه مشارکت داشتند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

پانویس‌ها

1. Corticocenteric
2. Cortico-Basal-Ganglia Circuitry
3. Cerebro-Cerebellar Circuitry
4. Neural Circuits Questionnaire

References

1. Atherton M, Zhuang J, Bart WM, Hu X, He S. A functional MRI study of high-level cognition. I. The game of chess. Cognitive Brain Research. 2003;16(1):26-31. https://doi.org/10.1016/S0926-6410(02)00206-9.

2. Koziol LF, Budding DE. Subcortical structures and cognition: Implications for neuropsychological assessment: Springer; 2009. https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-84868-6.

3. Albright TD, Kandel ER, Posner MI. Cognitive neuroscience. Current opinion in neurobiology. 2000;10(5):612-24. https://doi.org/10.1016/S0959-4388(00)00132-X.

4. Koshiyama D, Fukunaga M, Okada N, Yamashita F, Yamamori H, Yasuda Y, et al. Role of subcortical structures on cognitive and social function in schizophrenia. Scientific reports. 2018;8(1):1183. 10.1038/s41598-017-18950-2.

5. Price CJ. The evolution of cognitive models: From neuropsychology to neuroimaging and back. Cortex. 2018;107:37-49. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.12.020 6. Wan X, Nakatani H, Ueno K, Asamizuya T, Cheng K, Tanaka K. The neural basis of intuitive best next-move generation in board game experts. Science. 2011;331(6015):341 6. doi: 10.1126/science.1194732.

7. Duan X, He S, Liao W, Liang D, Qiu L, Wei L, et al. Reduced caudate volume and enhanced striatal-DMN integration in

chess experts. Neuroimage. 2012;60(2):1280-6. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.01.047
8. Daw ND, Niv Y, Dayan P. Uncertainty-based competition between prefrontal and dorsolateral striatal systems for behavioral control. Nature neuroscience. 2005;8(12):1704-11. 10.1038/nn1560.
9. Gläscher J, Daw N, Dayan P, O'Doherty JP. States versus rewards: dissociable neural prediction error signals underlying model-based and model-free reinforcement learning. Neuron. 2010;66(4):585-95. 10.1016/j.neuron.2010.04.016.
10. Di Martino A, Scheres A, Margulies DS, Kelly A, Uddin LQ, Shehzad Z, et al. Functional connectivity of human striatum: a resting state FMRI study. Cerebral cortex. 2008;18(12):2735-47. https://doi.org/10.1093/cercor/bhn041.
11. King-Casas B, Tomlin D, Anen C, Camerer CF, Quartz SR, Montague PR. Getting to know you: reputation and trust in a two-person economic exchange. Science. 2005;308(5718):78-83. 10.1126/science.1108062.
12. Monchi O, Petrides M, Strafella AP, Worsley KJ, Doyon J. Functional role of the basal ganglia in the planning and execution of actions. Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society. 2006;59(2):257-64. https://doi.org/10.1002/ana.20742.
13. Balleine BW, Liljeholm M, Ostlund SB. The integrative function of the basal ganglia in instrumental conditioning. Behavioural brain research. 2009;199(1):43-52. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2008.10.034.
14. Graybiel AM. The basal ganglia: learning new tricks and loving it. Current opinion in neurobiology. 2005;15(6):638-44. https://doi.org/10.1016/j.conb.2005.10.006.
15. Graybiel AM. Habits, rituals, and the evaluative brain. Annu Rev Neurosci. 2008;31(1):359-87. https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.29.051605.112851.
16. Chen J, Ruan X-G, Dai L-Z. Behavior cognition computational model based on cerebellum and basal ganglia mechanism. Patt Recognit Artif Intell. 2012;25(1):29-36.
17. Doyon J, Bellec P, Amsel R, Penhune V, Monchi O, Carrier J, et al. Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. Behavioural brain research. 2009;199(1):61-75. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2008.11.012.
18. Dahlin E, Bäckman L, Neely AS, Nyberg L. Training of the executive component of working memory: subcortical areas mediate transfer effects. Restorative neurology and neuroscience. 2009;27(5):405-19. 10.3233/RNN-2009-0492.
19. Shamabadi R, Rahimi MD, Khorshidearab ZS, Faramarzi moghadam M, Raeeni S, Kamrani A. Development, validity, and reliability of Neural Circuits Questionnaire (NCQ). Applied Neuropsychology: Adult. 2022:1-6. https://doi.org/10.1080/23279095.2022.2089040.

20. Jacobi H, Faber J, Timmann D, Klockgether T. Update cerebellum and cognition. Journal of neurology. 2021:1-5. 10.1007/s00415-021-10486-w.
21. Middleton FA, Strick PL. Basal ganglia output and cognition: evidence from anatomical, behavioral, and clinical studies. Brain and cognition. 2000;42(2):183-200. https://doi.org/10.1006/brcg.1999.1099.
22. Squire L, Berg D, Bloom FE, Du Lac S, Ghosh A, Spitzer NC. Fundamental neuroscience: Academic press; 2012.
23. Purves D, Brannon E, Cabeza R, Huettel S, LaBar K, Platt M, et al. Overview of Attention. Principles of Cognitive Neuroscience Vol Sinauer Associates, Inc. 2008:247-70.
24. Chase WG, Simon HA. Perception in chess. Cognitive psychology. 1973;4(1):55-81. https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90004-2.
25. Pierce JE, Péron J. The basal ganglia and the cerebellum in human emotion. Social cognitive and affective neuroscience. 2020;15(5):599-613. https://doi.org/10.1093/scan/nsaa076.
26. Bostan AC, Strick PL. The basal ganglia and the cerebellum: nodes in an integrated network. Nature Reviews Neuroscience. 2018;19(6):338-50. doi: 10.1038/s41583-018-0002-7.
27. Yahya K. The basal ganglia corticostriatal loops and conditional learning. Reviews in the Neurosciences. 2021;32(2):181-90. https://doi.org/10.1515/revneuro-2020-0047.
28. Bastian A, Mugnaini E, Thach W. Cerebellum. 1999. https://philpapers.org/rec/BASC.
29. Schmahmann JD. Disorders of the cerebellum: ataxia, dysmetria of thought, and the cerebellar cognitive affective syndrome. The Journal of neuropsychiatry and clinical neurosciences. 2004;16(3):367-78. https://doi.org/10.1176/jnp.16.3.367.