

## ВЕГЕТАТИВНОЕ И ГОРМОНАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ ПРИ ЗАПОМИНАНИИ ЭМОЦИОНАЛЬНО ОКРАШЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ У ПОДРОСТКОВ 13–14 ЛЕТ

© 2025 г. О. Н. Адамовская\*, И. В. Ермакова\*\*

ФГБНУ «Институт развития, здоровья и адаптации ребенка», Москва, Россия

\*E-mail: krysyuk-19@yandex.ru

\*\*E-mail: ermek61@mail.ru

Поступила в редакцию 20.06.2024 г.

После доработки 11.09.2024 г.

Принята к публикации 29.10.2024 г.

У подростков ( $n = 24$ ) исследовали вегетативное и гормональное обеспечение зрительной рабочей памяти (РП) при запоминании и сравнении эмоционально окрашенной информации (позитивной, негативной и нейтральной). Запоминание и сравнение нейтральных изображений сопровождалось снижением нейрогуморальной и метаболической регуляции сердца, усилением симпатической активности по сравнению с фоном, а также быстрым восстановлением показателей variability сердечного ритма (ВСР) до исходного уровня, что свидетельствует об адекватном использовании адаптивных регуляторных стратегий. При предъявлении нейтральной информации по сравнению с другими блоками выявлена более высокая эффективность РП и максимальное время реакции. Запоминание и сравнение изображений с положительной эмоциональной валентностью не вызывало значимых изменений показателей ВСР, как во время решения когнитивной задачи, так и в восстановительный период. Самая генерализованная реакция вегетативной нервной системы у подростков отмечалась при запоминании и сравнении отрицательно окрашенных стимулов: выявлено усиление парасимпатической активности, снижение нейрогуморальных и метаболических влияний. В восстановительный период отмечалось усиление симпатических влияний на сердечный ритм. Предположительно, увеличение вагусной активности может быть связано со стадией мобилизации ресурсов при переживании тревоги, стресса. Тревога в данном случае выступает дезадаптивным фактором, снижающим эффективность РП (самый низкий процент правильных ответов) на фоне минимального времени реакции. В исследовании гормонального обеспечения РП при запоминании и сравнении информации разной эмоциональной валентности не отмечено статистически значимых изменений концентрации кортизола в слюне.

*Ключевые слова:* подростки, рабочая память, эмоциональная валентность, variability сердечного ритма, кожно-гальваническая реакция, кортизол.

**DOI:** 10.31857/S0131164625010022 **EDN:** VNVCAS

Важнейшей составляющей когнитивной деятельности является рабочая память [1]. Рабочая память (РП) – это когнитивная система, которая позволяет временно сохранять ограниченную по емкости информацию и использовать ее для реализации сложных форм целенаправленного поведения и ментальной активности [2–4]. РП включает в себя три отдельных процесса: кодирование, сохранение и извлечение информации [5], и ее важным компонентом является избирательное произвольное внимание [6].

Развитие РП у детей и подростков является залогом успешного овладения знаниями и навыками во время обучения в школе [7, 8]. Известно, что в

возрасте от 10 до 17 лет происходит рост продуктивности РП за счет увеличения объема памяти [9–11], значения которого приближаются к показателям у взрослых, но точность сохранения информации не достигает дефинитивного уровня своего развития [12]. По данным работы [13] зрительная РП продолжает развиваться в подростковом и юношеском возрасте (от 13 лет до 21 года), т. к. в этот период происходит созревание областей мозга, обеспечивающих ее функционирование [14]. Известно, что у подростков к 15–17 годам усиливается избирательность и контроль произвольного внимания [15, 16], которое является частью системы РП [17].

Эмоции играют важную роль в регуляции когнитивных процессов, оказывая существенное влияние на внимание [18] и долговременную память [19]. Взаимодействие когнитивных операций и эмоциональной регуляции обеспечивают такие мозговые структуры, как медиальная префронтальная кора, гипоталамус, гиппокамп и миндалевидное тело.

Между когнитивными функциями, эмоциями и вегетативной нервной системой (ВНС) существует связь [20–23], основанная на общем нейронном субстрате – центральной вегетативной сети [24]. Кроме того, вегетативная нервная и эндокринная системы связаны между собой на уровне гипоталамуса. Показателями активности вегетативной системы является вариабельность сердечного ритма (ВСР) и электродермальная активность [25], а гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы – концентрация кортизола [26].

Работы, раскрывающие взаимосвязь физиологических, познавательных и эмоциональных процессов, немногочисленны, практически отсутствуют комплексные исследования вегетативного и гормонального обеспечения РП при запоминании эмоционально окрашенной информации у подростков.

Цель исследования состояла в изучении вегетативного и гормонального обеспечения РП при запоминании эмоционально окрашенной информации у подростков 13–14 лет.

## МЕТОДИКА

Исследование проводили в средних общеобразовательных учреждениях г. Москвы, в нем принимали участие обучающиеся 7-го класса в возрасте от 13 до 14 лет ( $n = 24$ , средний возраст –  $13.83 \pm 0.11$  лет). Исследование проводили в первой половине дня (с 8.30 до 14.00), во время наибольшей активности физиологических функций.

Когнитивное задание заключалось в сравнении двух последовательно предъявляемых изображений (задача обнаружения изменений, *change detection task*, [27]) разной эмоциональной окрашенности в тесте на рабочую зрительно-пространственную память (РП). Использовали нейтральные, негативные и позитивные изображения. Общая схема эксперимента представлена на рис. 1.

Временная последовательность событий в одной пробе эксперимента представлена на рис. 2. Испытуемому предоставляли 4–5 с для запечатления эталонного стимула, затем следовал этап удержания эталонного изображения в РП длительностью 8–9 с; в завершении нужно было извлечь информацию из РП и сравнить тестовый стимул с эталонным (длительность 5 с), нажав на одну из клавиш клавиатуры с целью сравнения образов (одинаковые или различающиеся).

Стимульный материал был объединен в блоки по 16–17 пар в зависимости от эмоциональной окраски: нейтральный блок, негативный (изображения, вызывающие отрицательные эмоции – отвращение), позитивный (изображения, вызывающие положительные эмоции), между предъявлениями которых были периоды отдыха (3 мин). Порядок следования блоков был постоянным для стандартизации условий эксперимента, что важно при исследовании активности ВНС в силу существенной инертности анализируемых процессов.

Используемые изображения брали из международной базы *IAPS (International Affective Picture System)* [28, 29] и швейцарской базы *GAPED (The Geneva Affective Picture Database)* [30], содержащих стандартизированные эмоционально окрашенные изображения.

Для оценки ВСР проводили регистрацию ЭКГ во II стандартном отведении в положении испытуемого сидя. Автоматический анализ кардиограммы осуществляли с помощью программного обеспечения “Поли-Спектр-8Е/Х” (Нейрософт, Россия), в ходе которого вычисляли временные и



**Рис. 1.** Блок-схема экспериментальной модели для изучения вегетативного и гормонального обеспечения рабочей памяти при запоминании эмоционально окрашенной информации у подростков 13–14 лет.



Рис. 2. Временная последовательность событий в течение одной пробы эксперимента.

спектральные показатели: стандартное отклонение величин нормальных  $R-R$ -интервалов ( $SDNN$ , мс); квадратный корень из среднего квадратов разностей величин последовательных пар интервалов  $N-N$  ( $RMSSD$ , мс); долю последовательных интервалов  $N-N$ , различие между которыми превышает 50 мс ( $pNN50$ , %), индекс напряжения (ИН, у. е.), показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР, у. е.), общую мощность спектра ( $TP$ , мс<sup>2</sup>); мощность высокочастотных ( $HF$ , мс<sup>2</sup>), низкочастотных ( $LF$ , мс<sup>2</sup>) и очень низкочастотных ( $VLF$ , мс<sup>2</sup>) колебаний. Для оценки баланса отделов ВНС использовали отношение  $LF/HF$ .

