

УДК 612.821:616.831

ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ САМОРЕГУЛЯЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ВОСПРИЯТИЯ

© 2012 г. Д. В. Бердников

Курский государственный медицинский университет, г. Курск

Изучены электрофизиологические механизмы обеспечения оптимального проявления неспецифических характеристик и свойств саморегуляции функциональных систем восприятия и отмеривания длительности звукового сигнала и пространственно-временных параметров, отражающих происходящие в акцепторах результатов действия процессы. Установлено, что свойства саморегуляции одной и той же функциональной системы существенно отличаются во взаимодействиях с ЭЭГ-ритмами, особенностями динамической связи между различными областями мозга и необходимой неспецифической активацией центральной нервной системы (ЦНС), связанной с активирующими влияниями доминирующей мотивации. Показано, что при сходном характере зависимостей от ЭЭГ-ритмов и изменений их пространственно-временной синхронизации одинаковые свойства саморегуляции разных функциональных систем обеспечиваются различными уровнями генерализованной активации ЦНС.

Ключевые слова: функциональная система, саморегуляция, генерализованная активация, ЭЭГ

Саморегуляция традиционно рассматривается как системный интегративный процесс, обеспечивающий адекватную изменчивость и пластичность жизнедеятельности, проявляющийся в поведенческой активности и адаптации человека к условиям существования [11]. Данный процесс является ключевым в теории функциональных систем и концепции системного квантования жизнедеятельности, согласно которым динамическая изменчивость на основе обратных связей (подкрепления) проявляется перестройками в блоках функциональных систем и обеспечивается работой акцептора результатов действия. Именно с его участием прогнозируется будущий результат, анализируется обратная афферентация, формируются обратные информационные влияния на процессы афферентного синтеза [16]. Поэтому основные свойства саморегуляции отражают происходящие в акцепторе результатов действия процессы. В нем имеются генетически детерминированные и динамически изменяющиеся компоненты, а морфофункциональную многоуровневую архитектуру составляют энграммы сохраняющих след подкрепления вставочных нейронов коры и подкорковых образований [15, 16]. Кроме того, большинство функциональных систем конвергируют в одних и тех же структурах головного мозга, вследствие чего акцепторы результатов действия интегрируются в единый информационный голографический экран мозга [14]. Это положение позволило нам ранее допустить наличие общих свойств и процессов саморегуляции акцепторов результатов действия у разных функциональных систем. На основе модели операторской деятельности были разработаны методики исследования саморегуляции функциональных систем восприятия при разных видах обратной связи и выделен ряд неспецифических биологически обусловленных свойств саморегуляции восприятия [1, 2]. Однако до настоящего времени интегральные психофизиологические предпосылки саморегуляции остаются недостаточно изученными. Исходя из вышеизложенного, целью данного исследования являлось выявление электрофизиологических коррелятов, обеспечивающих оптимальное проявление характеристик и свойств саморегуляции функциональных систем восприятия информации.

Методы

В эксперименте приняли участие 167 студентов высших учебных заведений (125 женщин и 42 мужчины) в возрасте 18–26 лет, у которых исследовали показатели электроэнцефалографии (ЭЭГ) и характеристики саморегуляции восприятия длительности тона. Саморегуляцию пространственно-временных параметров эталона изучили у 164 человек (123 женщины и 41 мужчина). Критерием исключения

из обследования служило наличие сопутствующих заболеваний в фазе обострения или требующих постоянной медикаментозной терапии.

Электрокортикальные проявления индивидуальной активации центральной нервной системы (ЦНС) исследовали с помощью компьютерного анализа фоновой ЭЭГ, регистрируемой в состоянии покоя, монополярно по схеме 10–20, с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-спектр» (Россия, «Нейро-софт», г. Иваново). Референтные электроды крепили на мочки ушей. Безартефактные отрезки ЭЭГ (эпохами 2,56 сек.) анализировали с помощью пакета программ «Нейрон-спектр 2.0.3.1.». Автоматизированно рассчитывали спектр мощности ЭЭГ по Блекману – Тьюки; кросскорреляцию биопотенциалов лобных, теменных, височных, затылочных областей; внутри- и межполушарную когерентность биопотенциалов (δ -, θ -, α -, β_1 - и β_2 -диапазонов). Затем показатели фоновой ЭЭГ по 8 зонам мозга у каждого испытуемого усредняли и вычисляли средние общемозговые значения индексов, спектров, их мощности, средней пространственно-временной скоррелированности и когерентности биопотенциалов мозга, что позволило выявить общемозговые характеристики биоэлектрической активности [8].

