

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623386>

# Рабочая память: что говорят исследования об осцилляциях и функциональной связности?

Н.С. Отставнов\*, Е.А. Воеводина, Т. Феделе

Центр нейроэкономики и когнитивных исследований, Институт когнитивных нейронаук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

Рабочая память является центральной когнитивной функцией в осуществлении краткосрочного хранения и обработки информации при целенаправленной деятельности [1]. Множество исследований с применением ЭЭГ, МЭГ и стерео-ЭЭГ было проведено с целью обнаружить нейрональные корреляты рабочей памяти: осцилляции, возникающие в определённых зонах мозга в отсутствие запоминаемого стимула. Данные работы изучали разные аспекты (запоминание, хранение, обработку, упорядочивание, обновление, торможение) и модальности рабочей памяти и подчеркнули важность изучения функциональной связности между разными зонами мозга. Таким образом, учёными было накоплено множество зачастую противоречащих данных, не систематизированных в единую систему [2].

**Цель работы.** Проведение систематического обзора публикаций с 1980 г. по настоящее время, индексируемых в базах Scopus, Web of Science и Pubmed. Главные вопросы систематического обзора, сформулированные по структуре PICo [3]: какие нейрональные сети, вовлечённые в разные модальности рабочей памяти, обнаруживают синхронизации между частотами и внутри частот у когнитивно сохранных респондентов (структура PICo); существуют ли различия в характеристиках нейрональных сетей у взрослых и пожилых; возможно ли привести характеристики нейрональных сетей пожилых в соответствие с таковыми у взрослых, применяя различные интервенции. Систематический обзор проводится по методологии PRISMA-P 2015 [4]. Основные содержательные критерии включения статей: исследование феномена рабочей памяти, анализ визуальной, вербальной и неспецифической модальности, применение ЭЭГ/МЭГ/стерео-ЭЭГ, оценка взрослых и пожилых респондентов, наличие количественных результатов поведенческого и нейрокогнитивного исследования. Критерии исключения: использование эмоциональных стимулов, оценка долговременной памяти, применение фМРТ, недостаточное количество респондентов, респонденты одного пола, респонденты с когнитивными или иными нарушениями, отсутствие частотно-временного анализа, применение физических или диетических интервенций, отсутствие экспериментального исследования в статье, оценка рабочей памяти на неродном для респондента языке. Систематический обзор проводится на платформе nested-knowledge.com.

Исходя из заявленных параметров, мы провели поиск релевантных статей и обнаружили 2828 работ, соответствующих формуле поиска на основе критериев включения. Последующий скрининг аннотаций осуществляется двумя экспертами и позволил выделить 234 статьи, а ознакомление с полными текстами — 89 релевантных статей. Полученный пул статей характеризуется следующими параметрами: 69 статей описывают взрослых, 5 — пожилых, а 12 статей сравнивают обе возрастные группы, 42 статьи описывают осцилляцию, 15 — функциональную связность, 32 — обе метрики; 22 статьи описывают все стадии рабочей памяти, 8 — запоминание, 11 — запоминание и хранение, 4 — хранение и воспроизведение, 23 — хранение, 9 — хранение и обработку, 7 — обработку, 1 — воспроизведение, и 3 без разделения на стадии; 28 — вербальную память, 51 — визуальную память, 8 статей содержат сравнение модальностей, а 2 статьи описывают модально неспецифические задачи.

Предварительные результаты проведённого систематического обзора показали разную роль частот для рабочей памяти. Так, тета-ритмы (4–8 Гц) в лобной коре наиболее часто упоминались в связи с хранением информации, при этом с тенденцией увеличения синхронизации при обработке информации. Альфа-ритм (8–14 Гц) был связан с торможением нерелевантной информации и защитой текущего содержания рабочей памяти, что согласуется с общепринятой парадигмой [5]. Бета-ритм (14–28 Гц) чаще всего наблюдался при хранении и воспроизведении информации, при этом его мощность коррелировала с показателями точности памяти. Гамма-ритм (28 Гц и выше) наблюдался при кодировании и хранении информации, при этом демонстрируя большую мощность для более сложных стимулов.

Анализ коннективности показал, что при запоминании визуальных и вербальных стимулов задействуются межполушарные лобно-височные, лобно-центральные связи, взаимодействующие посредством тета-ритмов. Хранение ин-

Рукопись получена: 16.05.2023

Рукопись одобрена: 26.11.2023

Опубликована online: 20.01.2024

формации опирается на взаимодействие тета- и гамма-ритмов между лобной и теменной сетями. Для вербальных стимулов связность лобной и височной долей мозга посредством тета-ритма повышается с нагрузкой при хранении. Альфа-ритм обуславливает связь в задних отделах, а также в лобных и задних отделах, во время хранения информации, а бета-ритм — в лобно-височных. При хранении визуальной информации наблюдаются лобно-постцентральные связи, осуществляющиеся с помощью тета-ритма. С ростом нагрузки при хранении увеличивается лобно-теменная и лобно-лобная связь посредством тета-ритма, однако она ослабевает после достижения пороговой ёмкости рабочей памяти.