Активность симпатического отдела ВНС оценивали при регистрации кожно-гальванической реакции (КГР) на аппаратно-программном комплексе "Дианел-5120" (ООО ЦИТ "Нелиан", Россия), регистрируя амплитуду электро-кожной проводимости (АМ, сНп) на концевых фалангах 4-го и 5-го пальцев правой и левой руки.

Реакцию эндокринной системы изучали по уровню кортизола в слюне, сбор которой осуществляли перед выполнением когнитивного задания в исходном состоянии и трижды в восстановительном периоде после предъявления изображений разной эмоциональной валентности (нейтральной, негативной и позитивной). До проведения иммуноферментного анализа пробы слюны хранили в морозильной камере при температуре  $-20$  °С. Концентрацию гормона определяли с помощью набора реагентов фирмы *DRG TechSystem* (США) на ИФА-анализаторе "StatFax 2100" и выражали в нг/мл. Все анализы были сделаны в соответствии с протоколом наборов, контрольные показатели были в рамках принятых пределов.

Статистическую обработку проводили непараметрическими методами с использованием программного пакета *SPSS-26*. Количественные

значения исследованных величин были представлены медианой ( $Me$ ) и межквартильным размахом ( $Q_1$  и  $Q_3$ ). Статистически значимые межгрупповые отличия связанных выборок оценивали с помощью критерия Уилкоксона. Корреляционные связи были изучены с использованием критерия Спирмена ( $S_R$ -критерий). Различия считали статистически значимыми при  $p < 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследования функционального состояния ВНС в исходном состоянии, от которого зависит протекание процесса адаптации к когнитивной нагрузке, показали, что значение общей мощности спектра ( $TP$ , мс<sup>2</sup>) и ее составляющих ( $HF$ , мс<sup>2</sup>;  $LF$ , мс<sup>2</sup>;  $VLF$ , мс<sup>2</sup>) (рис. 3), временных показателей ( $SDNN$ , мс;  $RMSSD$ , мс;  $pNN50\%$ ) (рис. 4), показателя соотношения частот низкой и высокой плотности ( $LF/HF$ , у. е.: 1.3 (0.99; 1.76)), показателя адекватности процессов регуляции (ПАПР, у. е.: 45.8 (41.7; 58.2)), индекса напряжения (ИН, у. е.: 81.8 (64.9; 110.9)) соответствовали средневозрастной норме [31].

Большая доля очень низкочастотного компонента ( $VLF$ , мс<sup>2</sup>, %) в общем спектре ВСР (рис. 3), которая наблюдается в исходном состоянии, свидетельствует о повышенной активности нейрогуморальной регуляции обменных процессов в организме подростков 13–14 лет, что, возможно, связано с активностью гипоталамо-гипофизарной системы в период полового созревания.

Более высокий вклад в общий спектр ВСР высокочастотных волн ( $HF$ , %), по сравнению с низкочастотными ( $LF$ , %), свидетельствует о сохранении автономного контура регуляции и снижении вклада симпатического отдела ВНС.

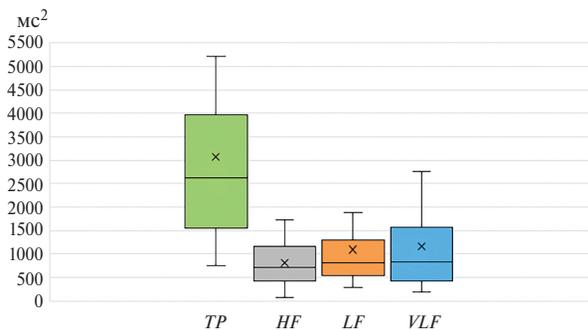


Рис. 3. Показатели спектрального анализа ВСР в исходном состоянии.

Динамика показателей спектрального и временного анализа ВСР в процессе выполнения когнитивного задания на РП при запоминании эмоционально окрашенной информации у подростков 13–14 лет представлена в табл. 1.

Запоминание и сравнение *нейтральных изображений* сопровождалось усилением симпатической активности ВНС (увеличение ЧСС, уд./мин;  $LF\%$ ) по сравнению с исходным состоянием, снижением нейрогуморальной и метаболической регуляции сердечного ритма (уменьшение  $VLF$ ,  $ms^2$ , %), а также увеличением индекса напряжения (ИН, у. е.). Известно, что ИН является показателем централизации процессов регуляции сердечного ритма, однако этот показатель чрезвычайно чувствителен к усилению тонуса симпатической нервной системы. Даже незначительная нагрузка (в том числе эмоциональная) увеличивает ИН в 1.5–2 раза.

Увеличение амплитуды КГР (АМ, сНп) также свидетельствовало о повышении активности симпатического отдела ВНС (табл. 1). При этом в восстановительный период значение показателей ЧСС (уд./мин),  $LF$  (%), ИН (у. е.) возвращается к исходному уровню (табл. 1).

При запоминании и сравнении *негативно окрашенных стимулов* отмечена активация ВНС: усиление парасимпатической активности (увеличение  $RRNN$ , мс;  $HF$ ,  $ms^2$ , %), снижение нейрогуморальных и метаболических влияний (уменьшение  $VLF$ ,  $ms^2$ , %), снижение ИН, у. е. В восстановительный период отмечалось усиление симпатических влияний (увеличение  $LF$ ,  $ms^2$ ;  $LF/HF$ , у. е.; АМ, сНп).

В ходе выполнения когнитивного задания на запоминание и сравнение *позитивно окрашенной информации* отмечалось снижение общей мощности спектра  $TP$  ( $ms^2$ ),  $SSDN$  (мс), свидетельствующее об уменьшении активности ВНС без перераспределения спектра.

При выполнении когнитивного теста на РП при предъявлении стимулов разной эмоциональной валентности статистически значимых изменений концентрации кортизола в слюне не выявлено

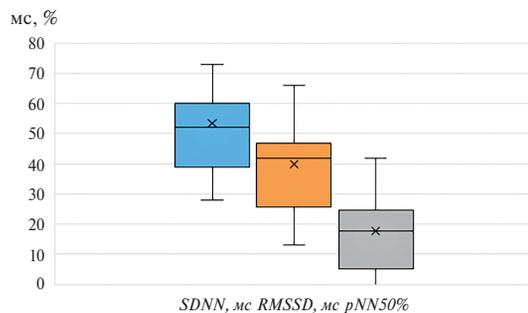


Рис. 4. Показатели временного анализа variability сердечного ритма в исходном состоянии.

(15.26, нг/мл: (12.52; 19.28) — после предъявления нейтральных стимулов; 15.17, нг/мл: (10.73; 17.68) — после предъявления негативных стимулов и 14.23 нг/мл: (12.54; 17.36) — после предъявления позитивных стимулов;  $p = 0.147 - 0.218$ ). Однако после выполнения когнитивного теста на запоминание и сравнение позитивно окрашенной информации отмечается наименьший разброс концентрации кортизола, по сравнению с нейтральной и негативной информацией, т.е. в этом случае реакция эндокринной системы более стабильная и однонаправленная. Однако прирост концентрации кортизола после выполнения теста на РП при запоминании и сравнении эмоционально окрашенной информации оказался разным. Так, после сравнения стимулов нейтральной и позитивной валентности прирост статистически значимо не различался и составил 5.4 и 6.2%, соответственно ( $p = 0.897$ ). После запоминания и сравнения информации негативной окрашенности прирост составил  $-8.8\%$  и статистически значимо отличался от прироста после предъявления стимула нейтральной и позитивной валентности ( $p = 0.018 - 0.022$ ).