Саморегуляцию функциональных систем изучали методиками восприятия и отмиривания длительности чистого тона (700 Гц) и пространственно-временных параметров стимула, которые проводились единообразно [1]. Испытуемому после предъявления на мониторе компьютера тест-объекта и четырех пробных тестов необходимо было последовательно по 50 раз его воспроизвести при следующих условиях: без обратной связи, с внешней истинной и ложной обратной зрительной связью. Рассчитывали 17 характеризующих структуру ошибок коэффициентов, разделенных на несколько групп, где результат саморегуляции функциональной системы проявлялся средней величиной ошибок без учета знака (K1) [2]. Вариативность оценок (K2) и степень преобладания тенденции к переоценке или недооценке (K3) отражали динамическую, а средние величины переоценок (K4) и недооценок (K5) – качественную характеристику стиля достижения результата. Обучаемость саморегуляции характеризовалась прогрессом точности воспроизведения эталона (K6), стабилизацией процесса саморегуляции (K7), степенью уменьшения вариативности последних десяти оценок в сравнении с первыми десяти (K8), отношением средних отклонений первых и последних десяти оценок по модулю (K9) и относительной негэнтропией (K10), отражающей упорядоченность оценок. Степень повышения точности (K11) и стабильности (K12) оценок при введении внешней обратной связи отражали чувствительность к ней в сравнении с результатом при ее отсутствии. Другие коэффициенты характеризовали различные аспекты пластичности саморегуляции. Степень изменения оценки объекта после получения

информации о предыдущем результате (K13) связана с гибкостью перепрограммирования деятельности, реактивной пластичностью. В соотношении показателей гибкости перепрограммирования действия при разных видах обратной связи (K14) проявлялась общая пластичность в целом. Скорость перестройки деятельности (K15), степень изменения точности (K16) и вариативности (K17) оценок при изменении параметров эталона отражали направленность на скорейшее достижение нового результата. Саморегуляцию функциональных систем без обратной связи оценивали коэффициентами K1–K5, K13, с истинной обратной связью – K1–K14, а с ложной связью использовали все показатели.

Полученные с использованием программного комплекса Statistica 6.0 данные подвергали корреляционному анализу по Спирмену. При проверке статистических гипотез и значений степени силы связей применялся критический уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты

Установлено, что точность саморегуляции восприятия длительности тона (K1) на основе внутренних обратных связей не имеет связей с показателями ЭЭГ. При этом стабильность оценок (K2) обусловлена снижением межполушарной когерентности θ -ритма, внутриполушарной когерентности θ -, α -, β_1 - и β_2 -ритмов, а также коэффициента межполушарной корреляции (табл. 1, 2).

Таблица 1
Коэффициенты корреляции показателей саморегуляции восприятия длительности тона и частотных и спектральных показателей ЭЭГ (n = 167)

Показатель саморегуляции			Максимальная амплитуда ритма			Средняя амплитуда ритма		Индекс ритмов	
			θ	α	β_1	θ	α	δ	α
Без обратной связи	K13	R	–0,04	–0,14	–0,05	–0,06	–0,17	0,09	–0,12
		p	0,612	0,081	0,503	0,471	0,029	0,276	0,134
С обратной связью	K1	R	–0,04	–0,12	0,01	0,001	–0,12	0,17	–0,17
		p	0,623	0,113	0,861	0,992	0,112	0,032	0,030
	K2	R	–0,02	–0,16	–0,01	0,01	–0,15	0,16	–0,21
		p	0,761	0,043	0,879	0,897	0,054	0,036	0,006
	K5	R	–0,04	–0,10	0,03	0,004	–0,11	0,17	–0,13
		p	0,582	0,191	0,706	0,952	0,151	0,031	0,098
	K8	R	0,002	–0,06	–0,16	–0,01	–0,10	0,02	–0,12
		p	0,981	0,413	0,037	0,897	0,211	0,832	0,122
	K10	R	0,001	0,14	0,04	–0,02	0,15	–0,08	–0,19
		p	0,998	0,072	0,601	0,803	0,050	0,281	0,015
С ложной связью	K14	R	0,13	0,16	0,11	0,15	0,19	–0,04	0,13
		p	0,099	0,039	0,148	0,048	0,013	0,577	0,100
	K17	R	0,18	0,19	0,14	0,10	0,17	–0,18	0,17
		p	0,023	0,014	0,072	0,200	0,024	0,018	0,031

Примечание для табл. 1–4. R – коэффициент ранговой корреляции по Спирмену, p – уровень значимости.

Таблица 2

**Коэффициенты корреляции показателей саморегуляции восприятия длительности тона
и пространственной синхронизации ритмов ЭЭГ (n = 167)**

