

**Д. А. Касанов
А. И. Котюсов
А. И. Косаченко
А. С. Гашкова
Ю. Г. Павлов**

*Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б. Н. Ельцина
Екатеринбург, Россия*

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОГНИТИВНОЙ ПЕРЕГРУЗКИ ПО РАЗМЕРУ ЗРАЧКА И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА

Когнитивная перегрузка может быть определена как превышение объема информации, который требуется удерживать, над объемом доступных ресурсов рабочей памяти. Сравнительный анализ динамики таких психофизиологических показателей как диаметр зрачка и ритмическая активность мозга может помочь описать механизмы возникновения когнитивной перегрузки.

Ключевые слова: рабочая память, ЭЭГ, электроэнцефалография, пупиллометрия, когнитивная перегрузка.

**Dauren A. Kasanov
Alexander I. Kotyusov
Alexandra I. Kosachenko
Anastasia S. Gashkova
Yuri G. Pavlov**

*Ural Federal University named
after the first President of Russia B. N. Yeltsin
Yekaterinburg, Russia*

ASSESSMENT OF THE STATE OF COGNITIVE OVERLOAD BY PUPIL SIZE AND ELECTRICAL BRAIN ACTIVITY

Cognitive overload can be defined as the excess of information to be retained over the available working memory resources. A comparative analysis of the dynamics of such psychophysiological indicators as pupil

diameter and rhythmic brain activity can help describe the mechanisms of cognitive overload.

Keywords: working memory, EEG, electroencephalography, pupillometry, cognitive overload.

Введение. Целью исследования было изучить влияние превышения индивидуального предела объема рабочей памяти (диапазон цифр) на психофизиологические показатели функции рабочей памяти, такие как среднелобная мощность тета-ритма, мощность затылочно-теменного альфа ритма и диаметр зрачка.

Материалы и методы. 107 испытуемых, средний возраст $20,3 \pm 2,14$ лет, 83 женщины; с правым доминантным глазом 64; с ведущей правой рукой — 91, амбидекстров — 4, с ведущей левой рукой — 9. Испытуемые не имели психических или неврологических отклонений в анамнезе и имели нормальное или скорректированное до нормального зрение. Для регистрации диаметра зрачка использовался ай-трекер Pupil Labs (120 Гц). Для записи ЭЭГ использовалась 64-канальная система с активными электродами ActiChamp. Испытуемые выполняли задачу на запоминание рядов цифр (digit span), где определялась максимальная длина ряда цифр, который испытуемый мог удержать в рабочей памяти и в последующем воспроизвести как минимум 7 проб в блоке из 10 проб. Эта длина ряда определялась как уровень максимальной нагрузки. Длина ряда больше на одну цифру, определялась как уровень когнитивной перегрузки (при условии точного выполнения 6 из 10 проб в блоке и меньше).

Результаты. Для анализа показателей успешности запоминания были доступны данные 98 испытуемых. Медианное значение длины ряда, на котором был достигнут уровень когнитивной перегрузки согласно нашему определению (6 из 10 верно воспроизведенных проб или менее в блоке), составило 7 цифр. Высокозначимые различия были обнаружены между уровнем, соответствующим объему памяти, и уровнем перегрузки в проценте правильно (полностью и в верном порядке) воспроизведенных рядов (74,3 % против 51,5 %; $F(1,97) = 269,63$, $p < .001$, $\eta^2 = .74$). Сравнение успешности запоминания отдельных цифр, находящихся на различных позициях

в рядах, выявило значимый эффект фактора Позиция (8 уровней) (ANOVA: $F(2.25, 179,63) = 128,96, p < .001, \eta^2 = .62$; post-hoc анализ показал $p < 0,05$ для всех уровней, за исключением 5 и 6, а также 2 и 3 цифр, где $p = 0,0506$ после коррекции Холма на множественные сравнения). Таким образом, был показан рост количества ошибок при увеличении длины ряда, а также ожидаемый эффект различий между уровнем перегрузки и предшествующим ему уровнем, который соответствует объему памяти конкретного испытуемого.