Анализ эффективности РП (доля правильных ответов (%)) и времени реакции на предъявляемый стимул при использовании стимулов разной эмоциональной валентности показал (рис. 5), что самый большой процент правильных ответов (80.76%) и максимальное время реакции ( $1663.56 \pm 22.52$  мс) наблюдались при запоминании стимулов нейтральной окрашенности. При выполнении когнитивного задания с предъявлением позитивно окрашенной информации количество правильных ответов составило 72.33%. Самая низкая эффективность РП отмечена при сравнении негативно окрашенных изображений (процент правильных ответов минимальный — 68.01%) на фоне высокой скорости реагирования (время реакции минимальное —  $1534.36 \pm 37.65$  мс). Парное сравнение показателей выявило значимые различия по сравнению с положительно окрашенными (80.76% против 72.33%;  $p = 0.006$ ) и отрицательноокрашенными (80.76% против 68.01%;  $p = 0.010$ ) изображениями.

**Таблица 1.** Динамика показателей спектрального и временного анализа вариабельности сердечного ритма, кожно-гальванической реакции при выполнении когнитивного задания на запоминание и сравнение эмоционально окрашенной информации у подростков 13–14 лет, *ME (Q1; Q3)*

Показатели	Этап эксперимента	<i>ME (Q1; Q3)</i>	<i>p</i>
ЧСС, уд./мин	исходное состояние	85.07 ± 11.63	
	нейтральные изображения	87.00 ± 11.11	<b>0.011</b>
	восстановление	85.50 ± 10.59	<b>0.017</b>
	негативные изображения	84.78 ± 10.91	0.091
	восстановление	85.90 ± 9.74	0.054
	позитивные изображения	86.08 ± 10.24	0.756
	восстановление	86.42 ± 10,06	0.898
<i>TP</i> , мс <sup>2</sup>	исходное состояние	2633.0 (1564.25; 3967.50)	
	нейтральные изображения	2108.5 (1321.7; 3133.50)	<b>0.026</b>
	восстановление	2822.0 (1949.0; 4168.0)	<b>0.013</b>
	негативные изображения	2627.0 (1224.25; 3147.2)	<b>0.002</b>
	восстановление	3104.00 (1991.0; 4204.2)	<b>0.009</b>
	позитивные изображения	2436.5 (1745.0; 3473.25)	<b>0.043</b>
	восстановление	2653.0 (1892.0; 4253.0)	<b>0.032</b>
<i>VLF</i> , мс <sup>2</sup>	исходное состояние	837.00 (428.0; 1576.0)	
	нейтральные изображения	490.50 (281.2; 1129.5)	<b>0.015</b>
	восстановление	1204.0 (519.0; 1577.0)	<b>0.003</b>
	негативные изображения	524.00 (316.7; 876.0)	<b>0.004</b>
	восстановление	850.50 (507.0; 1547.5)	<b>0.001</b>
	позитивные изображения	640.50 (435.0; 991.75)	0.175
	восстановление	981.00 (708.0; 1325.0)	0.181
<i>LF</i> , мс <sup>2</sup>	исходное состояние	816.50 (532.75; 1295.25)	
	нейтральные изображения	933.00 (785.0; 1295.25)	1.000
	восстановление	1028.0 (737.00; 1326.0)	0.191
	негативные изображения	819.50 (660.75; 1116.50)	0.083
	восстановление	1233 (936.00; 1616.00)	<b>0.021</b>
	позитивные изображения	982.50 (694.00; 1390.00)	0.072
	восстановление	1410.00 (679.00; 1619.0)	<b>0.023</b>

Таблица 1. Продолжение

<i>HF</i> , мс <sup>2</sup>	исходное состояние	711.50 (434.0; 1158.5)	
	нейтральные изображения	555.00 (230.0; 956.0)	0.067
	восстановление	656.00 (392.0; 111.0)	0.128
	негативные изображения	910.50 (628.25; 1282.25)	0.212
	восстановление	576.00 (297.00; 1056.50)	0.145
	позитивные изображения	658.50 (275.75; 930.50)	0.784
	восстановление	579.00 (316.0; 1032.0)	0.605
<i>VLF</i> , %	исходное состояние	35.95 (22.47; 57.12)	
	нейтральные изображения	29.45 (18.82; 35.10)	<b>0.029</b>
	восстановление	36.50 (27.50; 45.90)	<b>0.010</b>
	негативные изображения	26.05 (18.92; 32.35)	<b>0.011</b>
	восстановление	34.70 (21.90; 44.07)	<b>0.008</b>
	позитивные изображения	33.80 (19.00; 40.42)	0.440
	восстановление	37.02 (31.18; 45.65)	0.362
<i>LF</i> , %	исходное состояние	37.20 (25.22; 45.25)	
	нейтральные изображения	44.75 (35.52; 56.20)	<b>0.017</b>
	восстановление	36.75 (31.62; 46.85)	<b>0.009</b>
	негативные изображения	42.95 (29.85; 55.12)	0.253
	восстановление	41.95 (33.15; 49.67)	0.841
	позитивные изображения	42.55 (31.15; 52.65)	0.587
	восстановление	40.95 (34.72; 54.47)	0.438
<i>HF</i> , %	исходное состояние	25.55 (17.97; 35.52)	
	нейтральные изображения	23.60 (18.35; 31.95)	0.539
	восстановление	21.00 (17.30; 29.60)	0.242
	негативные изображения	32.05 (23.45; 37.75)	<b>0.005</b>
	восстановление	20.45 (14.45; 29.07)	<b>0.000</b>
	позитивные изображения	25.45 (17.47; 33.32)	0.074
	восстановление	22.60 (13.40; 26.00)	<b>0.003</b>
<i>LF/HF</i> , у. е.	исходное состояние	1.35 (0.99; 2.31)	
	нейтральные изображения	1.77 (1.19; 2.57)	0.076
	восстановление	1.78 (1.14; 2.22)	0.315
	негативные изображения	1.29 (0.907; 2.182)	0.294
	восстановление	1.79 (1.36; 3.55)	<b>0.024</b>
	позитивные изображения	1.60 (1.05; 2.38)	0.310
	восстановление	1.98 (1.32; 3.31)	0.181

Таблица 1. Окончание

<i>RRNN</i> , мс	исходное состояние	731.5 (631.75; 770.25)	
	нейтральные изображения	709.0 (770.25; 746.75)	<b>0.010</b>
	восстановление	724.0 (642.00; 773.00)	<b>0.023</b>
	негативные изображения	731.5 (580.5; 689.25)	0.085
	восстановление	707.0 (642.75; 761.25)	<b>0.025</b>
	позитивные изображения	702.00 (650.25; 753.50)	0.465
	восстановление	704.00 (645.00; 753.00)	0.447
<i>SDNN</i> , мс	исходное состояние	52.50 (37.50; 62.75)	
	нейтральные изображения	49.00 (38.50; 59.00)	<b>0.021</b>
	восстановление	55.50 (43.25; 67.25)	<b>0.006</b>
	негативные изображения	53.00 (35.50; 58.00)	<b>0.000</b>
	восстановление	57.50 (45.75; 65.75)	<b>0.006</b>
	позитивные изображения	50.00 (41.00; 60.50)	<b>0.032</b>
	восстановление	52.50 (43.00; 66.00)	<b>0.043</b>
ИИ, у. е.	исходное состояние	84.80 (64.90; 149.40)	
	нейтральные изображения	109.90 (76.22; 76.22)	<b>0.037</b>
	восстановление	86.00 (60.70; 110.40)	0.052
	негативные изображения	81.45 (64.90; 160.20)	<b>0.042</b>
	восстановление	94.55 (58.52; 121.67)	0.052
	позитивные изображения	94.75 (71.65; 131.57)	0.130
	восстановление	96.80 (55.30; 137.60)	0.465
АМ, сНп	исходное состояние	503.97 (450.52; 532.81)	
	нейтральные изображения	523.56 (485.09; 545.80)	<b>0.001</b>
	восстановление	514.26 (472.94; 531.16)	<b>0.000</b>
	негативные изображения	525.83 (484.94; 542.16)	<b>0.007</b>
	восстановление	512.70 (490.43; 533.47)	<b>0.003</b>
	позитивные изображения	505.17 (482.88; 538.56)	0.224
	восстановление	497.82 (472.92; 541.45)	0.059