Показатель саморегуляции			Межполушарная когерентность			Внутриполушарная когерентность				Межполушарная корреляция	
			θ	α	β ₁	δ	θ	α	β ₁		β ₂
Без обратной связи	K2	R	0,18	0,10	0,11	0,09	0,26	0,15	0,23	0,16	0,18
		p	0,020	0,184	0,172	0,255	0,001	0,046	0,003	0,044	0,018
	K3	R	0,07	0,08	0,01	0,17	0,15	0,15	0,20	0,15	−0,02
		p	0,375	0,301	0,870	0,024	0,066	0,068	0,011	0,063	0,811
	K4	R	0,06	0,06	0,03	0,13	0,15	0,09	0,18	0,11	0,04
		p	0,455	0,476	0,697	0,098	0,062	0,251	0,021	0,176	0,600
	K5	R	0,07	0,04	0,17	−0,02	0,05	0,003	0,01	−0,01	0,04
		p	0,401	0,654	0,033	0,782	0,500	0,978	0,901	0,855	0,599
	K13	R	0,18	0,12	0,12	0,10	0,22	0,17	0,22	0,15	0,11
		p	0,021	0,141	0,114	0,192	0,004	0,026	0,005	0,048	0,151
С обратной связью	K6	R	−0,04	−0,11	−0,17	0,01	0,05	−0,08	0,01	−0,01	−0,20
		p	0,577	0,154	0,026	0,851	0,545	0,307	0,879	0,933	0,010
	K7	R	−0,14	−0,16	−0,19	−0,05	−0,11	−0,16	−0,11	−0,05	−0,21
		p	0,061	0,033	0,013	0,501	0,175	0,037	0,166	0,491	0,007
	K8	R	−0,01	−0,09	−0,18	0,04	0,04	−0,06	0,03	0,04	−0,23
		p	0,922	0,279	0,018	0,653	0,584	0,461	0,666	0,612	0,003
	K9	R	−0,01	−0,09	−0,16	−0,004	0,05	−0,07	0,02	0,02	−0,19
		p	0,891	0,273	0,044	0,954	0,501	0,371	0,834	0,799	0,015
	K12	R	−0,11	−0,02	−0,08	−0,02	−0,19	−0,07	−0,20	−0,14	−0,25
		p	0,172	0,854	0,312	0,781	0,015	0,394	0,008	0,063	0,001
С ложной связью	K4	R	−0,07	−0,01	−0,08	−0,06	−0,10	−0,08	−0,15	−0,10	−0,13
		p	0,377	0,933	0,301	0,474	0,201	0,324	0,049	0,211	0,113
	K12	R	0,09	0,15	0,02	0,10	0,16	0,15	0,11	0,17	0,03
		p	0,264	0,062	0,801	0,193	0,040	0,065	0,167	0,029	0,671
	K12	R	−0,07	0,004	−0,05	−0,04	−0,20	−0,09	−0,18	0,02	−0,11
		p	0,366	0,965	0,564	0,623	0,008	0,277	0,018	0,101	0,181

Направленность к недооценке (К3) связана со снижением только внутриполушарной когерентности δ - и β_1 -ритмов, тогда как уменьшение переоценок (К4) — только со снижением внутриполушарной когерентности β_1 -ритмов, а недооценок (К5) — с уменьшением их межполушарной когерентности. Следовательно, стилевые характеристики саморегуляции улучшаются при уменьшении тормозных влияний на кору головного мозга, а выраженность активирующих влияний при этом не достигает предельных значений [23, 24]. Повышение гибкости саморегуляции (К13) коррелирует с ростом средней амплитуды α -ритма, снижением межполушарной синхронизации θ -ритма и внутриполушарной когерентности θ -, α -, β_1 - и β_2 -ритмов.

При внешней обратной связи точность саморегуляции (К1) восприятия зависит от снижения общей представленности δ -ритма и роста α -ритма. Для стабильности (К2) оценок к этому добавляется усиление максимальной амплитуды α -ритма. Низкая величина недооценок связана только со снижением индекса δ -ритма. Рост обучаемости (К6—К9) зависит от

уменьшения межполушарной когерентности β_1 -ритма и межполушарной корреляции всех ритмов. Общая пластичность (К14) обусловлена внутриполушарной когерентностью β_1 -ритма, а чувствительность к обратной связи (К12) — внутриполушарной синхронизацией θ - и β_1 -ритмов и межполушарной корреляцией всех ритмов. Данные факты подтверждаются и в тестах с ложной обратной связью. Так, общая пластичность (К14) саморегуляции при ложной обратной связи зависит от уменьшения максимальной амплитуды α -ритмов и средней амплитуды θ - и α -ритмов. Такие же связи, но с повышением δ -индекса на фоне снижения α -ритма показывают направленность деятельности на скорейшее достижение нового результата (К17).

При восприятии и отмеривании пространственно-временных параметров объекта характер корреляционных связей несколько отличался. В частности, при опоре на внутренние обратные связи высокая точность (К1; $r = 0,17$, при $p = 0,028$), стабильность оценок (К2; $r = 0,17$, при $p = 0,026$) и уменьшение величин недооценок (К5; $r = 0,19$, при $p = 0,013$) зависят от уменьшения внутриполушарной корреляции всех

ритмов. Точность (K1) саморегуляции с внешней обратной связью обусловлена снижением внутри- и межполушарной когерентности θ -ритма и внутриволновой корреляции всех ритмов (табл. 3, 4).

