

УДК 612.821

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ МОЗГОВЫХ СИСТЕМ ЭМОЦИОНАЛЬНО-МОТИВАЦИОННОЙ РЕГУЛЯЦИИ И СКЛОННОСТЬ К РИСКУ У ПОДРОСТКОВ

© 2023 г. Д. И. Ломакин*

ФГБНУ Институт возрастной физиологии РАО, Москва, Россия

*E-mail: lomakindima4@gmail.com

Поступила в редакцию 17.03.2023 г.

После доработки 23.05.2023 г.

Принята к публикации 08.06.2023 г.

Цель исследования состояла в выявлении связи между состоянием регуляторных систем мозга (РС), процессами эмоционально-мотивационной регуляции и склонностью к принятию рискованных решений у подростков. В исследовании принимали участие 95 подростков (возраст $\sim 13.96 \pm 1.13$, девочек 34%). Комплексное исследование каждого подростка включало: 1) анализ электроэнцефалограммы (ЭЭГ) спокойного бодрствования для выявления паттернов, отражающих неоптимальное состояние РС, 2) оценку индивидуальных особенностей мотивации достижения vs. избегания неудач с помощью теста мотивации достижения (ТМД), *Mehrabian Achieving Tendency Scale*, 3) оценку эмоционального интеллекта (ЭИ) с помощью методики *Mayer, Salovey, Caruso Emotional Intelligence test 2.0*, 4) оценку склонности к принятию рискованных решений с использованием монетизированной компьютерной игры *Balloon Analog Risk Task (BART)*. На основании структурного визуального анализа ЭЭГ подростки были отнесены к подгруппам в зависимости от наличия ЭЭГ-паттернов, отражающих неоптимальное функционирование регуляторных систем мозга: фронто-таламической (ФТС) — при наличии билатерально-синхронных θ -волн (4–6 Гц) в лобных и/или лобных и центральных отведениях, лимбической (ЛМБ) — при наличии групп билатерально-синхронных веретенообразных колебаний в низкочастотном α -диапазоне (6–10 Гц) в лобных и/или лобных и передневисочных отведениях и лобно-базальной (ЛБЗ) — при наличии всплеск билатерально-синхронной веретенообразной β -активности (20–30 Гц) в лобных, центральных и/или лобных и передневисочных отведениях, а при отсутствии признаков — к контрольной группе. Общим для всех групп со специфическими ЭЭГ-признаками было снижение показателя шкалы ЭИ, отражающей способность соотношения ощущений с эмоциональным состоянием. Продемонстрировано специфическое снижение показателей ЭИ в выделенных группах по сравнению с контрольной группой: в группе ФТС — по шкале понимания смешанных эмоций, в группе ЛМБ — по шкале фасилитации когнитивной деятельности посредством эмоций; в группе ЛБЗ — по шкале, отражающей способность к управлению собственными эмоциями. Показатели ТМД оказались смещенными в сторону мотивации достижения в группе ЛМБ. Посредством корреляции проанализированы связи показателей эмоционально-мотивационной регуляции с показателями склонности к риску в каждой ЭЭГ-подгруппе. Для ФТС и ЛМБ продемонстрирована положительная корреляция ставки *BART* со шкалой соотношения ощущений с эмоциональным состоянием. Для ЛМБ также выявлена положительная корреляция ставки в *BART* со шкалой понимания сложного состава эмоций и шкалами управления собственными эмоциями и управления эмоциями в отношениях с другими людьми. Во всех случаях у подростков с неоптимальным состоянием РС как показатели ЭИ, так и показатели склонности к принятию рискованных решений оказались ниже, чем в контрольной группе. Результаты обсуждаются с точки зрения влияния неоптимального состояния различных РС мозга у подростков на процессы эмоционально-мотивационной регуляции поведения.

Ключевые слова: склонность к риску, качественный анализ ЭЭГ, психофизиология подросткового возраста, регуляторные системы мозга, эмоциональный интеллект.

DOI: 10.31857/S013116462360026X, **EDN:** XHJWGQ

В подростковом возрасте молодые люди активно взаимодействуют с коллективами сверстников и начинают планировать будущее [1]. Усвоение поведенческих норм, характерных для

различных групп и, зачастую, противоречащих друг другу, опирается на навыки саморегуляции и социального интеллекта [2]. Произвольный контроль деятельности способствует интеграции со-

циальных норм и личных мотивов [3]. В то же время, под влиянием гормональных перестроек физиологических систем организма, в коре и глубинных структурах мозга, связанных с обеспечением оценки субъективной значимости событий, принятием решений, оценкой позитивных и негативных последствий собственных действий, происходят нейрохимические, структурные и функциональные трансформации [4, 5]. Наиболее восприимчивыми к действию биологических и социальных факторов развития являются интенсивно созревающие в этот период регуляторные системы мозга (РС) [6, 7], чувствительность которых к эмоциональному стрессу повышается, а адаптационные возможности снижаются [8]. Возрастные изменения функционирования РС могут приводить к отклонениям поведения в виде отказа от соблюдения социальных норм, трудностей взаимоотношения со сверстниками и взрослыми, повышенной эмоциональной лабильности, агрессии, склонности к риску, появлению и закреплению различного вида зависимостей [9].

В мозговом обеспечении целенаправленного поведения участвует множество зон префронтальной коры и подкорковых образований. Различия в структуре и связях определяют функциональную гетерогенность латеральной, орбитальной и медиальной частей префронтальной коры — ПФК [10]. Нейропсихологические, нейрокогнитивные и нейрофизиологические исследования мозга человека в норме и при локальных поражениях позволили выделить корково-подкорковые нейронные сети, функционально-специфичные в отношении отдельных компонентов регуляции когнитивной деятельности и поведения [11, 12].

Фронтоталамическая система (ФТС) объединяет префронтальные зоны коры и медиодорзальное ядро таламуса, которое, в свою очередь, имеет афферентные входы от амигдалы — ключевой структуры лимбической системы. Показано участие ФТС в избирательной модуляции корковых зон при произвольном направленном внимании и других компонентах управляющих функций [13]. Кроме этого, благодаря промежуточному положению между корой и амигдалой, таламус участвует в смене эмоциональных состояний [14, 15]. Исследования показывают, что в ситуации ожидания выигрыша или потери таламус посылает “предупреждающий” сигнал корковым зонам, функцией которого считается обновление информации для выбора наиболее эффективного способа достижения значимой награды [16]. Ряд исследований демонстрирует, что у подростков повышенная активация таламуса и некоторых других областей коррелирует с неприятием задержки получения награды [17]. Также неоптимальное состояние ФТС сочетается со снижением эмоционального интеллекта, в частности, показателей распознавания и использования эмоциональной

информации для оптимизации когнитивных процессов [18].