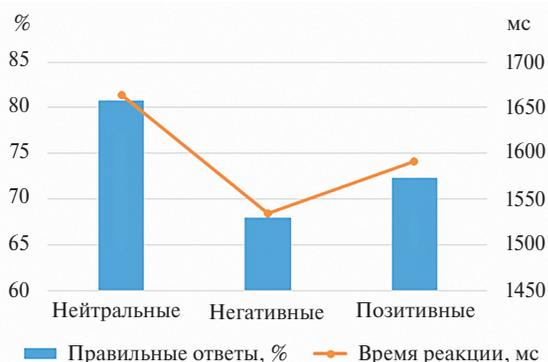
Примечание: *ME* (*Q1*; *Q3*) – медиана (*ME*) и интерквартильный размах (25-й – *Q1* и 75-й – *Q3*), значения частоты сердечных сокращений (ЧСС) представлены как  $M \pm SE$ . *p* – статистически значимое различие по сравнению с предыдущей пробой. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия. Остальные обозначения см. раздел Методика.

Также был проведен корреляционный анализ между показателями вегетативной и эндокринной систем при выполнении когнитивного задания с предъявлением стимулов разной эмоциональной валентности (рис. 6). Самое большое число как положительных, так и отрицательных корреляционных связей между показателями ВСП, КГР и концентрацией кортизола в слюне обнаружили при запоминании и сохранении негативно окрашенной информации (между АМ, сНп и показателями

ВСП *RMSSD*, мс и *HF*, % –  $r = 0.424$  при  $p < 0.05$ ; и  $r = 0.516$  при  $p < 0.01$  соответственно и между уровнем кортизола и показателями ВСП *HF*, % и *VLF*, % –  $r = 0.433$  при  $p < 0.05$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведено исследование физиологических реакций, связанных с удержанием эмоционально окрашенной информации РП.



**Рис. 5.** Процент правильных ответов (%) и время реакции (мс) при выполнении теста на запоминание и сохранение стимулов разной эмоциональной окраски.

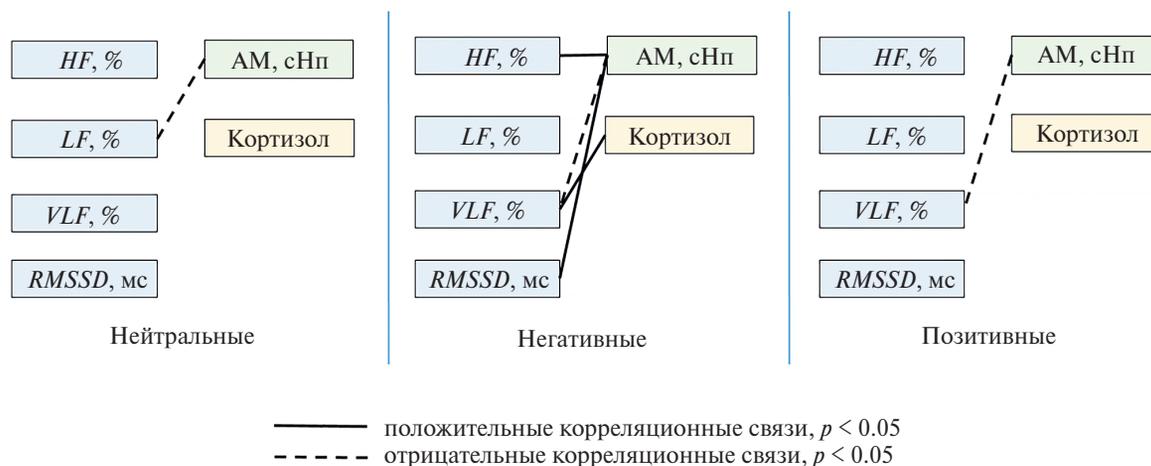
Самые высокие показатели эффективности РП были зафиксированы при удержании эмоционально нейтральных изображений: максимальным был показатель точности (количество правильных ответов) при низкой скорости выполнения когнитивной задачи. Запоминание и сравнение негативно окрашенных изображений сопровождалось значимым снижением точности и увеличением скорости решения когнитивной задачи по сравнению с удержанием в РП как нейтральных, так и позитивно окрашенных стимулов. Положительная валентность удерживаемой зрительной информации также, но в значительно меньшей степени, снижала эффективность РП по сравнению с нейтральной. Эти данные согласуются с результатами исследований, свидетельствующих о том, что эмоциональная окраска информации может быть дистрактором для когнитивных процессов РП [32].

Кроме того, результаты исследования свидетельствуют о том, что на эффективность РП преимущественно влияет эмоциональная валентность, а не последовательность предъявления блоков. Ожидалось, что запоминание и сравнение позитивно окрашенных изображений (последний блок экспериментальной модели) будет сопровождаться снижением эффективности РП и увеличением времени реакции в силу утомления участников исследования, однако полученные в настоящей работе результаты не подтверждают это ожидание.

Активность ВНС является основным компонентом эмоциональных реакций. Традиционно функциональное состояние ВНС оценивают с помощью ВСР и электрокожной активности. Тот факт, что на основе показателей ВСР можно классифицировать 17 типов эмоций, подчеркивает связь ВНС с эмоциональными состояниями [33]. КГР часто используется для изучения эмоциональной реактивности [34], а наиболее точным местом для ее измерения являются пальцы левой руки [35].

При запоминании и сравнении *нейтральных изображений* выявлена симпатическая активация, а также быстрое восстановление показателей вегетативной и сердечно-сосудистой систем до исходного уровня, что указывает на адекватное применение адаптивных регуляторных стратегий при когнитивной нагрузке.

Удержание и сравнение положительно окрашенных стимулов сопровождалось незначительным снижением активности ВНС. Другие авторы в своих работах также выявили слабую реактивность ВНС при положительных эмоциях, причем, эта реактивность зачастую не отличается от нейтральных условий [36, 37]. Вероятно, позитивно окрашенная информация оказывает меньшее влияние



**Рис. 6.** Корреляционные связи между показателями variability сердечного ритма, кожно-гальванической реакции и концентрацией кортизола в слюне при выполнении теста на запоминание и сохранение стимулов разной эмоциональной валентности.

на адаптационные процессы, по сравнению с негативной [38].

Наиболее выраженная реакция ВНС у подростков происходила при запоминании и сравнении *негативно окрашенных стимулов*. При предъявлении информации этой эмоциональной валентности (преимущественно стимулов, вызывающих отвращение) наблюдалось усиление парасимпатической активности, снижение нейрогуморальных и метаболических влияний на фоне повышенной электродермальной активности (табл. 1). Возможно, повышение амплитуды КГР связано с возбуждением, которое вызывает негативный стимул [39]. В восстановительный период отмечалось усиление симпатических влияний.