Стабильность оценок (K2) связана со снижением индекса β_1 -ритма, внутри и межполушарной когерентности θ -ритма. Тенденция к недооценкам и уменьшение величины переоценок обусловлены

ростом максимальной амплитуды и индекса α -ритма при снижении общей представленности δ - и θ -ритмов. Обучаемость (K7–K9) в основном связана с уменьшением δ -индекса на фоне увеличения α -ритма. Высокая чувствительность к обратной связи (K12), как и гибкость (K13), в большей мере зависят от общего снижения представленности β_1 -ритмов, а общая пластичность (K14) — от уменьшения θ -ритма.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции показателей саморегуляции восприятия пространственно-временных параметров эталона и частотных и спектральных показателей ЭЭГ (n = 164)

Показатель саморегуляции			Максимальная амплитуда				Средняя амплитуда		Индекс ритмов			
			θ	α	β_1	β_2	θ	α	δ	θ	α	β_1
С обратной связью	K2	R	0,01	−0,08	0,03	−0,03	0,02	−0,10	0,02	0,13	−0,09	0,16
		p	0,845	0,321	0,701	0,675	0,801	0,185	0,812	0,094	0,283	0,041
	K3	R	0,01	−0,16	0,01	−0,03	0,02	−0,13	0,17	0,14	−0,16	0,12
		p	0,921	0,040	0,882	0,701	0,834	0,102	0,030	0,071	0,042	0,121
	K4	R	−0,06	−0,15	−0,06	−0,07	−0,04	−0,15	0,08	0,16	−0,08	0,13
		p	0,425	0,050	0,413	0,411	0,616	0,045	0,334	0,039	0,301	0,098
	K7	R	0,10	0,13	0,06	−0,01	0,06	0,12	−0,20	0,08	0,16	0,08
		p	0,210	0,101	0,432	0,874	0,412	0,133	0,012	0,345	0,040	0,314
	K8	R	0,12	0,06	0,005	0,02	0,06	0,03	−0,16	0,11	0,05	0,01
		p	0,131	0,467	0,958	0,793	0,436	0,721	0,042	0,154	0,562	0,897
	K9	R	0,15	0,09	0,02	0,05	0,09	0,06	−0,19	0,13	0,06	−0,02
		p	0,064	0,253	0,812	0,494	0,266	0,482	0,016	0,101	0,452	0,844
	K10	R	−0,10	0,17	−0,01	0,02	−0,11	0,14	−0,18	−0,27	0,20	−0,11
		p	0,222	0,031	0,876	0,834	0,154	0,076	0,020	0,001	0,011	0,172
	K12	R	0,05	0,01	0,12	0,04	0,04	−0,002	−0,05	0,07	−0,02	0,16
		p	0,532	0,924	0,121	0,572	0,655	0,984	0,502	0,383	0,773	0,039
	K13	R	0,03	−0,15	0,03	−0,03	0,04	−0,14	0,12	0,21	−0,13	0,20
		p	0,751	0,046	0,731	0,664	0,601	0,083	0,132	0,008	0,111	0,012
	K14	R	0,08	−0,01	0,12	0,06	0,09	0,01	0,02	0,18	−0,01	0,15
		p	0,314	0,862	0,141	0,474	0,273	0,903	0,832	0,024	0,914	0,061
С ложной связью	K2	R	0,08	−0,07	0,04	0,001	0,08	−0,08	0,01	0,19	−0,07	0,11
		p	0,324	0,413	0,591	0,994	0,293	0,331	0,924	0,015	0,384	0,165
	K3	R	−0,13	−0,19	−0,17	−0,16	−0,14	−0,18	0,14	0,01	−0,13	−0,01
		p	0,101	0,016	0,039	0,045	0,084	0,020	0,082	0,883	0,110	0,901
	K4	R	0,07	−0,05	0,02	−0,04	0,07	−0,06	0,02	0,18	−0,04	0,09
		p	0,353	0,54	0,772	0,601	0,393	0,422	0,764	0,021	0,644	0,275
	K6	R	−0,25	−0,08	−0,04	0,02	−0,20	−0,06	−0,01	−0,22	0,02	0,07
		p	0,001	0,321	0,621	0,835	0,010	0,454	0,872	0,004	0,813	0,341
	K7	R	−0,04	0,03	0,08	0,15	−0,03	0,07	−0,07	−0,18	0,06	0,06
		p	0,582	0,732	0,311	0,060	0,754	0,391	0,362	0,019	0,445	0,423
	K8	R	−0,25	−0,09	−0,07	−0,01	−0,20	−0,08	−0,01	−0,20	−0,01	0,04
		p	0,001	0,266	0,400	0,884	0,009	0,311	0,882	0,010	0,934	0,633
	K9	R	−0,26	−0,13	−0,08	−0,03	−0,21	−0,11	0,02	−0,19	−0,03	0,04
		p	0,001	0,111	0,279	0,702	0,006	0,151	0,784	0,013	0,693	0,612
	K10	R	−0,11	0,18	0,04	0,01	−0,10	0,17	−0,07	−0,26	0,16	−0,05
		p	0,157	0,018	0,632	0,879	0,219	0,033	0,387	0,001	0,037	0,492
	K12	R	0,16	0,01	0,13	0,05	0,15	0,01	−0,05	0,17	−0,06	0,06
		p	0,036	0,862	0,101	0,494	0,047	0,872	0,494	0,025	0,468	0,439
	K13	R	0,05	−0,09	0,001	−0,04	0,04	−0,10	0,04	0,17	−0,07	0,08
		p	0,546	0,243	0,992	0,599	0,582	0,221	0,636	0,028	0,354	0,281
	K14	R	0,14	0,07	0,12	0,08	0,14	0,08	−0,05	0,15	0,03	0,03
		p	0,071	0,384	0,121	0,333	0,071	0,316	0,512	0,048	0,737	0,659