Фронтостриарная сеть с центром в орбитофронтальной коре и связями с подкорковой дофаминовой системой базальных ганглиев, обеспечивает обработку информации о вероятности достижения награды, и формирование стратегии деятельности в новой обстановке, когда информация о результатах поступает благодаря серии попыток [19, 20]. Учитывая то, что вентральный стриатум и прилежащее ядро чувствительны к различиям в объеме вознаграждения, а дорсальный стриатум чувствителен к вероятности результата [21], можно констатировать роль стриатума в процессе оценки действия на основе позитивной обратной связи (“лучше, чем ожидалось”) [22]. Совместная активность коркового и подкоркового компонентов лобно-базальной системы, формирует корковые репрезентации привычных реакций в ответ на эмоциональный стимул [23]. Ассоциация эмоциональной валентности стимула с вознаграждением вызывает позитивную эмоцию и мотивирует поведение достижения [24]. При этом в ряде исследований показано, что у подростков в сравнении со взрослыми повышена активность прилежащего ядра при ожидании награды и в ответ на ее получение в ситуации принятия рискованных решений [25]. Вместе с этим, неоптимальное функционирование базальных ганглиев может приводить к трудностям мотивации — дефициту трансляции ощущений в адекватные когнитивные или двигательные усилия, так как нарушается функция инициации и торможения паттернов эмоционального реагирования [26]. Дополнительным свидетельством роли базальных ганглиев в эмоционально-мотивационной регуляции служит снижение выраженности негативных эмоций после стимуляции субталамического ядра у больных болезнью Паркинсона [27]. Таким образом, неоптимальное состояние лобно-базальной системы может приводить к дефицитам мотивации на основе положительной обратной связи и трудностям регуляции эмоций.

Фронтоталимическая сеть с центром в медиальной части префронтальной коры, включая переднюю цингулярную извилину, осуществляет оценку соответствия заверченного или планируемого действия целям поведения на основе отрицательной обратной связи. У подростков с расстройством поведения обнаруживаются изменения в связях вентромедиальной ПФК с амигдалой [28]. У подростков с признаками эмоциональной черствости, агрессии, снижения эмпатии, обнаруживается снижение реактивности амигдалы в ответ на демонстрацию лица, изображающего страх [29], а также, трудности оценки негативных последствий собственных действий. В ряде исследований подростки со сниженной реактивностью амигдалы демонстрируют недостаточный учет

потенциального ущерба в ситуации проигрыша при принятии рискованных решений [25]. Таким образом, неоптимальное состояние фронто-лимбической сети может быть существенным фактором нарушений эмоциональной регуляции, трудностей оценки обратной связи и принятия решений.

В модели *B.J. Casey* [30] особенности поведения подростков рассматриваются как результат несбалансированности активности лимбических, стриарных и префронтальных регуляторных систем (*imbalance model*). Такая несбалансированность, по его мнению, обусловлена различной динамикой созревания корковых и подкорковых систем эмоционально-мотивационного контроля у подростков при опережающем созревании глубоких структур. Вместе с тем, основное допущение об опережающем созревании и, как следствие, более выраженном влиянии на поведение со стороны эмоционального реагирования по сравнению с системами когнитивного контроля, не находит однозначного подтверждения в данных морфологических исследований [31, 32].

Неоднозначность сведений об особенностях функционирования регуляторных систем мозга у подростков и ограниченность данных о связи между состоянием регуляторных систем, эмоциональным интеллектом, и мотивацией достижения у подростков делают актуальной задачу настоящего исследования — анализ процессов эмоционально-мотивационной регуляции и склонности к рискованным решениям в группах подростков с ЭЭГ-признаками неоптимального состояния фронто-таламической, фронто-лимбической и фронто-стриарной регуляторных систем.

В предыдущих исследованиях подростков была показана связь между неоптимальным функциональным состоянием фронто-таламических, лимбических и лобно-базальных структур и различными компонентами функций программирования, избирательной регуляции и контроля деятельности — управляющими функциями [33]. Учитывая представленные выше данные о связи этих РС не только с управляющими функциями, но и с различными составляющими эмоционально-мотивационной регуляции поведения, для исследования нейрофизиологических механизмов “подростковых” проблем представляло интерес проанализировать влияние неоптимального состояния фронто-таламических, лимбических и лобно-базальных структур на показатели эмоционального интеллекта, мотивационных предпочтений и склонности к принятию рискованных решений.

МЕТОДИКА

В настоящей статье представлены результаты анализа показателей эмоционально-мотивационной регуляции поведения у 95 подростков

(средний возраст — 13.96 ± 1.13 , девочек 34%), ранее принявших участие в исследовании управляющих функций [34–36].

Для оценки индивидуальных особенностей эмоционального интеллекта (ЭИ) использовали 8 шкал теста *Mayer Salovey Caruso Emotional Intelligence (MSCEIT)* [37, 38]: шкалы “Лица” (*faces*) и “Изображения” (*pictures*) отражают способность идентифицировать эмоциональную информацию персонажей на фотографиях лиц, изображениях природы и в изображениях абстрактных узоров. Шкала “Ощущения” (*sensations*) отражает способность соотнести эмоцию с отдельными тактильными и сенсорными ощущениями. Шкала “Фасилитация” (*facilitation*) отражает способность использования эмоционально-мотивационной регуляции для повышения эффективности деятельности. Шкала “Смешанные” (*blends*) отражает способность описать в вербальной форме сложные эмоции. Шкала “Изменения” (*changes*) отражает способность соотнести изменения в эмоциональных состояниях с изменениями текущей деятельности. Шкалы “Управление эмоциями” (*emotion management*) и “Эмоциональные отношения” (*emotional relationships*) отражают способность к произвольному контролю эмоционального поведения. Индивидуальные баллы по каждой шкале вычисляются методом общего консенсуса: за каждое задание присваивается доля балла, соответствующая проценту таких же ответов в контрольной выборке, а общий балл по шкале представляет собой сумму баллов, начисленных по каждому пункту задания [39].