Из литературы известно, что вегетативная реакция, связанная с отвращением, подразделяется на два вида: 1) активация ВНС (чаще всего на отвращение, вызванное загрязнением: изображение грязных туалетов, тараканов, личинок в пище, выражение лица при рвоте); 2) симпатическая активация, повышенная электрокожная активность, неизменная активность блуждающего нерва (чаще на отвращение, вызванное увечьями, травмами и кровью: инъекции, послеоперационные швы, кровавые травмы и др.) [40]. Отмеченная в нашем исследовании активация ВНС по первому типу (1) в ответ на негативные стимулы возможно связана с тем, что среди изображений негативной окраски преобладали стимулы, вызывающие отвращение на загрязнение. В работе [41] была выявлена аналогичная реакция ВНС, сопровождающаяся увеличением вагусной и симпатической активности при просмотре визуальной информации, вызывающей отвращение.

Предположительно, увеличение вагусной активности может быть связано с началом переживания тревоги, стресса (стадия мобилизации ресурсов). Тревога, вызванная стрессом, в данном случае выступает дезадаптивным фактором, снижающим эффективность РП (самый низкий процент правильных ответов) на фоне высокой скорости переработки зрительной информации, вероятно, связанной с нежеланием рассматривать и запечатлеть в памяти стимулы, вызывающие отвращение.

Полученные в настоящем исследовании различные реакции ВНС при запоминании и воспроизведении эмоционально окрашенной информации свидетельствуют о тесном переплетении функций парасимпатического и симпатического отделов, однако закономерности их взаимодействия еще не до конца изучены и остаются противоречивыми. Некоторые описывают это взаимодействие как антагонистическое [42, 43], другие — как более сложное взаимодействие [44].

Наличие большего количества корреляционных связей при выполнении когнитивного теста с

негативно окрашенными стимулами между показателями ВСП, КГР и концентрации кортизола, свидетельствует о сохранении жесткой системы нейровегетативной и гуморальной регуляции сердечного ритма.

Таким образом, негативная эмоциональная валентность запоминаемой информации приводит к формированию неустойчивого функционального состояния и напряжению адаптации, по сравнению с нейтральной и позитивной валентностью.

В исследовании гормонального обеспечения РП при сравнении информации разной эмоциональной валентности не отмечено статистически значимых изменений концентрации кортизола. Между тем, после запоминания и сравнения информации негативной окрашенности концентрация кортизола снижалась, статистически значимо отличаясь от прироста после предъявления нейтральных и позитивных стимулов. Такой тип реагирования можно считать неадекватной реакцией вследствие регуляторной недостаточности. Эффективность РП (процент правильных ответов) при запоминании и сравнении негативно окрашенных изображений была самой низкой. Из литературы известно, что взаимосвязь между уровнем кортизола и производительностью памяти является перевернутой *U*-образной функцией, когда средний уровень способствует оптимальной производительности, а повышенный или низкий уровни связаны с ослаблением памяти [45, 46].

Согласно данным метаанализов, изучавших вегетативную и эндокринную системы по отдельности, типичная реакция на стресс заключается в снижении активации парасимпатической и увеличении реакции симпатической нервной системы и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси (ГГНО). В то время как ответ ВНС возникает немедленно, реакция ГГНО достигает пика примерно через 20 мин после начала действия стрессора [47, 48].

Однако существуют большие индивидуальные отличия в паттерне активации, потенциально обусловленные возрастом, полом [49, 50], силой воздействующего фактора [51]. Если младенцы и дети, как правило, демонстрируют реакцию на стресс, характеризующуюся низкой реактивностью кортизола и высокой реактивностью вегетативной системы [52], то у подростков, вероятно, под влиянием половых гормонов, паттерн реактивности смещается в сторону гиперреактивности кортизола [53].

Выявленная в настоящем исследовании большая реактивность ВНС по сравнению с эндокриной (кортизол) в ответ на когнитивное эмоционально окрашенное задание, возможно, объясняется низкой величиной воздействующего фактора, который для подростков не обладал значимой силой, а также различиями в пубертатном статусе,

сопровожаемыми широкой индивидуальной вариативностью взаимодействия ВНС и ГГНО [50].

### ВЫВОДЫ

1. Нейтральная окраска запоминаемой информации сопровождается адекватным использованием адаптивных регуляторных стратегий – усилением симпатической активности. При удержании в РП эмоционально нейтральных изображений зафиксирован самый высокий показатель точности РП, но скорость переработки информации была наименьшей.

2. Негативная эмоциональная валентность запоминаемой информации приводит к формированию неустойчивого функционального состояния и напряжению адаптации. Запоминание и сравнение негативно окрашенных изображений сопровождалось значимым снижением точности и увеличением скорости решения когнитивной задачи по сравнению с удержанием в РП как нейтральных, так и позитивно окрашенных стимулов.

3. Запоминание позитивно окрашенных стимулов не вызывало значимых изменений вегетативной нервной регуляции сердечного ритма, отмечен наименьший разброс концентрации кортизола. Положительная валентность удерживаемой зрительной информации снижала эффективность РП по сравнению с нейтральной, но в значительно меньшей степени, чем негативная.

4. Данные настоящего исследования подтверждают гипотезу, что эмоциональная окраска информации может быть дистрактором для когнитивных процессов РП.

**Соблюдение этических стандартов.** Все исследования проводились в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 г. и последующих поправках к ней. Они также были одобрены локальным Комитетом по биоэтике Института развития, здоровья и адаптации ребенка (Москва), протокол № 2 от 10.10.2024 г.

Родители участников или их законные представители дали добровольное письменное информированное согласие после получения разъяснений о потенциальных рисках и преимуществах, а также о характере предстоящего исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

**Благодарности.** Авторы выражают искреннюю благодарность С.Б. Догадкиной, старшему научному сотруднику ФГБНУ “ИРЗАР” за анализ первичных записей ЭКГ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Eslami A., Nassif N.T., Lal S.* Evaluating high and low heart rate variability response and neurocognitive performance in workers: An exploratory study // *Behav. Sci. (Basel)*. 2023. V. 13. № 9. P. 742.
2. *Корнеев А.А., Ломакин Д.И., Курганский А.В.* Сравнительное исследование зрительной рабочей памяти при решении задач на воспроизведение серийно организованной информации у детей младшего школьного возраста, подростков и взрослых / *Регуляция поведения и когнитивной деятельности в подростковом возрасте. Мозговые механизмы*. М.: Московский психолого-социальный университет, 2023. Глава 8. С. 347.
3. *Baddeley A.* Working memory: theories, models, and controversies // *Annu. Rev. Psychol.* 2012. V. 63. P. 1.
4. *Cowan N.* The many faces of working memory and short-term storage // *Psychon. Bull. Rev.* 2017. V. 24. № 4. P. 1158.
5. *Gokce A., Zinchenko A., Annac E. et al.* Affective modulation of working memory maintenance: the role of positive and negative emotions // *Adv. Cogn. Psychol.* 2021. V. 17. № 2. P. 107.
6. *Oberauer K.* Working memory and attention – a conceptual analysis and review // *J. Cogn.* 2019. V. 2. № 1. P. 36.
7. *Gathercole S.E., Pickering S.J., Knight C., Stegmann Z.* Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age // *Appl. Cogn. Psychol.* 2004. V. 18. № 1. P. 1.
8. *Jones J.S., Milton F., Mostazir M., Adlam A.R.* The academic outcomes of working memory and metacognitive strategy training in children: A double-blind randomized controlled trial // *Dev. Sci.* 2020. V. 23. № 4. P. e12870.
9. *Исматуллина В.И., Воронин И.А., Захаров И.М.* Продуктивность пространственной рабочей памяти у подростков с 10 до 17 лет / *Первый национальный конгресс по когнитивным исследованиям, искусственному интеллекту и нейроинформатике. Девятая международная конференция по когнитивной науке, 10–16 октября 2020 г., Москва. Сборник научных трудов. В двух частях. Ч. 2*. М.: Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, 2021. С. 190.
10. *Плотникова В.Н.* Особенности развития памяти в подростковом возрасте // *Образовательный альманах*. 2023. № 13 (75). С. 86.
11. *Skalaban L.J., Cohen A.O., Conley M. et al.* Adolescent-specific memory effects: evidence from working memory, immediate and long-term recognition memory performance in 8–30 yr olds // *Learn. Mem.* 2022. V. 29. № 8. P. 223.
12. *Корнеев А.А., Ломакин Д.И.* Запоминание и воспроизведение последовательности движений младшими школьниками и подростками: возрастные особенности допускаемых ошибок //