Таблица 4

Коэффициенты корреляции показателей саморегуляции восприятия пространственно-временных параметров и пространственной синхронизации ритмов ЭЭГ (n = 164)

Показатель саморегуляции			Межполушарная когерентность		Внутриполушарная когерентность			Коэффициент внутриполушарной корреляции
			θ	β_2	δ	θ	β_2	
С внешней связью	K1	R	0,17	0,004	0,01	0,22	-0,01	0,18
		p	0,033	0,948	0,221	0,004	0,194	0,019
	K2	R	0,20	-0,01	0,08	0,19	0,11	0,17
		p	0,011	0,821	0,233	0,015	0,193	0,026
	K5	R	0,15	0,02	0,03	0,20	-0,04	0,17
		p	0,059	0,601	0,122	0,005	0,413	0,033
С ложной связью	K1	R	0,15	-0,04	0,03	0,16	0,13	0,12
		p	0,047	0,637	0,692	0,039	0,100	0,117
	K3	R	-0,16	-0,09	-0,11	-0,18	-0,15	-0,07
		p	0,037	0,257	0,172	0,019	0,058	0,401
	K4	R	0,13	0,06	0,05	0,17	0,09	0,14
		p	0,111	0,479	0,521	0,033	0,284	0,062
	K6	R	0,15	-0,04	0,06	0,14	0,18	0,08
		p	0,057	0,621	0,411	0,057	0,018	0,332
	K8	R	0,12	-0,07	0,09	0,13	0,20	0,12
		p	0,111	0,349	0,272	0,087	0,012	0,121
	K9	R	0,12	-0,09	0,10	0,14	0,21	0,15
		p	0,118	0,273	0,222	0,081	0,008	0,062
	K16	R	-0,11	-0,07	-0,19	-0,14	-0,19	-0,03
		p	0,171	0,411	0,015	0,082	0,017	0,701
	K17	R	-0,14	-0,17	-0,21	-0,19	-0,24	-0,04
		p	0,072	0,027	0,006	0,015	0,002	0,644

В случае использования ложной обратной связи корреляция точности со снижением внутри- и межполушарной синхронизации θ -ритма сохраняется. Обучаемость при этом зависит от снижения не δ -ритма, а θ -ритмов и от роста внутриполушарной когерентности β_2 -ритма, а выраженная общая пластичность (K16, K17) коррелирует с повышением внутри- и межполушарной синхронизации β_2 -ритма и внутриполушарной δ - и θ -ритмов.

Обсуждение результатов

В процессе интерпретации данных выраженность характеристик и свойств саморегуляции рассматривали как факторы, влияющие на достижение результата. При этом анализировали зависимость саморегуляции не только от частотно-спектрального состава и пространственно-временных характеристик ЭЭГ, но и от генерализованной активации ЦНС, которую расценивали как проявление неспецифического активирующего влияния доминирующей мотивации на процесс формирования динамического стереотипа головного мозга, объединяющего нейрональные элементы в пространственно-временных соотношениях [14, 15]. Использовали условную трехуровневую модель активации ЦНС, согласно которой вначале уменьшается медленноволновая активность и усиливается энергия α -ритма, что приводит к росту быстрых ритмов (временная синхронизация), десинхронизации

α -ритма и вызывает усиление пространственной внутри- и межполушарной синхронизации (когерентность) [5]. При этом временная синхронизация ритмов характеризует среднюю степень активации ЦНС, а пространственная — выраженную [10, 13]. Когерентность же между ЭЭГ-сигналами оценивалась как отражение динамической связи между различными областями мозга [6, 12].

Установлено, что на основе внутренних обратных связей точность и большинство стилевых характеристик саморегуляции восприятия обуславливаются средним уровнем активации ЦНС, что соответствует положению о куполообразной зависимости оптимальной результативности деятельности от уровня неспецифической активации [10]. Для гибкости саморегуляции необходим только начальный уровень активации. При этом она в большей мере связана с α -активностью, отражающей уровень «когнитивной готовности» и процессы переработки субъектом информации из внешнего мира [20, 21]. В случае использования истинной и ложной зрительной обратной связи выявленные зависимости имели неоднозначный характер.

При восприятии длительности тона с внешней обратной связью точность оценок обеспечивается начальным уровнем функциональной активации мозга. Ее зависимость от уменьшения представленности δ -активности и роста α -активности согласуется с данными литературы о связи точности отмеривания интервалов, скорости переработки зрительной информации и объема памяти, с выраженностью α -ритма и его соотношением с другими ритмами [3, 4, 22]. Этот же уровень активации обуславливает стиль достижения точности. Для высокой обучаемости свойственен средний уровень, проявляющийся в ослаблении межполушарной синхронизации β_1 -ритма, связанного с выраженностью когнитивных процессов [7, 12]. Поэтому можно полагать, что максимально выраженная неспецифическая активация ЦНС не оптимальна для процессов обучаемости. Иная картина наблюдается у высокой общей пластичности саморегуляции и чувствительности к обратной связи независимо от ее вида, которым соответствует максимальная активация. При этом сопровождающая чувствительность внутриполушарная синхронизация θ -ритма закономерно отражает общее рабочее напряжение и готовность к выполнению деятельности [17, 24]. Общая пластичность саморегуляции на основе ложных обратных связей, как и тенденция к скорейшему достижению нового результата, обеспечивается минимальным уровнем неспецифической активации с увеличением в ЭЭГ δ -индекса. Известно, что δ -ритм свидетельствует о возникновении утомления либо координационного торможения нервных путей [3]. Возможно, в этом отражается реагирование на возникающий когнитивный конфликт, когда усвоенный ранее и устойчиво воспроизводимый эталон неожиданно меняется и возникает состояние некоторого напряжения. Также имеются исследования,