Для оценки склонности к принятию рискованных решений в данном исследовании использовали монетизированную компьютерную игру “*Balloon Analogue Risk Task*” (*BART*) [35, 40], в которой выигрыш зависит от способности испытуемого к выбору действия в ситуации неопределенности. При этом действие может принести большой выигрыш, но с низкой вероятностью (рискованное решение) или незначительный выигрыш с большей вероятностью. В игре предлагается надувать виртуальные шарики, 30 штук, один за другим. В начале каждой пробы нужно ввести число от 1 до 128 (ставка в игре), соответствующее числу подкачиваний шарика. Одно подкачивание приносит 30 копеек. Если шарик выдержит заданное количество накачиваний — сумма за попытку прибавляется к конечному выигрышу. Испытуемого предупреждают, что выигрыш складывается из суммы результатов за каждую успешную попытку, и о том, что шарик может лопнуть в любой момент (звук хлопка и изображение обрывков шарика на экране) и тогда сумма выигрыша останется равной предыдущей пробе, и начнется следующая попытка. Значение ставки, при которой шарик лопается, скрыто от участника и варьируется в квазислучайном порядке от 9 до 121

(в среднем 64). Итоговое денежное вознаграждение (от 100 до 300 рублей) участник получает в конце игры, что соответствует практике применения этого теста в других исследованиях [41]. Информация о том, сколько шаров осталось до конца игры, накопленная сумма, предыдущая ставка, демонстрируется на экране. В качестве основного параметра оценки склонности к рискованному поведению в тесте *BART* используется среднее значение ставки с 11-ой по 30-ую пробы с исключением первых 10 попыток [40]. В данном исследовании кроме среднего значения ставки после периода адаптации сравнивали значения ставки на каждом этапе игры — в начале (1–10 попытки), середине (11–20 попытки) и конце (21–30 попытки).

Для оценки индивидуальных мотивационных предпочтений использовали “Тест мотивации достижения (ТМД)” А. *Mehrabian* [42, 43]. Методика базируется на дихотомическом представлении о мотивации как стремлении к достижению успеха или избеганию неудач. Тест содержит утверждения об особенностях уровня притязаний, эмоциональной реакции на успех и неудачу, различиях в ориентации на будущее. Высокие показатели по этому тесту указывают на преобладание тенденции стремления к успеху, а низкие показатели — на тенденцию избегания неудачи.

ЭЭГ регистрировали до выполнения тестов, в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами, с помощью компьютерного электроэнцефалографа (*Electrical Geodesics, Inc.*, США) в полосе частот 0.1–70 Гц (частота оцифровки — 250 Гц) от 129 электродов, расположенных на шлеме *HydroCel GSN (HCGSN, США)*, один из которых (вертексный электрод) использовали в качестве референтного при записи ЭЭГ. В данной работе для визуального анализа кривых ЭЭГ использовали монополярный (с ипсилатеральными ушными референтными электродами) и биполярный (с большим и малым расстоянием между сенсорами) виртуальные монтажи, которые включали ограниченное количество отведений над левым и правым полушариями, локализация которых соответствовала международной системе 10–20%: затылочные ($O_{1,2}$), теменные ($P_{1,2}$), центральные ($C_{3,4}$), лобные ($F_{3,4}$), нижнелобные ($F_{7,8}$), передневисочные ($T_{3,4}$) и задневисочные ($T_{5,6}$). Описание и оценку индивидуальных особенностей функционирования коры и глубинных структур мозга в состоянии покоя проводили с помощью схемы структурного анализа ЭЭГ независимо двумя специалистами, без дополнительной информации об участниках. У каждого участника исследования в бинарной системе оценивали наличие/отсутствие ЭЭГ-паттернов, описанных выше. Критерием наличия определенных паттернов служило их появление в течение 10–15-минутной записи

не менее 3-х раз. Оценку записей проводили два эксперта, до обработки данных о поведенческих особенностях участников.

Согласно схеме структурного анализа ЭЭГ [33] к признакам неоптимального состояния ФТС относили группы билатерально-синхронных θ -волн (4–6 Гц) в лобных и/или лобных и центральных отведениях. К ЭЭГ-признакам неоптимального состояния лимбических структур (ЛМБ) относили группы билатерально-синхронных веретенообразных колебаний в низкочастотном α -диапазоне (6–10 Гц) в лобных и/или лобных и передневисочных отведениях. К ЭЭГ-признакам неоптимального состояния лобно-базальных структур (ЛБЗ) относили вспышки билатерально-синхронной веретенообразной β -активности (20–30 Гц) в лобных, центральных и/или лобных и передневисочных отведениях. Подробное описание ЭЭГ-паттернов, характеризующих неоптимальное состояние различных РС мозга, и их генез представлены в статье [33].

В соответствии с наличием одного из видов перечисленных выше ЭЭГ-паттернов (изолировано или в сочетании с непароксизмальными изменениями гипоталамического происхождения) были сформированы 3 подгруппы подростков. В четвертую контрольную группу (КНТР) вошли подростки без отклоняющихся паттернов или с непароксизмальными ЭЭГ-паттернами гипоталамического происхождения в виде вспышек генерализованных билатерально-синхронных острых волн α – θ -диапазона и/или веретенообразной высокочастотной активности α – β -диапазона. Непароксизмальные паттерны гипоталамического генеза регистрировали в большинстве случаев и расценивали как нормативные в подростковом возрасте [33]. Наполнение каждой подгруппы могло различаться при сравнении показателей разных тестовых процедур (табл. 1 и 2).

На первом этапе анализа данных для определения специфической связи индивидуальных особенностей эмоционально-мотивационной регуляции поведения и склонности к принятию рискованных решений с функциональным состоянием различных РС мозга проводили непараметрическое сравнение (*H*-тест Крускала–Уоллиса) показателей ЭИ, *BART*, ТМД в группах подростков, выделенных на основе структурного анализа ЭЭГ (см. раздел Методика). Для сравнения показателей каждой ЭЭГ-группы с контрольной группой проводили парный тест Манна–Уитни для независимых выборок. На втором этапе анализа был проведен корреляционный анализ показателей ЭИ, ТМД и склонности к риску в каждой подгруппе методом корреляция Пирсона.

Таблица 1. Описательная статистика и результаты непараметрической оценки межгрупповых различий шкал ЭИ в ЭЭГ-подгруппах

Шкалы ЭИ	КНТР ($n = 37$)			ФТС ($n = 14$)			ЛМБ ($n = 32$)			ЛБЗ ($n = 11$)			χ^2 (ст. св. = 3)	p
	М	25%	75%	М	25%	75%	М	25%	75%	М	25%	75%		
Лица	7.70	6.92	8.83	7.56	6.39	8.02	8.14	5.95	8.91	7.13	6.57	8.48	3.285	0.338
Изображения	12.78	10.92	15.61	11.48	5.28	14.22	11.85	7.89	14.60	12.88	10.46	14.50	2.681	0.451
Ощущения	5.54	4.91	6.24	3.26*	2.18	6.01	4.80*	3.15	5.70	4.26*	1.98	5.51	2.681	0.009
Фасилитация	5.76	5.07	6.38	5.45	3.09	6.44	5.18*	1.82	5.90	5.44	4.93	6.48	11.248	0.290
Смешанные	4.69	4.17	5.16	3.61*	2.24	4.01	4.82	3.24	5.06	3.67	2.93	4.93	3.817	0.054
Изменение	7.44	6.45	7.87	6.42	4.14	7.67	7.18	5.25	7.98	6.06	3.55	8.54	7.574	0.144
Управление	5.81	5.33	6.20	4.96	3.37	5.78	5.76	4.88	6.31	4.97*	3.23	5.81	5.396	0.077
Отношения	2.69	2.22	2.96	2.23	1.90	2.82	2.38	2.19	2.77	2.53	1.81	2.91	6.788	0.415