- Национальный психологический журнал. 2018. № 3. С. 129.
13. *Isbell E., Fukuda K., Neville H.J., Vogel E.K.* Visual working memory continues to develop through adolescence // *Front. Psychol.* 2015. V. 6. P. 696.
  14. *Zhu J., Hammond B.M., Zhou X.M., Constantinidis C.* Laminar pattern of adolescent development changes in working memory neuronal activity // *J. Neurophysiol.* 2023. V. 130. № 4. P. 980.
  15. *Cohen Kadosh K., Heathcote L.C., Lau J.Y.F.* Age-related changes in attentional control across adolescence: How does this impact emotion regulation capacities? // *Front. Psychol.* 2014. V. 5. P. 111.
  16. *Hobbiss M.H., Lavie N.* Sustained selective attention in adolescence: Cognitive development and predictors of distractibility at school // *J. Exp. Child. Psychol.* 2024. V. 238. P. 105784.
  17. *Курганский А.В., Корнеев А.А., Ломакин Д.И., Мачинская Р.И.* Удержание вербальной и невербальной серийной информации в рабочей памяти. Анализ функциональных и эффективных связей // *Ж. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова.* 2024. Т. 74. № 2. С. 223.
  18. *Zimmer U., Wendt M., Pacharra M.* Enhancing allocation of visual attention with emotional cues presented in two sensory modalities // *Behav. Brain. Funct.* 2022. V. 18. № 1. P. 10.
  19. *Zinchenko A., Geyer T., Müller H.J., Conci M.* Affective modulation of memory-based guidance in visual search: Dissociative role of positive and negative emotions // *Emotion.* 2020. V. 20. № 7. P. 1301.
  20. *Critchley H.D., Eccles J., Garfinkel S.N.* Interaction between cognition, emotion, and the autonomic nervous system // *Handb. Clin. Neurol.* 2013. V. 117. P. 59.
  21. *Forte G., Favieri F., Casagrande M.* Heart rate variability and cognitive function: a systematic review // *Front. Neurosci.* 2019. V. 13. P. 710.
  22. *Feeling N., Williams D.P., Speller L.F. et al.* Resting state heart rate variability and false memories // *Int. J. Psychophysiol.* 2021. V. 159. P. 17.
  23. *Tatsumi S., Kuratsune D., Kuratsune H.* Relationship between autonomic nervous function and brain functions such as memory and attention // *Research Square.* 2023. 14 p. Doi: 10.21203/rs.3.rs-2983797/v1
  24. *Thayer J.F., Lane R.D.* Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2009. V. 33. № 2. P. 81.
  25. *Bufo M.R., Guidotti M., De Faria C. et al.* Autonomic tone in children and adults: Pupillary, electrodermal and cardiac activity at rest // *Int. J. Psychophysiol.* 2022. V. 180. P. 68.
  26. *Rotenberg S., McGrath J.J.* Inter-relation between autonomic and HPA axis activity in children and adolescents // *Biol. Psychol.* 2016. V. 117. P. 16.
  27. *Luck S.J., Vogel E.K.* The capacity of visual working memory for features and conjunctions // *Nature.* 1997. V. 390. № 6657. P. 279.
  28. *Baddeley A.* Working memory: Looking back and looking forward // *Nat. Rev. Neurosci.* 2003. V. 4. № 10. P. 829.
  29. *Lang P.J., Bradley M.M.* International affective picture System (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual / Technical Report A-8. University of Florida, Gainesville, FL. 2008. URL: <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=755311>.
  30. *Dan-Glauser E.S., Scherer K.R.* The Geneva affective picture database (GAPED): A new 730-picture database focusing on valence and normative significance // *Behav. Res. Methods.* 2011. V. 43. № 2. P. 468.
  31. *Шарапов А.Н., Безобразова В.Н., Догадкина С.Б. и др.* Адаптация сердечно-сосудистой и нейроэндокринной систем к нагрузкам разного вида у подростков 12–14 лет // *Новые исследования.* 2016. Т. 49. № 4. С. 21.
  32. *Розовская Р.И.* Влияние эмоциональной окраски запоминаемой информации на мозговую организацию и эффективность рабочей памяти: автореф. ... дисс. канд. психол. наук. М., 2019. 32 с.
  33. *Wang L., Hao J., Zhou T.H.* ECG multi-emotion recognition based on heart rate variability signal features mining // *Sensors (Basel).* 2023. V. 23. № 20. P. 8636.
  34. *Correia P., Morais P., Quintão C. et al.* Assessing the Emotional Reaction to Negative Pictures Through Electrodermal Activity Data / *Advances in Human Factors and System Interactions, Proceedings of the AHFE.* July 25-29, USA, Springer, 2021. P. 116.
  35. *Sanchez-Comas A., Synnes K., Molina-Estren D. et al.* Correlation analysis of different measurement places of galvanic skin response in test groups facing pleasant and unpleasant stimuli // *Sensors (Basel).* 2021. V. 21. № 12. P. 4210.
  36. *Савицкая Т.Ю., Носуленко В.Н., Александров Ю.И.* Динамика сердечного ритма у индивидов при оценке и описании ими эмоционально окрашенных изображений // *Экспериментальная психология.* 2020. Т. 13. № 1. С. 5.
  37. *Behnke M., Kreibitz S.D., Kaczmarek L.D. et al.* Autonomic nervous system activity during positive emotions: A meta-analytic review // *Emotion Rev.* 2022. V. 14. № 2. P. 132.
  38. *Bashir J., Goswami Y.P.* Stress and guided imagery technique // *Gal. Int. J. Health. Sci. Res.* 2020. V. 5. № 1. P. 147.
  39. *Вайсертпейгер А.С.Р.* Комплексное исследование динамики физиологических показателей у человека при восприятии сенсорных эмоциогенных стимулов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2018. 27 с.