указывающие на связь высокоамплитудной медленной ритмики со склонностью к стрессовым состояниям [17, 18]. Поэтому выраженное стремление к скорейшему достижению результата может быть связано с координационным торможением в условиях напряжения. Однако подобные предположения требуют подтверждения в исследованиях с учетом стратегий деятельности и реагирования на стресс.

При восприятии пространственно-временных параметров объекта точность и вариативность оценок обеспечиваются средним уровнем генерализованной активации ЦНС. Силевым же тенденциям саморегуляции достаточно начального уровня активации, характеризующегося ростом α -ритма на фоне снижения представленности медленноволновой ритмики (δ - и θ -ритмов). Сходная картина наблюдается и у процессов обучаемости. Начальный уровень активации ЦНС оптимален для чувствительности к обратной связи, реактивной и общей пластичности саморегуляции. При использовании ложной обратной связи точность и стиль саморегуляции обеспечиваются средним уровнем неспецифической активации, проявляющейся в снижении пространственной синхронизации θ -ритмов, ростом представленности α -, β_1 - и β_2 -ритмов. Обучаемость же связана с выраженной активацией, которая проявляется и во внутриполушарной когерентности β_2 -ритма, отражающей системную организацию мозговой нейродинамики [10]. Подобный уровень характерен и для общей пластичности саморегуляции. В данном случае интересен тот факт, что наряду с легкообъяснимым ростом внутри- и межполушарной синхронизации β_2 - и θ -ритмов проявляется внутриполушарная когерентность δ -ритма, отражающего снижение функциональной активности мозга. Вероятно, в данном случае, как и при саморегуляции длительности тона, имеется сочетание напряжения с координационным торможением.

На основании полученных результатов можно полагать, что различные свойства саморегуляции одной и той же функциональной системы восприятия, а следовательно, и процессы, происходящие в акцепторе результатов действия, существенно различаются между собой механизмами нейрофизиологического обеспечения, которые проявляются не только преобладанием определенных ЭЭГ-ритмов, особенностями динамической связи между различными областями мозга, но и характером неспецифической активации ЦНС. Следовательно, если генерализованная активация ЦНС отражает неспецифические активирующие влияния доминирующей мотивации на функциональную систему, а свойства саморегуляции связаны с процессами, происходящими в акцепторе результатов действия, то отдельные процессы одного и того же акцептора подвержены неодинаковым влияниям со стороны доминирующей мотивации. Эти данные согласуются с положениями о доминирующей мотивации в теории функциональных систем [14, 15].

В то же время зависимости одинаковых характеристик и свойств саморегуляции различных функ-

циональных систем от ЭЭГ-ритмов и особенностей динамической связи между различными областями мозга имеют во многом сходный характер, что согласуется с представлениями о конвергенции акцепторов результатов действия при формировании единого информационного голографического экрана мозга [9, 15, 19]. Существенные же различия обнаруживаются в связях с генерализованной активацией ЦНС. Так, самый высокий уровень активации при саморегуляции восприятия длительности тона обеспечивает чувствительность к обратной связи и общую пластичность, а также и обучаемость, в меньшей степени — результат и стиль его достижения. При саморегуляции восприятия пространственно-временных характеристик объектов высокий уровень активации связан с общей пластичностью как тенденцией на скорейшее достижение результата и с обучаемостью. Результативность и стиль обеспечивались средним уровнем активации, а чувствительность к обратной связи — начальным. В обеих функциональных системах уровень активности ЦНС наиболее согласованно обуславливал результативность саморегуляции и стиль ее достижения при опоре на прошлый опыт и внутренние обратные связи. Следовательно, обобщенные одинаковые свойства саморегуляции различных функциональных систем оптимально обеспечиваются определенным уровнем неспецифической активации ЦНС, что подтверждает представления о соответствии каждому виду деятельности собственного уровня функциональной активности мозга [10, 18].