Пупиллометрия. При сравнении (вне зависимости от объема памяти (digit span) конкретного испытуемого) уровней нагрузки от 1 до 8 цифр (после исключения из анализа времени, соответствующего кодированию и удержанию в памяти последнего элемента ряда) были получены значимые различия между первыми пятью, но не между 5, 6, 7 и 8 цифрами (смешанные линейные модели: $b = -0,21, t = -15,892, p < 0,001$; posthoc попарные сравнения с коррекцией Holm между 1–5 все $p < 0,001$, 5–8 минимальное значение $p = 0,23$).

В то же время при сравнении диаметра зрачка в двух ключевых условиях: во время удержания в памяти последней цифры в рядах, которые вызывали когнитивную перегрузку и предшествующих им — значимых различий обнаружено не было ($F(1,87) = 0,01, p = .933, \eta^2 < .01$). Также отсутствие различий между уровнем перегрузки и уровнем, предшествующем уровню перегрузки, подтверждается Байесовой статистикой ($BF_{01} = 6,12$). Таким образом, несмотря на значимые различия между диаметром зрачка в ответ на предъявление первых пяти цифр в ряду в среднем по выборке, и на то, что уровень когнитивной нагрузки был выше нормального, дальнейших изменений в диаметре зрачка не наблюдалось.

Электроэнцефалография. Сначала было оценено, как увеличение нагрузки на рабочую память влияет на мощность тета-ритма (4–8 Гц) в отведении Fz вне зависимости от длины ряда. В данный анализ вошла средняя мощность в двухсекундных интервалах, соответствующих кодированию и удержанию в памяти рядов длиной от 1 до 8 элементов. Данный анализ показал, что все уровни отличаются между собой ($p < 0,05$), за исключением уровней 3 и 4, а также уровней 4 и 5 (линейные смешанные модели, эффект фак-

тора нагрузки с 8 уровнями: $b = 4,2$, $t = 10,099$, $p < 0,001$, а также post-hoc попарные сравнения). Для оценки эффекта перегрузки в расчет, по аналогии с анализом диаметра зрачка, вошли последние 4 секунды, соответствующие кодированию и удержанию в памяти последнего элемента ряда. Значимого эффекта перегрузки обнаружено не было ($F(1,91) = 0,50$, $p = .483$, $\eta^2 < .01$, $BF_{01} = 6,14$). Далее мы проанализировали, как увеличение нагрузки на рабочую память повлияло на спектральную мощность альфа-ритма (8–13 Гц) в отведении Pz. В отличие от тета-ритма изменение уровня нагрузки, хотя и имело значимый эффект ($b = -0,9818$, $t = -6,390$, $p < 0,001$), однако было выражено лишь в значимых различиях между первыми тремя уровнями: post-hoc t -тесты показали значимые различия между запоминанием 1, 2 и 3 цифр ($p < 0,05$), но не между 3 и 4 и всеми последующими цифрами. Эффект перегрузки, по аналогии с тета-ритмом, не достиг уровня статистической значимости ($F(1,91) = 0,26$, $p = .609$, $\eta^2 < .01$, $BF_{01} = 6,16$).

Заключение. Переход от запоминания рядов цифр, которые соответствуют по длине объему кратковременной памяти, к запоминанию рядов, длина которых превосходит объем памяти на один элемент, значимо повлиял на показатели успешности воспроизведения, но никак не отразился на физиологических индексах когнитивной нагрузки. Таким образом, ни один из использованных физиологических индикаторов когнитивной нагрузки не оказался достаточно чувствителен к нашей экспериментальной манипуляции. Вероятной причиной может быть использование адаптивной модели эксперимента, где уровень нагрузки подстраивался под возможности конкретного испытуемого. Полученные данные дополнительно подтверждают результаты наших исследований, где показана корреляция ритмической активности мозга только в задачах высокой сложности (с мысленными манипуляциями) [1].

Библиографические ссылки

1. Pavlov Y. G., Kotchoubey B. The electrophysiological underpinnings of variation in verbal working memory capacity // Scientific reports. 2020. Vol. 10, № 1. С. 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72940-5>