Примечание: ЭИ – шкалы эмоционального интеллекта. КНТР – контрольная группа. ФТС – подростки с признаками неоптимального состояния фронто-таламической системы. ЛМБ – подростки с признаками неоптимального состояния лимбической системы. ЛБЗ – подростки с признаками неоптимального состояния лобно-базальной системы. * – значимость $p < 0.05$ по U -Манн-Уитни в сравнении с контрольной группой.

Таблица 2. Описательная статистика и результаты непараметрической оценки межгрупповых различий показателей *BART* (*Balloon Analog Risk Task*) в ЭЭГ-подгруппах

<i>BART</i>	КНТР ($n = 48$)			ФТС ($n = 16$)			ЛМБ ($n = 45$)			ЛБЗ ($n = 17$)			χ^2 (ст. св. = 3)	p
	М	25%	75%	М	25%	75%	М	25%	75%	М	25%	75%		
1	49.10	36.83	58.45	39.25*	27.75	50.73	44.75	33.15	56.55	39.60	25.45	51.90	3.358	0.340
2	43.00	24.70	53.90	38.70	27.80	50.00	38.00	23.50	50.20	35.00*	23.50	40.40	3.581	0.310
3	48.60	37.90	57.40	35.30*	20.25	50.75	41.40	29.20	56.80	36.60*	26.60	50.80	7.095	0.069
4	45.00	35.20	58.90	42.80	30.60	54.55	44.20	32.20	60.20	40.70	25.00	53.90	1.956	0.582
5	0.60	0.50	0.73	0.68	0.60	0.75	0.65	0.55	0.75	0.65	0.50	0.80	1.805	0.614
6	116.55	92.55	135.00	112.95	80.70	136.05	119.10	87.00	145.80	105.00	81.30	136.50	0.839	0.840
7	164.00	155.00	178.00	174.00	160.00	181.00	176.00*	159.00	189.00	165.50	145.00	175.00	4.83	0.185

Примечание: 1 – средняя ставка с 11 по 30 попытку. 2 – средняя “ставка” с 1 по 10 попытку. 3 – средняя “ставка” с 11 по 20 попытку. 4 – средняя “ставка” с 21 по 30 попытку. 5 – доля попыток окончившихся успешно – шарик остался цел, выигрыш добавлен. 6 – сумма выигрыша за все попытки. 7 – опросник мотивации к достижению успеха и избеганию неудач Мехрабиана (ТМД). * – значимость $p < 0.05$ по U -Манн-Уитни в сравнении с контрольной группой.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ эмоционально-мотивационных компонентов регуляции поведения. Значимые межгрупповые различия по шкалам *MSCEIT* (описание шкал см. в разделе Методика) без учета поправки на множественные сравнения (критерий значимости с поправкой $p = 0.05/8 = 0.006$) обнаружены для шкалы “Ощущения” ($p = 0.009$). Эти данные представлены в табл. 1, в последней колонке. Парные сравнения показателей ЭЭГ-групп, отличающихся наличием признаков неоптимального состояния определенных РС, с показателями контрольной группы выявили следующие различия: в группе с изменениями ЭЭГ фронто-таламического генеза выявлено снижение показателей

шкал “Ощущения” ($p = 0.024$) и “Смешанные” ($p = 0.006$). В группе с изменениями ЭЭГ лимбического генеза выявлено снижение показателей шкал “Ощущения” ($p = 0.008$) и “Фасилитация” ($p = 0.058$). В группе с изменениями ЭЭГ лобно-базального генеза обнаружено снижение по шкалам “Ощущения” ($p = 0.015$) и “Управление эмоциями” ($p = 0.025$).

Значимые межгрупповые различия (с учетом всех групп) по показателям *BART* и ТМД не выявлены (табл. 2, последняя колонка). Тенденция ($p = 0.069$) к различиям между группами обнаружена для средней ставки по провам с 11 по 20 при выполнении теста *BART*. Парные сравнения с контрольной группой выявили различия в группах, отличающихся наличием специфических

Таблица 3. Корреляция средней ставки в тесте *BART* (*Balloon Analog Risk Task*) со шкалами ЭИ и показателями теста ТМД

ЭЭГ-подгруппы	КНТР ($n = 36$)	ФТС ($n = 14$)	ЛМБ ($n = 33$)	ЛБЗ ($n = 11$)
Лица	0.099	0.103	0.122	0.343
Изображения	0.038	0.081	0.136	0.168
Ощущения	-0.157	0.487	0.378 (0.036)	0.180
Фасилитация	-0.149	0.092	0.059	-0.206
Смешанные	0.166	0.269	0.491 (0.004)	-0.270
Изменения	0.117	-0.010	0.298	0.142
Управление	0.093	-0.116	0.518 (0.002)	-0.074
Отношения	0.053	-0.143	0.427 (0.015)	0.182
ТМД	0.245	-0.054	-0.036	-0.041

Примечание: обозначения групп см. табл. 1. ТМД — опросник мотивации к достижению успеха и избеганию неудач Мехрабана. В скобках рядом со значениями коэффициента корреляции Пирсона указаны критерии значимости в случае $p < 0.05$.

ЭЭГ-паттернов. В группе ФТС средняя ставка (с 11 по 30 попытку) и ставка в середине игры (с 11 по 20 попытку) оказалась ниже, чем в контрольной группе ($U = 275.0$, $p = 0.05$ и $U = 233.0$, $p = 0.02$ соответственно). В группе ЛБЗ показатели средней ставки в начале и середине игры с 1 по 10 и с 11 по 20 попытки также ниже, чем в контрольной группе ($U = 274.50$, $p = 0.054$ и $U = 274.50$, $p = 0.059$ соответственно). Показатели опросника ТМД в группе ЛМБ были выше, чем в контрольной группе ($U = 528.50$, $p = 0.034$).

Корреляционный анализ показателей эмоционально-мотивационной регуляции и склонности к принятию рискованных решений. Исходя из выявленных на первом этапе анализа особенностей эмоционально-мотивационной регуляции поведения в группах со специфическими ЭЭГ-паттернами, представлялось целесообразным проанализировать возможную связь индивидуальных особенностей регуляции эмоций со склонностью к принятию рискованных решений (табл. 3). С этой целью был проведен внутригрупповой корреляционный анализ связи показателей ЭИ и ТМД со средней ставкой (с 11 по 30 пробы) в тесте *BART*.