При обработке информации наблюдалась связность правой лобно-затылочной сети, правой префронтальной и левой затылочной, правой лобной и затылочно-теменной для визуальной памяти и лобно-теменной для вербальной памяти посредством тета-ритма. Связность затылочных областей мозга осуществлялась преимущественно посредством альфа-ритма, а височных — с помощью высоких частот.

Особых отличий у взрослых и пожилых обнаружено не было, кроме угнетения низких частот и преобладания высоких частот в анализе связности.

**Ключевые слова:** рабочая память; ЭЭГ; МЭГ; стерео-ЭЭГ; осцилляции; связность; систематический обзор.

**Как цитировать:**

Отставнов Н.С., Воеводина Е.А., Феделе Т. Рабочая память: что говорят исследования об осцилляциях и функциональной связности? // Гены и клетки. 2023. Т. 18, № 4. С. 633–636. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623386>

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Это исследование поддержано Российским научным фондом (проект № 22-18-00660).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Величковский Б.Б. Соотношение хранения и переработки информации в рабочей памяти // Национальный психологический журнал. 2016. № 2. С. 18–27. doi: 10.11621/npj.2016.0202
2. Baddeley A. Working memory: theories, models, and controversies // Annual Review of Psychology. 2012. Vol. 63. P. 1–29. doi: 10.1146/annurev-psych-120710-100422
3. Munn Z., Stern C., Aromataris E., et al. What kind of systematic review should I conduct? A proposed typology and guidance for systematic reviewers in the medical and health sciences // BMC Medical Research Methodology. 2018. Vol. 18, N 1. P. 5. doi: 10.1186/s12874-017-0468-4
4. Shamseer L., Moher D., Clarke M., et al. Preferred reporting items for systematic re-view and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation // BMJ. 2015. Vol. 350. P. g7647. doi: 10.1136/bmj.g7647
5. Bonnefond M., Jensen O. Alpha oscillations serve to protect working memory maintenance against anticipated distracters // Current Biology. 2012. Vol. 22, N 20. P. 1969–1974. doi: 10.1016/j.cub.2012.08.029

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

\* Н.С. Отставнов; адрес: Российская Федерация, 109548, Москва, пер. Кривоколенный, д. 3; e-mail: [nikita.otstss@gmail.com](mailto:nikita.otstss@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623386>

# Working memory: what does research say about oscillation and functional connectivity?

N.S. Otstavnov\*, E.A. Voevodina, T. Fedele

Centre for Cognition and Decision making, Institute for Cognitive Neuroscience, National Research University "Higher School of economics", Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

Working memory is a crucial cognitive function for processing and storing information in short-term memory during purposeful activities [1]. Numerous studies using EEG, MEG, and stereo-EEG were conducted to identify the neurophysiological correlates of working memory, including oscillations in specific brain regions in the absence of a memorized stimulus. The studies explored multiple aspects such as encoding, maintenance, processing, ordering, updating, and inhibition and various working memory modalities. Additionally, the studies highlighted the significance of examining the functional connectivity between different brain regions. As a result, researchers have amassed a large amount of data that is often contradictory and lacks organization [2].

The aim of this study is to perform a methodical review of literature published from 1980 up to the present period, cataloged in the Scopus, Web of Science, and Pubmed databases. The systematic review follows the PICo structure and addresses three main questions: which neuronal networks are involved in different working memory modalities and detect synchronizations between and within frequencies in cognitively safe subjects; are there disparities in the characteristics of neuronal networks between adults and the elderly; and can various interventions be employed to align the characteristics of neuronal networks in the elderly with those of adults [3]. The systematic review follows PRISMA-P 2015 protocol [4]. Main inclusion criteria focus on investigating working memory, analyzing visual, verbal and nonspecific modalities, using EEG/MEG/stereo-EEG, assessing adult and elderly subjects, and providing quantitative results from behavioral and neurocognitive research. Exclusion criteria: The study excluded emotional stimuli and assessments of long-term memory as well as the use of fMRI. Additionally, unigender studies and studies with subjects who had cognitive or other impairments were not included. In addition, the study required a sufficient number of subjects and time-frequency analysis. Moreover, physical or dietary interventions were excluded, and experimental research was necessary for inclusion. The study did not assess working memory in a foreign language for the subjects. A systematic review was conducted on the platform nested-knowledge.com.