Список литературы

1. Бердников Д. В. Методы исследования саморегуляции функциональных систем // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18, № 1. С. 21–23.
2. Бердников Д. В. Формально-динамический характер показателей саморегуляции функциональных систем // Фундаментальные исследования. 2011. № 2. С. 37–43.
3. Болдырева Г. Н. Электрическая активность мозга при поражениях дисцефальных структур. М.: Наука, 2000. 184 с.
4. Жебраилова Т. Д. Восприятие и воспроизведение временных интервалов у лиц с разными характеристиками альфа и бета ритмов // Физиология человека. 1995. Т. 21, № 4. С. 86–91.
5. Захарова Л. И. Проявление различных уровней генерализованной активации ЦНС в нейрофизиологических и вегетативных показателях человека // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». 2006. № 4. С. 28–37.
6. Кислова О. О., Русалова М. Н. Уровни когерентности ЭЭГ человека: связь с успешностью распознавания эмоций в голосе // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2008. Т. 94, № 6. С. 650–660.
7. Кислова О. О., Русалова М. Н. Асимметрия ЭЭГ человека: связь с успешностью распознавания эмоций в голосе // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2008. Т. 94, № 10. С. 1137–1146.
8. Козаренко Л. А., Плотников Д. В. О функциональном значении общемозговых индексов фоновой ЭЭГ человека // Материалы Всерос. симп. «Психосоматические расстройства: системный подход». Курск.: КГМУ, 2001. С. 104–109.

9. Лебедев А. Н., Мышкин И. Ю., Бовин Б. Г. Оценка психологических параметров личности по электроэнцефалограмме // Психологический журнал. 2002. Т. 23, № 3. С. 96–104.
10. Ливанов М. Н., Русинов В. С., Симонов П. В. Диагностика и прогнозирование функционального состояния мозга человека. М.: Наука, 1988. 207 с.
11. Павлов С. Е. Адаптация. М.: «Паруса», 2000. 282 с.
12. Русалова М. Н. Функциональная асимметрия мозга и эмоции // Журнал высшей нервной деятельности. 2003. Т. 34, № 4. С. 93–112.
13. Стрелец В. Б., Голикова Ж. В. Психофизиологические механизмы стресса у лиц с различной выраженностью активации // Журнал высшей нервной деятельности. 2001. Т. 51, № 2. С. 166–173.
14. Судаков К. В. Доминирующая мотивация в системных механизмах памяти // Успехи физиологических наук. 2005. Т. 36, № 4. С. 13–36.
15. Судаков К. В. Системное построение динамических стереотипов головного мозга // Успехи современной биологии. 2008. Т. 128, № 3. С. 227–244.
16. Судаков К. В. Системные механизмы психической деятельности // Журнал неврологии и психиатрии. 2010. № 2. С. 4–14.
17. Украинцева Ю. В., Русалова М. Н. Психофизиологическая характеристика лиц с различной стрессоустойчивостью // Успехи физиологических наук. 2006. Т. 37, № 2. С. 19–40.
18. Умрюхин Е. А., Джебраилова Т. Д., Коробейникова И. И. Связь результативности целенаправленной деятельности с параметрами ЭЭГ студентов в ситуации экзаменационного стресса // Психологический журнал. 2003. Т. 24, № 3. С. 88–92.
19. Умрюхин Е. А., Джебраилова Т. Д., Коробейникова И. И. Индивидуальные особенности достижения результатов целенаправленной деятельности и спектральные характеристики ЭЭГ студентов в предэкзаменационной ситуации // Психологический журнал. 2005. Т. 26, № 4. С. 56–64.
20. Angelakis E., Lubar J. F., Stothopoulou S., et al. Peak alpha frequency: an electroencephalographic measure of cognitive preparedness // Clin. Neurophysiol. 2004. Vol. 115, N 4. P. 887–897.
21. Hobson J. A., Pace-Schott E., Stickgold R. Dreaming and the brain: toward a cognitive neuroscience of conscious states // Behavioral and Brain Sciences. 2000. Vol. 23, N 6. P. 54–138.
22. Knyazev G. G., Savostyanov A. N., Levin E. A. Alpha synchronization and anxiety: implications for inhibition vs. alertness hypotheses // Int. J. Psychophysiol. 2006. Vol. 59. P. 151–158.
23. Sauseng P., Klimesch W., Schrabus M., Doppelmayr M. Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory // Int. J. Psychophysiol. 2005. Vol. 57, N 2. P. 97–103.
24. Schnack B., Klimesch W., Sauseng P. Phase synchronization between theta and alpha oscillations in a working memory task // Int. J. Psychophysiol. 2005. Vol. 57, N 2. P. 105–114.
25. Berdnikov D. V. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Studies]. 2011, no. 2, pp. 37–43. [in Russian]
26. Boldyreva G. N. *Elektricheskaya aktivnost' mozga pri porazheniyakh diencefal'nykh struktur* [Electric brain activity as a result of diencephalic structures' deficit]. Moscow, 2000, 184 p. [in Russian]
27. Dzhebrailova T. D. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1995, vol. 21, no. 4, pp. 86–91. [in Russian]
28. Zakharova L. I. *Kurskii nauchno-prakticheskii vestnik «Chelovek i ego zdorov'e»* [Kursk research and practice bulletin «Human Being and His Health»]. 2006, no. 4, pp. 28–37. [in Russian]
29. Kislova O. O., Rusalova M. N. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal im. I. M. Sechenova* [Russian Physiological Journal named after I. M. Sechenov]. 2008, vol. 94, no. 6, pp. 650–660. [in Russian]
30. Kislova O. O., Rusalova M. N. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal im. I. M. Sechenova* [Russian Physiological Journal named after I. M. Sechenov]. 2008, vol. 94, no. 10, pp. 1137–1146. [in Russian]
31. Kozarenko L. A., Plotnikov D. V. *Materialy Vseros. simp. «Psikhosomaticheskie rasstroistva: sistemnyi podkhod»* [Proceedings of All-Russian Symp. «Psychosomatic Disorders: Systemic Approach»]. Kursk, 2001, pp. 104–109. [in Russian]
32. Lebedev A. N., Myshkin I. Yu., Bovin B. G. *Psikhologicheskii zhurnal* [Psychological Journal]. 2002, vol. 23, no. 3, pp. 96–104. [in Russian]
33. Livanov M. N., Rusinov V. S., Simonov P. V. *Diagnostics i prognozirovanie funktsional'nogo sostoyaniya mozga cheloveka* [Diagnostics and prediction of human brain state]. Moscow, 1988, 207 p. [in Russian]
34. Pavlov S. E. *Adaptatsiya* [Adaptation]. Moscow, 2000, 282 p. [in Russian]
35. Rusalova M. N. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti* [Journal of Higher Nervous Activity]. 2003, vol. 34, no. 4, pp. 93–112. [in Russian]
36. Strelets V. B., Golikova Zh. V. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti* [Journal of Higher Nervous Activity]. 2001, vol. 51, no. 2, pp. 166–173. [in Russian]
37. Sudakov K. V. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk* [Successes of Physiological Sciences]. 2005, vol. 36, no. 4, pp. 13–36. [in Russian]
38. Sudakov K. V. *Uspekhi sovremennoi biologii* [Success of Modern Biology]. 2008, vol. 128, no. 3, pp. 227–244. [in Russian]
39. Sudakov K. V. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii* [Journal of Neurology and Psychiatry]. 2010, no. 2, pp. 4–14. [in Russian]
40. Ukraintseva Yu. V., Rusalova M. N. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk* [Successes of Physiological Sciences]. 2006, vol. 37, no 2, pp. 19–40. [in Russian]
41. Umryukhin E. A., Dzhebrailova T. D., Korobeinikova I. I. *Psikhologicheskii zhurnal* [Psychological Journal]. 2003, vol. 24, no. 3, pp. 88–92. [in Russian]
42. Umryukhin E. A., Dzhebrailova T. D., Korobeinikova I. I. *Psikhologicheskii zhurnal* [Psychological Journal]. 2005, vol. 26, no. 4, pp. 56–64. [in Russian]
43. Angelakis E., Lubar J. F., Stothopoulou S., et al. Peak alpha frequency: an electroencephalographic measure of cognitive preparedness. *Clin. Neurophysiol.* 2004, vol. 115, no. 4, pp. 887–897.
44. Hobson J. A., Pace-Schott E., Stickgold R. Dreaming and the brain: toward a cognitive neuroscience of conscious