В контрольной группе и группе ЛБЗ значимых корреляций обнаружено не было. В группе ЛМБ выявлена положительная связь между средней ставкой *BART* (11–30 попытки) и показателями эмоционального интеллекта по шкалам “Ощущения” ($r = 0.38$, $p = 0.036$), “Смешанные” ($r = 0.49$, $p = 0.004$), “Управление” ($r = 0.52$, $p = 0.002$), “Отношения” ($r = 0.43$, $p = 0.015$).

В группе ФТС выявлена положительная связь на уровне тенденции между средней ставкой *BART* и показателями эмоционального интеллекта по шкале “Ощущения” ($r = 0.487$, $p = 0.077$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обнаружено, что во всех группах, куда вошли подростки с признаками неоптимального состояния РС, показатель шкалы “Ощущения” в тесте на эмоциональный интеллект значимо ниже, чем в контрольной группе. Данная шкала ассоциируется со способностью актуализировать в памяти эмоцию и указать, в какой степени эмоции соответствуют отдельные сенсорные ощущения. Исследования указывают на доступность таких воспоминаний [44] и их стереотипичность [45] у взрослых. Согласно исследованию [46], способности опосредованного анализа эмоционально-значимой информации у подростков в сравнении со взрослыми могут не достигать дефинитивного уровня в силу более продолжительного созревания префронтальных отделов коры. Однако, учитывая, что все подростки, которые демонстрировали снижение по шкале “Ощущения”, имели изменения ЭЭГ глубинного происхождения, выявленные в нашем исследовании особенности эмоционально-мотивационной регуляции могут быть, скорее, результатом неоптимального функционирования глубинных звеньев РС мозга, чем возрастной незрелости префронтальной коры.

Помимо общего для всех ЭЭГ-групп снижения ЭИ по шкале “Ощущения” в отдельных группах обнаружены специфические особенности эмоционально-мотивационной регуляции. Группа с неоптимальным состоянием ФТС, характеризуется сниженными по сравнению с контрольной группой показателями шкалы “Смешанные”. Эта шкала оценивает понимание индивидом возможности испытывать одновременно различные и даже противоречивые эмоции [47], а это, в свою очередь, предполагает избирательную обработку информации о каждом эмоциональном состоя-

нии. Можно предположить, что выявленные в этой группе особенности оценки сложных эмоциональных состояний обусловлены трудностями избирательной регуляции обработки значимой информации, связанными с функциональной недостаточностью ФТС [48]. В группе ФТС величина ставки оказалась положительно связанной на уровне тенденции со шкалой “Ощущения” теста на ЭИ. Шкала “Ощущения” отражает способность соотнесения эмоций и ощущений, в основе которой лежит процесс кроссмодального сопоставления чувств (*feelings*) с ощущениями (*sensations*) [49]. Соотнесение значимости ощущений с репрезентациями действий при принятии решений может отличаться в случае неоптимального состояния ФТС, так как требует дополнительного когнитивного ресурса для удержания в памяти пересекающихся классов субъективных состояний [49]. Также известно, что снижение нисходящих влияний префронтальной коры к МД таламуса приводит к трудностям в задачах с принятием решений за счет ослабления связи между ощущением и репрезентацией предстоящего действия [50]. Учитывая положительную корреляцию между шкалой “Ощущения” и ставкой в игре *BART*, можно предположить, что избегание риска (ставка в группе ФТС ниже, чем в контрольной) в этой группе связано с трудностями соотнесения эмоционального и когнитивного опыта для формирования цели.

В группе ЛМБ обнаружено снижение по шкале “Фасилитация” в сравнении с контрольной группой. Шкала “Фасилитации” отражает способность использования эмоционально-мотивационной регуляции для повышения эффективности деятельности [51]. С учетом того, что фронто-лимбическая сеть связана с оценкой соответствия собственных действий целям поведения на основе отрицательной обратной связи, можно предположить, что неоптимальное функциональное состояние лимбической системы [25] может быть нейрофизиологической основой снижения показателей “Фасилитации” в этой группе.

В группе ЛМБ выявлены более многочисленные, чем в других группах, статистические связи между показателем склонности к принятию рискованных решений и шкалами эмоционального интеллекта: величина ставки в *BART* позитивно связана сразу с 4 шкалами ЭИ: “Смешанные”, “Изменчивость”, “Управление”, “Отношения”. Можно предположить, что в процессе принятия решений лимбическая система мозга в большей степени связана с обработкой эмоциональной информации. Согласно обзору [52], неоптимальное функционирование амигдалы сочетается со снижением эффективности регуляции эмоций, а снижение активации амигдалы в ответ на эмоционально-значимые характеристики стимулов может приводить к недостаточному учету эмоцио-

нальной информации при принятии решений при возможности вознаграждения [53]. Также в группе с неоптимальным состоянием лимбических структур показатель мотивационной регуляции сдвинут в сторону мотивации достижения по сравнению с контрольной группой, что согласуется с трудностями оценки негативных последствий своих действий при неоптимальном состоянии лимбических структур [33].

В группе ЛБЗ обнаружено снижение по шкале “Управление эмоциями” в сравнении с контрольной группой. Эта шкала отражает способность поддерживать оптимальную интенсивность эмоционального состояния для достижения цели. Согласно модели Моники Эрнст, именно неоптимальное состояние фронто-стриарной системы в виде повышенной реактивности на награду, может лежать в основе повышенной склонности к импульсивным решениям [54]. Учитывая, что неоптимальное функционирование ЛБЗ обнаруживает связь как с импульсивностью [55], так и с нарушением регуляции усилий адекватно величине награды [26], можно предположить, что именно неоптимальное функциональное состояние лобно-базальной системы может быть нейрофизиологической основой снижения показателей шкалы “Управление эмоциями” у подростков. В группе ЛБЗ не наблюдается связи между ставкой *BART* и шкалами ЭИ. Однако показатель ТМД в группе ЛБЗ находился преимущественно в зоне избегания неудач. Согласно обзорам [56, 57], роль базальных ганглиев в принятии решений состоит в инициации полезного действия и подавлении ответов, не приносящих вознаграждения. Можно предполагать, что, неоптимальное состояние лобно-базальной системы у подростков приводит к недооценке полезного решения и смещению мотивации в сторону избегания неудачи, что отчасти подтверждается сравнительно низкими ставками в начале и середине игры.