Based on the given criteria, a literature search was performed, yielding 2,828 articles meeting the inclusion criteria. These were further screened by two experts, resulting in the identification of 234 relevant articles, and upon full text review, 89 articles were deemed relevant. The resulting pool of articles is characterized by the following parameters: 69 articles describe adult subjects, 5 articles describe elderly subjects, and 12 articles compare both groups. Additionally, 42 articles focus on oscillation, 15 on functional connectivity, and 32 on both metrics. Concerning working memory, 22 articles describe all stages, 8 focus on encoding, 11 on encoding and maintenance, 4 on maintenance and recall, 23 on maintenance, 9 on maintenance and processing, 7 on processing, 1 on recall, and 3 without separating stages. Furthermore, 28 articles pertain to verbal memory, 51 to visual memory, 8 articles contain comparisons of modalities, and 2 articles discuss modally non-specific tasks.

Preliminary findings from the systematic review indicate distinct functions of various frequency bands for working memory. Specifically, theta rhythms (4–8 Hz) in the frontal lobe were predominantly associated with information maintenance, while demonstrating a propensity for increased synchronization during information processing. The alpha rhythm (8–14 Hz) was associated with inhibiting irrelevant data and protecting the current content of working memory, aligning with the widely accepted paradigm [5]. The beta rhythm (14–28 Hz) was most frequently noted to occur when maintaining and recalling information, and its power was associated with memory accuracy indicators. The gamma rhythm (28 Hz and higher) was seen during the process of encoding and maintaining information, and exhibited greater power for more complex stimuli.

The analysis of connectivity revealed that encoding visual and verbal stimuli involves interhemispheric frontal-temporal and frontal-central connections that interact through theta rhythms. Additionally, storing information relies on the interplay of theta and gamma rhythms between the frontal and parietal networks. Notably, when dealing with verbal stimuli, the connectivity of the frontal and temporal brain lobes through theta rhythm enhances with load during storage. The alpha rhythm facilitates communication across posterior and frontal divisions during information storage, whereas beta rhythm is associated with frontal-temporal connections. During visual information storage, theta rhythm mediates communication across frontal-postcentral connections. As storage load increases, theta rhythm leads to strengthening of frontal-parietal and frontal-frontal connections until the threshold of working memory capacity is reached, after which these connections weaken.

Received: 16.05.2023

Accepted: 26.11.2023

Published online: 20.01.2024

When processing information, connectivity of the right frontal-occipital network, right prefrontal and left occipital regions, right frontal and occipital-parietal areas for visual memory, and frontal-parietal regions for verbal memory were observed in the theta band. Connectivity of the occipital brain regions primarily occurred in the alpha spectrum, and temporal regions exhibited high frequencies.

No specific differences were observed between the elderly and adults, aside from the suppression of low frequencies and the prevalence of high frequencies in the connectivity analysis.

**Keywords:** working memory; EEG; MEG; stereo-EEG; oscillation; connectivity; systematic review.

**To cite this article:**

Otstavnov NS, Voevodina EA, Fedele T. Working memory: what does research say about oscillation and functional connectivity? *Genes & Cells*. 2023;18(4):633–636. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623386>

## ADDITIONAL INFORMATION

**Funding sources.** This study was funded by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 22-18-00660).

## REFERENCES

1. Velichkovskiy BB. The correlation between storage and processing information in working memory. *National Psychological Journal*. 2016;(2):18–27. doi: 10.11621/npj.2016.0202
2. Baddeley A. Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*. 2012;63:1–29. doi: 10.1146/annurev-psych-120710-100422
3. Munn Z, Stern C, Aromataris E, et al. What kind of systematic review should I conduct? A proposed typology and guidance for systematic reviewers in the medical and health sciences. *BMC Medical Research Methodology*. 2018;18(1):5. doi: 10.1186/s12874-017-0468-4
4. Shamseer L, Moher D, Clarke M, et al. Preferred reporting items for systematic re-view and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. *BMJ*. 2015;350:g7647. doi: 10.1136/bmj.g7647
5. Bonnefond M, Jensen O. Alpha oscillations serve to protect working memory maintenance against anticipated distracters. *Current Biology*. 2012;22(20):1969–1974. doi: 10.1016/j.cub.2012.08.029

## AUTHORS' CONTACT INFO

\* N.S. Otstavnov; address: 3 Krivokolenny lane, 109548 Moscow, Russian Federation; e-mail: [nikita.otstss@gmail.com](mailto:nikita.otstss@gmail.com)