40. *Kreibig S.D.* Autonomic nervous system activity in emotion: A review // *Biol. Psychol.* 2010. V. 84. № 3. P. 394.
41. *Pasquini L., Noohi F., Veziris C.R. et al.* Dynamic autonomic nervous system states arise during emotions and manifest in basal physiology // *Psychophysiology.* 2023. V. 60. № 4. P. e14218.
42. *Shaffer F., Ginsberg J.P.* An overview of heart rate variability metrics and norms // *Front. Public. Health.* 2017. V. 5. P. 258.
43. *Weissman D.G., Mendes W.B.* Correlation of sympathetic and parasympathetic nervous system activity during rest and acute stress tasks // *Int. J. Psychophysiol.* 2021. V. 162. P. 60.
44. *Callara A.L., Sebastiani L., Vanello N. et al.* Parasympathetic-sympathetic causal interactions assessed by time-varying multivariate autoregressive modeling of electrodermal activity and heart-rate-variability // *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2021. V. 68. № 10. P. 3019.
45. *Antypa D., Cabrita D.R., Vuilleumier P., Rimmelle U.* Cortisol suppression after memory reactivation impairs later memory performance // *Psychoneuroendocrinology.* 2019. V. 106. P. 226.
46. *Gutchess A., Alves A.N., Paige L.E. et al.* Age differences in the relationship between cortisol and emotional memory // *Psychol. Aging.* 2019. V. 34. № 5. P. 655.
47. *Seddon J.A., Rodriguez V.J., Provencher Y. et al.* Meta-analysis of the effectiveness of the Trier social stress test in eliciting physiological stress responses in children and adolescents // *Psychoneuroendocrinology.* 2020. V. 116. P. 104582.
48. *Wesarg C., Van den Akker A.L., Oei N.Y. et al.* Childhood adversity and vagal regulation: A systematic review and meta-analysis // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2022. V. 143. P. 104920.
49. *Liu J.J., Ein N., Peck K. et al.* Sex differences in salivary cortisol reactivity to the Trier social stress test (TSST): A meta-analysis // *Psychoneuroendocrinology.* 2017. V. 82. P. 26.
50. *DeJoseph M.L., Leneman K.B., Palmer A.R. et al.* Adrenocortical and autonomic cross-system regulation in youth: A meta-analysis // *Psychoneuroendocrinology.* 2023. V. 159. P. 106416.
51. *Портнова Г.В., Левкович К.М., Васильева Л.Н., Альшанская Е.И.* Вегетативные и поведенческие показатели при увеличении когнитивной нагрузки у здоровых добровольцев // *Ж. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова.* 2022. Т. 72. № 4. С. 504.
52. *Parent S., Lupien S., Herba C.M. et al.* Children's cortisol response to the transition from preschool to formal schooling: A review // *Psychoneuroendocrinology.* 2019. V. 99. P. 196.
53. *Joos C.M., Wodzinski A.M., Wadsworth M.E., Dorn L.D.* Neither antecedent nor consequence: Developmental integration of chronic stress, pubertal timing, and conditionally adapted stress response // *Dev. Rev.* 2018. V. 48. P. 1.

## REFERENCES

1. *Eslami A., Nassif N.T., Lal S.* Evaluating high and low heart rate variability response and neurocognitive performance in workers: An exploratory study // *Behav. Sci. (Basel).* 2023. V. 13. № 9. P. 742.
2. *Korneev A.A., Lomakin D.I., Kurgansky A.V.* [Comparative study of visual working memory in solving problems of reproducing serially organized information in primary school children, adolescents and adults / Regulation of behavior and cognitive activity in adolescence. Brain mechanisms]. M.: Moscow Psychological and Social University, 2023. Chapter 8. P. 347.
3. *Baddeley A.* Working memory: theories, models, and controversies // *Annu. Rev. Psychol.* 2012. V. 63. P. 1.
4. *Cowan N.* The many faces of working memory and short-term storage // *Psychon. Bull. Rev.* 2017. V. 24. № 4. P. 1158.
5. *Gokce A., Zinchenko A., Annac E. et al.* Affective modulation of working memory maintenance: the role of positive and negative emotions // *Adv. Cogn. Psychol.* 2021. V. 17. № 2. P. 107.
6. *Oberauer K.* Working memory and attention – a conceptual analysis and review // *J. Cogn.* 2019. V. 2. № 1. P. 36.
7. *Gathercole S.E., Pickering S.J., Knight C., Stegmann Z.* Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age // *Appl. Cogn. Psychol.* 2004. V. 18. № 1. P. 1.
8. *Jones J.S., Milton F., Mostazir M., Adlam A.R.* The academic outcomes of working memory and metacognitive strategy training in children: A double-blind randomized controlled trial // *Dev. Sci.* 2020. V. 23. № 4. P. e12870.
9. *Ismatullina V.I., Voronin I.A., Zakharov I.M.* [Productivity of spatial working memory in adolescents from 10 to 17 years old] / First National Congress on Cognitive Research, Artificial Intelligence and Neuroinformatics. Ninth International Conference on Cognitive Science. Collection of scientific papers. In two parts. Part 2. Moscow: National Research Nuclear University MEPhI, 2021. P. 190.
10. *Plotnikova V.N.* [Features of memory development in adolescence] // *Obrazovatel'nyy A'manakh.* 2023. № 13 (75). P. 86.
11. *Skalaban L.J., Cohen A.O., Conley M. et al.* Adolescent-specific memory effects: evidence from working memory, immediate and long-term recognition memory performance in 8–30 yr olds // *Learn. Mem.* 2022. V. 29. № 8. P. 223.
12. *Korneev A.A., Lomakin D.I.* [Memorizing and reproducing the sequence of movements by younger schoolchildren and adolescents: Age-specific mistakes] // *National Psychol. J.* 2018. № 3. P. 129.
13. *Isbell E., Fukuda K., Neville H.J., Vogel E.K.* Visual working memory continues to develop through adolescence // *Front. Psychol.* 2015. V. 6. P. 696.