В нашем исследовании, подростки со специфическими признаками неоптимального состояния РС мозга обнаружили как снижение по шкалам ЭИ, так и снижение по показателю склонности к риску. При этом показатель мотивации смещен в сторону достижения успеха в группах ФТС (незначимо) и ЛМБ (значимо). Возможно, что такое рассогласование связано, с одной стороны, с недостаточной субъективной значимостью положительного результата в игре *BART* для участников исследования, а с другой стороны — с дефицитностью когнитивных (у ФТС) или эмоциональных (ЛМБ) аспектов регуляции деятельности. Дальнейшие исследования взаимосвязи склонности к принятию рискованных решений и различных аспектов регуляции поведения могут дать дополнительную информацию об особенностях принятия решений в присутствии вознаграждения у подростков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель исследования состояла в выявлении связи между состоянием регуляторных систем мозга (РС), процессами эмоционально-мотивационной регуляции и склонностью к принятию рискованных решений у подростков. Комплексное исследование каждого подростка включало: 1) анализ ЭЭГ спокойного бодрствования для выявления паттернов, отражающих неоптимальное состояние РС, 2) оценку индивидуальных особенностей мотивации достижения vs. избегания неудач, 3) оценку эмоционального интеллекта (ЭИ), 4) оценку склонности к принятию рискованных решений. На основании структурного визуального анализа ЭЭГ подростки были отнесены к подгруппам в зависимости от наличия ЭЭГ-паттернов, отражающих неоптимальное функционирование фронто-таламической (ФТС), лимбической (ЛМБ) и лобно-базальной (ЛБЗ) регуляторных систем мозга, а при отсутствии признаков — к контрольной группе. Общим для всех групп со специфическими ЭЭГ-признаками было снижение показателя шкалы эмоционального интеллекта, отражающей способность соотнесения ощущений с эмоциональным состоянием. Помимо общих для всех групп с неоптимальным состоянием РС в каждой такой группе обнаружены специфические особенности эмоционально-мотивационной регуляции и склонности к принятию рискованных решений.

В группе с неоптимальным состоянием ФТС снижение эмоционального интеллекта по шкале понимания смешанных эмоций сочеталось с выбором неоптимальной стратегии принятия решений — пониженной ставкой в тесте *BART*. Это может быть связано с дефицитом избирательной регуляции обработки информации и трудностями соотнесения когнитивной и эмоциональной информации при принятии решений.

В группе с неоптимальным состоянием ФТС особенность эмоционального интеллекта проявилась преимущественно в снижении показателей шкалы «Фасилитация», отражающей способность использования эмоционально-мотивационной регуляции для повышения эффективности деятельности.

При этом показатели мотивации достижения успеха оказались выше, чем в других группах, а связи шкал эмоционального интеллекта с принятием решений в монетизированной игре наиболее многочисленны. Лимбическая система включает группу глубинных структур мозга, оказывающих преимущественное влияние на процессы эмоциональной и мотивационной регуляции [28]. Их роль заключается в том, чтобы способствовать адаптации, в частности, обеспечивая поведенческие механизмы достижения или избегания. При этом лимбическая система участвует в процессах

обработки информации об удовольствии и вознаграждении, а также в запечатлении событий, вызывающих сильные эмоциональные реакции. В подростковом возрасте в регуляторных системах мозга происходят структурные и функциональные изменения, и влияние гормональных изменений на лимбическую систему может усиливать эмоциональную реактивность, склонность к риску и поиску новых ощущений у подростков. При этом ряд исследований свидетельствует о том, что у подростков возрастает чувствительность отдельных частей лимбической системы в ответ на эмоционально и социально значимые события, что может приводить к повышению тревоги, подавленности и поведенческим трудностям. Можно предположить, что в силу неоптимального состояния корково-подкоркового взаимодействия фронто-лимбической системы у подростков, помимо когнитивных и эмоциональных процессов, рассогласованность может затрагивать и мотивационные аспекты регуляции деятельности.

Полученный результат свидетельствует в пользу специфической связи между неоптимальным состоянием различных регуляторных систем мозга и процессами эмоционально-мотивационной регуляции поведения у подростков. Наличие такой связи может быть причиной неоднозначности данных о склонности к риску в этом возрасте.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Института возрастной физиологии РАО (Москва).

Информированное согласие. Подростки участвовали в исследовании добровольно. Родители подростков представили письменное информированное согласие на участие своих детей в исследовании, подписанное после разъяснения потенциальных рисков и преимуществ, а также характера исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Massey E.K., Gebhardt W.A., Garnefski N. Adolescent goal content and pursuit: A review of the literature from the past 16 years // *Dev. Rev.* 2008. V. 28. № 4. P. 421.
2. Blakemore S.J., Mills K.L. Is adolescence a sensitive period for sociocultural processing? // *Annu. Rev. Psychol.* 2014. V. 65. P. 187.
3. Kim-Spoon J., Deater-Deckard K., Calkins S.D. et al. Commonality between executive functioning and effortful control related to adjustment // *J. Appl. Dev. Psychol.* 2019. V. 60. P. 47.