References

1. Berdnikov D. V. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Bulletin of New Medical Technologies]. 2011, vol. 18, no. 1, pp. 21–23. [in Russian]

states. *Behavioral and Brain Sciences*. 2000, vol. 23, no. 6, pp. 54-138.

22. Knyazev G. G., Savostyanov A. N., Levin E. A. Alpha synchronization and anxiety: implications for inhibition vs. alertness hypotheses. *Int. J. Psychophysiol.* 2006, vol. 59, pp. 151-158.

23. Sauseng P., Klimesch W., Schrabus M., Doppelmayr M. Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. *Int. J. Psychophysiol.* 2005, vol. 57, no. 2, pp. 97-103.

24. Schnack B., Klimesch W., Sauseng P. Phase synchronization between theta and alpha oscillations in a working memory task. *Int. J. Psychophysiol.* 2005, vol. 57, no. 2, pp. 105-114.

ELECTROPHYSIOLOGICAL CORRELATES OF FUNCTIONAL COMPREHENSION SYSTEMS SELF-CONTROL

D. V. Berdnikov

Kursk State Medical University, Kursk, Russia

We have studied the electrophysiological mechanisms of providing optimal manifestation of non-specific char-

acteristics and self-regulation properties of the functional comprehension systems and measuring the length of a sound signal and spatio-temporal parameters reflecting the processes occurring in the action result acceptors. It has been established that various self-regulation properties of the same functional system differed greatly in the links with EEG-rhythms, the peculiarities of the dynamic connection between various parts of the brain and the necessary non-specific activation of CNS connected with the activating influences of the dominating motivation. It has been shown that with the similar character of dependence of the same self-regulation properties of different functional systems on EEG-rhythms and changes in their spatio-temporal synchronization, they were provided by different levels of the CNS generalized activation.

Keywords: self-control, functional systems, generalized activation, EEG

Контактная информация:

Бердников Дмитрий Валериевич — кандидат медицинских наук, соискатель кафедры патофизиологии ГБОУ ВПО «Курский государственный медицинский университет» Минздрава России

Адрес: 305041, г. Курск, ул. К. Маркса, д. 3
E-mail: berdnikov@rambler.ru