14. *Zhu J., Hammond B.M., Zhou X.M., Constantinidis C.* Laminar pattern of adolescent development changes in working memory neuronal activity // *J. Neurophysiol.* 2023. V. 130. № 4. P. 980.
15. *Cohen Kadosh K., Heathcote L.C., Lau J.Y.F.* Age-related changes in attentional control across adolescence: How does this impact emotion regulation capacities? // *Front. Psychol.* 2014. V. 5. P. 111.
16. *Hobbiss M.H., Lavie N.* Sustained selective attention in adolescence: Cognitive development and predictors of distractibility at school // *J. Exp. Child. Psychol.* 2024. V. 238. P. 105784.
17. *Kurgansky A.V., Korneev A.A., Lomakin D.I., Machinskaya R.I.* [Retention of verbal and nonverbal information in the working memory. An analysis of functional and effective connectivity] // *Zh. Vyssh. Nerv. Deiat. Im. I.P. Pavlova.* 2024. V. 74. № 2. P. 223.
18. *Zimmer U., Wendt M., Pacharra M.* Enhancing allocation of visual attention with emotional cues presented in two sensory modalities // *Behav. Brain. Funct.* 2022. V. 18. № 1. P. 10.
19. *Zinchenko A., Geyer T., Müller H.J., Conci M.* Affective modulation of memory-based guidance in visual search: Dissociative role of positive and negative emotions // *Emotion.* 2020. V. 20. № 7. P. 1301.
20. *Critchley H.D., Eccles J., Garfinkel S.N.* Interaction between cognition, emotion, and the autonomic nervous system // *Handb. Clin. Neurol.* 2013. V. 117. P. 59.
21. *Forte G., Favieri F., Casagrande M.* Heart rate variability and cognitive function: a systematic review // *Front. Neurosci.* 2019. V. 13. P. 710.
22. *Feeling N., Williams D.P., Speller L.F. et al.* Resting state heart rate variability and false memories // *Int. J. Psychophysiol.* 2021. V. 159. P. 17.
23. *Tatsumi S., Kuratsune D., Kuratsune H.* Relationship between autonomic nervous function and brain functions such as memory and attention // *Research Square.* 2023. 14 p. Doi: 10.21203/rs.3.rs-2983797/v1
24. *Thayer J.F., Lane R.D.* Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2009. V. 33. № 2. P. 81.
25. *Bufo M.R., Guidotti M., De Faria C. et al.* Autonomic tone in children and adults: Pupillary, electrodermal and cardiac activity at rest // *Int. J. Psychophysiol.* 2022. V. 180. P. 68.
26. *Rotenberg S., McGrath J.J.* Inter-relation between autonomic and HPA axis activity in children and adolescents // *Biol. Psychol.* 2016. V. 117. P. 16.
27. *Luck S.J., Vogel E.K.* The capacity of visual working memory for features and conjunctions // *Nature.* 1997. V. 390. № 6657. P. 279.
28. *Baddeley A.* Working memory: Looking back and looking forward // *Nat. Rev. Neurosci.* 2003. V. 4. № 10. P. 829.
29. *Lang P.J., Bradley M.M.* International affective picture System (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual / Technical Report A-8. University of Florida, Gainesville, FL. 2008. URL: <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=755311>.
30. *Dan-Glauser E.S., Scherer K.R.* The Geneva affective picture database (GAPED): A new 730-picture data-base focusing on valence and normative significance // *Behav. Res. Methods.* 2011. V. 43. № 2. P. 468.
31. *Sharapov A.N., Bezobrazova V.N., Dogadkina S.B. et al.* [Adaptation of the cardiovascular and neuroendocrine systems to different types of loads in adolescents aged 12–14 years] // *New Studies.* 2016. V. 49. № 4. P. 21.
32. *Rozovskaya R.I.* [The influence of emotional coloring of memorized information on brain organization and efficiency of working memory]: avtoref. ... diss. kand. psixol. nauk. Moscow, 2019. 32 p.
33. *Wang L., Hao J., Zhou T.H.* ECG multi-emotion recognition based on heart rate variability signal features mining // *Sensors (Basel).* 2023. V. 23. № 20. P. 8636.
34. *Correia P., Morais P., Quintão C. et al.* Assessing the Emotional Reaction to Negative Pictures Through Electrodermal Activity Data / *Advances in Human Factors and System Interactions, Proceedings of the AHFE.* July 25-29, USA, Springer, 2021. P. 116.
35. *Sanchez-Comas A., Synnes K., Molina-Estren D. et al.* Correlation analysis of different measurement places of galvanic skin response in test groups facing pleasant and unpleasant stimuli // *Sensors (Basel).* 2021. V. 21. № 12. P. 4210.
36. *Savitskaia T.Y., Nosulenko V.N., Alexandrov Yu.I.* [Heart rate dynamics in individuals while they were evaluating and describing emotional images] // *Exp. Psychol.* 2020. V. 13. № 1. P. 5.
37. *Behnke M., Kreibig S.D., Kaczmarek L.D. et al.* Autonomic nervous system activity during positive emotions: A meta-analytic review // *Emotion Rev.* 2022. V. 14. № 2. P. 132.
38. *Bashir J., Goswami Y.P.* Stress and guided imagery technique // *Gal. Int. J. Health. Sci. Res.* 2020. V. 5. № 1. P. 147.
39. *Weissertreyger A.S.R.* [Comprehensive study of the dynamics of physiological indicators in humans during the perception of sensory emotiogenic stimuli]: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. St. Petersburg, 2018. 27 p.
40. *Kreibig S.D.* Autonomic nervous system activity in emotion: A review // *Biol. Psychol.* 2010. V. 84. № 3. P. 394.
41. *Pasquini L., Noohi F., Veziris C.R. et al.* Dynamic autonomic nervous system states arise during emotions and manifest in basal physiology // *Psychophysiology.* 2023. V. 60. № 4. P. e14218.

42. *Shaffer F., Ginsberg J.P.* An overview of heart rate variability metrics and norms // *Front. Public. Health.* 2017. V. 5. P. 258.
43. *Weissman D.G., Mendes W.B.* Correlation of sympathetic and parasympathetic nervous system activity during rest and acute stress tasks // *Int. J. Psychophysiol.* 2021. V. 162. P. 60.
44. *Callara A.L., Sebastiani L., Vanello N. et al.* Parasympathetic-sympathetic causal interactions assessed by time-varying multivariate autoregressive modeling of electrodermal activity and heart-rate-variability // *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2021. V. 68. № 10. P. 3019.
45. *Antypa D., Cabrita D.R., Vuilleumier P., Rimmelle U.* Cortisol suppression after memory reactivation impairs later memory performance // *Psychoneuroendocrinology.* 2019. V. 106. P. 226.
46. *Gutchess A., Alves A.N., Paige L.E. et al.* Age differences in the relationship between cortisol and emotional memory // *Psychol. Aging.* 2019. V. 34. № 5. P. 655.
47. *Seddon J.A., Rodriguez V.J., Provencher Y. et al.* Meta-analysis of the effectiveness of the Trier social stress test in eliciting physiological stress responses in children and adolescents // *Psychoneuroendocrinology.* 2020. V. 116. P. 104582.
48. *Wesarg C., Van den Akker A.L., Oei N.Y. et al.* Childhood adversity and vagal regulation: A systematic review and meta-analysis // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2022. V. 143. P. 104920.
49. *Liu J.J., Ein N., Peck K. et al.* Sex differences in salivary cortisol reactivity to the Trier social stress test (TSST): A meta-analysis // *Psychoneuroendocrinology.* 2017. V. 82. P. 26.
50. *DeJoseph M.L., Leneman K.B., Palmer A.R. et al.* Adrenocortical and autonomic cross-system regulation in youth: A meta-analysis // *Psychoneuroendocrinology.* 2023. V. 159. P. 106416.
51. *Portnova G.V., Liaukovich K.M., Vasilieva L.N., Alshanskaia E.I.* [Vegetative and behavioral indicators of cognitive load in healthy volunteers] // *Zh. Vyssh. Nerv. Deiat. Im. I.P. Pavlova.* 2022. V. 72. № 4. P. 504.
52. *Parent S., Lupien S., Herba C.M. et al.* Children's cortisol response to the transition from preschool to formal schooling: A review // *Psychoneuroendocrinology.* 2019. V. 99. P. 196.
53. *Joos C.M., Wodzinski A.M., Wadsworth M.E., Dorn L.D.* Neither antecedent nor consequence: Developmental integration of chronic stress, pubertal timing, and conditionally adapted stress response // *Dev. Rev.* 2018. V. 48. P. 1.

## Autonomic and Hormonal Support of Working Memory during Memorization of Emotionally Colored Information in 13–14 Years Old Adolescents

O. N. Adamovskaya\*, I. V. Ermakova\*\*

*Institute of Child Development, Health and Adaptation, Moscow, Russia*

\*E-mail: [krysyuk-19@yandex.ru](mailto:krysyuk-19@yandex.ru)

\*\*E-mail: [ermek61@mail.ru](mailto:ermek61@mail.ru)

In adolescents (n = 24), the vegetative and hormonal provision of visual working memory (RP) was studied when memorizing and comparing emotionally colored information (positive, negative and neutral). Memorization and comparison of neutral images were accompanied by a decrease in neurohumoral and metabolic regulation of the heart, increased sympathetic activity compared with the background, as well as a rapid recovery of HRV indicators to the initial level, which indicates the adequate use of adaptive regulatory strategies. The high efficiency of RP was revealed against the background of the maximum reaction time compared with other blocks. The performance of positively colored tasks did not cause significant changes in HRV indicators, a similar reaction was also noted during the recovery period. The most generalized reaction of the ANS in adolescents was noted when memorizing and comparing negatively colored stimuli. An increase in parasympathetic activity was revealed, a decrease in neurohumoral and metabolic effects. During the recovery period, there was an increase in sympathetic activity. Presumably, an increase in vagal activity may be associated with the stage of resource mobilization during anxiety and stress. In this case, anxiety acts as a maladaptive factor that reduces the effectiveness of RP (the lowest percentage of correct answers) against the background of minimal reaction time. In the study of hormonal support of working memory during memorization and comparison of information of different emotional valence, no statistically significant changes in the concentration of cortisol in saliva were observed.

*Keywords:* adolescents, working memory, emotional valence, heart rate variability, skin-galvanic response, cortisol.