4. *Paus T.* Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence // *Trends Cogn. Sci.* 2005. V. 9. № 2. P. 60.
5. *Gladwin T.E., Figner B.* "Hot" cognition and dual systems: Introduction, criticisms, and ways forward / *Frontiers of cognitive psychology series: Neuroeconomics, judgment and decision making.* New York: Psychological Press, 2014. P. 157.
6. *Mateos-Aparicio P., Rodríguez-Moreno A.* The impact of studying brain plasticity // *Front. Cell. Neurosci.* 2019. V. 13. P. 66.
7. *Spear L.P.* The adolescent brain and age-related behavioral manifestations // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2000. V. 24. № 4. P. 417.
8. *Iacono L.L., Carola V.* The impact of adolescent stress experiences on neurobiological development // *Semin. Cell Dev. Biol.* 2018. V. 77. P. 93.
9. *Moffitt T.E.* Natural histories of delinquency / *Cross-national longitudinal research on human development and criminal behavior.* Springer, 1994. P. 3.
10. *Pandya D., Petrides M., Cipolloni P.B.* Cerebral cortex: architecture, connections, and the dual origin concept. Oxford University Press, 2015. 481 p.
11. *Sundram F., Deeley Q., Sarkar S. et al.* White matter microstructural abnormalities in the frontal lobe of adults with antisocial personality disorder // *Cortex.* 2012. V. 48. № 2. P. 216.
12. *de Oliveira-Souza R., Hare R.D., Bramati I.E. et al.* Psychopathy as a disorder of the moral brain: fronto-temporo-limbic grey matter reductions demonstrated by voxel-based morphometry // *Neuroimage.* 2008. V. 40. № 3. P. 1202.
13. *Мачинская Р.* Управляющие системы мозга // *Журн. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова.* 2015. T. 65. № 1. С. 33.
Machinskaya R. [The brain executive systems] // *Zh. Vyssh. Nerv. Deiat. Im. I.P. Pavlova.* 2015. V. 65. № 1. P. 33.
14. *Barbas H., Zikopoulos B., Timbie C.* Sensory pathways and emotional context for action in primate prefrontal cortex // *Biol. Psychiatry.* 2011. V. 69. № 12. P. 1133.
15. *Lee S., Shin H.-S.* The role of mediodorsal thalamic nucleus in fear extinction // *J. Analytical Science and Technology.* 2016. V. 7. № 1. P. 13.
16. *Cho Y.T., Fromm S., Guyer A.E. et al.* Nucleus accumbens, thalamus and insula connectivity during incentive anticipation in typical adults and adolescents // *Neuroimage.* 2013. V. 66. P. 508.
17. *Christakou A., Brammer M., Rubia K.* Maturation of limbic corticostriatal activation and connectivity associated with developmental changes in temporal discounting // *Neuroimage.* 2011. V. 54. № 2. P. 1344.
18. *Krueger F., Barbey A.K., McCabe K. et al.* The neural bases of key competencies of emotional intelligence // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2009. V. 106. № 52. P. 22486.
19. *Leisman G., Braun-Benjamin O., Melillo R.* Cognitive-motor interactions of the basal ganglia in development // *Front. Syst. Neurosci.* 2014. V. 8. P. 16.
20. *Hikosaka O., Kim H.F., Yasuda M., Yamamoto S.* Basal ganglia circuits for reward value-guided behavior // *Annu. Rev. Neurosci.* 2014. V. 37. P. 289.
21. *Balleine B.W., Delgado M.R., Hikosaka O.* The role of the dorsal striatum in reward and decision-making // *J. Neurosci.* 2007. V. 27. № 31. P. 8161.
22. *Oldham S., Murawski C., Fornito A. et al.* The anticipation and outcome phases of reward and loss processing: A neuroimaging meta-analysis of the monetary incentive delay task // *Hum. Brain Mapp.* 2018. V. 39. № 8. P. 3398.
23. *Graybiel A.M.* Habits, rituals, and the evaluative brain // *Annu. Rev. Neurosci.* 2008. V. 31. P. 359.
24. *Sanders K., Jorgensen F., Shipton H. et al.* Performance-based rewards and innovative behaviors // *Hum. Resour. Manage.* 2018. V. 57. № 6. P. 1455.
25. *Ernst M., Nelson E.E., Jazbec S. et al.* Amygdala and nucleus accumbens in responses to receipt and omission of gains in adults and adolescents // *Neuroimage.* 2005. V. 25. № 4. P. 1279.
26. *Schmidt L., d'Arc B.F., Lafargue G. et al.* Disconnecting force from money: effects of basal ganglia damage on incentive motivation // *Brain.* 2008. V. 131. № 5. P. 1303.
27. *Ory S., Le Jeune F., Haegelen C. et al.* Pre-frontal-insular-cerebellar modifications correlate with disgust feeling blunting after subthalamic stimulation: A positron emission tomography study in P arkinson's disease // *J. Neuropsychol.* 2017. V. 11. № 3. P. 378.
28. *Arnsten A.F., Rubia K.* Neurobiological circuits regulating attention, cognitive control, motivation, and emotion: disruptions in neurodevelopmental psychiatric disorders // *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry.* 2012. V. 51. № 4. P. 356.
29. *Marsh A.A., Finger E.C., Mitchell D.G. et al.* Reduced amygdala response to fearful expressions in children and adolescents with callous-unemotional traits and disruptive behavior disorders // *Am. J. Psychiatry.* 2008. V. 165. № 6. P. 712.
30. *Casey B.J.* Beyond simple models of self-control to circuit-based accounts of adolescent behavior // *Annu. Rev. Psychol.* 2015. V. 66. P. 295.
31. *Uematsu A., Matsui M., Tanaka C. et al.* Developmental trajectories of amygdala and hippocampus from infancy to early adulthood in healthy individuals // *PLoS One.* 2012. V. 7. № 10. P. e46970.
32. *Wierenga L.M., Langen M., Oranje B., Durston S.* Unique developmental trajectories of cortical thickness and surface area // *Neuroimage.* 2014. V. 87. P. 120.
33. *Мачинская Р., Захарова М., Ломакин Д.* Регуляторные системы мозга у подростков с признаками девиантного поведения. Междисциплинарный анализ // *Физиология человека.* 2020. T. 46. № 3. С. 37.
Machinskaya R., Zakharova M., Lomakin D. Brain Regulatory Functions in Adolescents with Signs of De-

- viant Behavior. An Interdisciplinary Analysis // Human Physiology. 2020. V. 46. № 3. P. 264.
34. Корнеев А.А., Захарова М.Н., Курганский А.В. и др. Прогностическое значение электроэнцефалографических и нейропсихологических показателей состояния регуляторных функций мозга для оценки вероятности отклонений поведения у подростков // Экспериментальная психология. 2021. Т. 14. № 1. С. 135.
Korneev A.A., Zakharova M., Kurgansky A.V. et al. Prognostic value of electroencephalographic and neuropsychological indicators of the state of regulatory functions of the brain to assess the likelihood of behavioral abnormalities in adolescents // Experimental Psychology (Russia). 2021. V. 14. № 1. P. 135.
 35. Ломакин Д., Корнеев А., Курганский А., Мачинская Р. Склонность к риску и девиантное поведение у подростков // Российский журн. когнитивной науки. 2018. Т. 5. № 4. С. 4.
Lomakin D.I., Korneev A.A., Kurgansky A.V., Machinskaya R.I. Risk-taking and deviant behavior in adolescents // Russ. J. Cogn. Sci. 2018. V. 5. № 4. P. 4.
 36. Мачинская Р., Курганский А., Ломакин Д. Возрастные изменения функциональной организации корковых звеньев регуляторных систем мозга у подростков. Анализ нейронных сетей покоя в пространстве источников ЭЭГ // Физиология человека. 2019. Т. 45. № 5. С. 5.
Machinskaya R., Kurgansky A., Lomakin D. Age-related trends in functional organization of cortical parts of regulatory brain systems in adolescents: an analysis of resting-state networks in the EEG source space // Human Physiology. 2019. V. 45. № 5. P. 461.
 37. Сергиенко Е., Ветрова И. Эмоциональный интеллект: русскоязычная адаптация теста Мэйера—Сэловея—Карузо (MSCEIT V2.0) // Психологические исследования. 2009. № 6 (8). С. 2.
 38. Cyders M.A., Smith G.T. Emotion-based dispositions to rash action: positive and negative urgency // Psychol. Bull. 2008. V. 134. № 6. P. 807.
 39. Mayer J.D., Salovey P., Caruso D.R., Sitarenios G. Measuring emotional intelligence with the MSCEIT V2.0 // Emotion. 2003. V. 3. № 1. P. 97.
 40. Pleskac T., Wallsten T., Wang P., Lejuez C. Development of an automatic response mode to improve the clinical utility of sequential risk-taking tasks // Exp. Clin. Psychopharmacol. 2008. V. 16. № 6. P. 555.
 41. Bornovalova M.A., Cashman-Rolls A., O'Donnell J.M. et al. Risk taking differences on a behavioral task as a function of potential reward/loss magnitude and individual differences in impulsivity and sensation seeking // Pharmacol. Biochem. Behav. 2009. V. 93. № 3. P. 258.
 42. Фетискин Н., Козлов В., Мануйлов Г. Социально-психологическая диагностика развития личности и малых групп: учебное пособие. М.: Издательство института психотерапии, 2009. 544 с.
 43. Mehrabian A. Male and female scales of the tendency to achieve // Educ. Psychol. Measur. 1968. V. 28. № 2. P. 493.
 44. Rime B., Philippot P., Cisamolo D. Social schemata of peripheral changes in emotion // J. Pers. Soc. Psychol. 1990. V. 59. № 1. P. 38.
 45. Nummenmaa L., Glerean E., Hari R., Hietanen J.K. Bodily maps of emotions // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2014. V. 111. № 2. P. 646.
 46. Somerville L.H., Jones R.M., Casey B. A time of change: behavioral and neural correlates of adolescent sensitivity to appetitive and aversive environmental cues // Brain Cogn. 2010. V. 72. № 1. P. 124.
 47. Plutchik R. Emotions and psychotherapy: A psycho-evolutionary perspective / Emotion: Theory, research and experience // Eds. Plutchik R., Kellerman H. Academic Press, USA, 1990. V. 5. P. 3.
 48. Мачинская Р., Сугрובה Г., Семенова О. Междисциплинарный подход к анализу мозговых механизмов трудностей обучения у детей. Опыт исследования детей с признаками СДВГ // Журн. высш. нерв. деят. им. И.П. Павлова. 2013. Т. 63. № 5. С. 542.
Machinskaya R., Sugrobova G., Semenova O. An interdisciplinary approach to analysis of the cerebral mechanisms of learning difficulties in children. Experience of studies of children with signs of ADHD // Neurosci. Behav. Physiol. 2015. V. 45. № 5. P. 58.
 49. Brackett M.A., Rivers S.E., Shiffman S. et al. Relating emotional abilities to social functioning: a comparison of self-report and performance measures of emotional intelligence // J. Pers. Soc. Psychol. 2006. V. 91. № 4. P. 780.
 50. Ouhaz Z., Fleming H., Mitchell A.S. Cognitive functions and neurodevelopmental disorders involving the prefrontal cortex and mediodorsal thalamus // Front. Neurosci. 2018. V. 12. P. 33.
 51. Alves H., Koch A., Unkelbach C. Why good is more alike than bad: Processing implications // Trends Cogn. Sci. 2017. V. 21. № 2. P. 69.
 52. Operskalski J.T., Paul E.J., Colom R. et al. Lesion mapping the four-factor structure of emotional intelligence // Front. Hum. Neurosci. 2015. V. 9. P. 649.
 53. Anticevic A., Van Snellenberg J.X., Cohen R.E. et al. Amygdala recruitment in schizophrenia in response to aversive emotional material: a meta-analysis of neuroimaging studies // Schizophr. Bull. 2012. V. 38. № 3. P. 608.
 54. Ernst M., Fudge J.L. A developmental neurobiological model of motivated behavior: anatomy, connectivity and ontogeny of the triadic nodes // Neurosci. Biobehav. Rev. 2009. V. 33. № 3. P. 367.
 55. Krepel N., van Dijk H., Sack A.T. et al. To spindle or not to spindle: A replication study into spindling excessive beta as a transdiagnostic EEG feature associated with impulse control // Biol. Psychol. 2021. V. 165. P. 108188.
 56. Pierce J.E., Péron J. The basal ganglia and the cerebellum in human emotion // Soc. Cogn. Affect. Neurosci. 2020. V. 15. № 5. P. 599.
 57. Killgore W.D., Smith R., Olson E.A. et al. Emotional intelligence is associated with connectivity within and between resting state networks // Soc. Cogn. Affect. Neurosci. 2017. V. 12. № 10. P. 1624.

The Functional State of Emotion-Motivational Brain Regulatory Systems and Risk-Taking Propensity in Adolescents

D. I. Lomakin*

Institute of Developmental Physiology, RAE, Moscow, Russia

**E-mail: lomakindima4@gmail.com*

The aim of this study was to identify relationships between the functional state of the different brain regulatory systems (BRS), voluntary control and emotional-motivational regulation in adolescents ($n = 95$, age $\sim 13.96 \pm 1.13$, girls 34%). We also analyzed the relationship between individual characteristics of emotional-motivational regulation and risk-taking tendencies in separated groups with specific EEG signs of suboptimal functional state of the BRS. Five tests were performed: 1) assessment of individual traits of achievement motivation vs. failure avoidance using the Mehrabian Questionnaire (TMD), 2) emotional intelligence (EI) using the MSCEIT 2.0, 3) assessment of propensity to risky decision-making by monetary computer game Balloon Analog Risk Task. On the basis of a qualitative analysis of the EEG, 4) the participants were classified into groups showing evidence of suboptimal functioning of the frontothalamic (FTS), limbic (LMB), frontobasal (FBZ) and to control group in the case of absence of specific signes. All groups, except control, showed a decrease in the EI scale, which associate sensations with emotions. A specific decrease in EI indicators was found in experimental groups in comparison with the control group: FTS — on the scale of understanding blended emotions; LMB — on the scale of facilitation of cognitive activity by emotions; FBZ group — on a scale reflecting the ability to manage one's own emotions. The indicators of the Mehrabian questionnaire showed propensity towards achievement motivation in the LMB. Correlations between EI, achievement motivation and risk-taking: in FTS, LMB a positive correlation of the risk-taking with the scale associate sensations with emotions. For LMB there is also a positive correlation between risk-taking, understanding and management of emotions. The results are discussed in terms of the influence of the suboptimal state of brain regulatory systems on the emotional and motivational regulation in adolescents.

Keywords: risk-taking, EEG qualitative analysis, neurocognitive development in adolescence, brain regulatory systems, emotional intelligence.