

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ. ПСИХОЛОГИЯ

DOI: 10.46742/2072-8840-2025-82-2-101-121

УДК: 159.943.8, 519.812.4, 37.025.7, 159.9.072

ПРОЦЕСС ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ У ПОДРОСТКОВ С НЕОПТИМАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ МОЗГОВЫХ СИСТЕМ ЭМОЦИОНАЛЬНО-МОТИВАЦИОННОЙ РЕГУЛЯЦИИ

Ломакин Д.И.

ФГБНУ «Институт развития, здоровья и адаптации ребенка»

АННОТАЦИЯ. Цель статьи – оценить связь функционального состояния корково-подкорковых регуляторных систем мозга с эффективностью произвольной регуляции деятельности и процессом принятия решений в ситуации неопределённости у подростков. Для оценки функционального состояния регуляторных систем мозга (РС) использовался структурный качественный анализ ЭЭГ, на основании которого были сформированы группы подростков с ЭЭГ-признаками неоптимального состояния фронто-таламической, фронто-лимбической и фронто-базальной систем. Для исследования процесса принятия решений в условиях неопределённости использовалась экспериментальная задача с монетарным вознаграждением (Balloon Analog Risk Task). Функции программирования, избирательной регуляции и контроля деятельности – управляющие функции (УФ), оценивались в ходе качественного нейропсихологического обследования. Выявлена различная динамика изменения ставки в монетизированной игре – показателе стратегии принятия решений – в зависимости от функционального состояния РС мозга и индивидуальных особенностей УФ в исследованных группах подростков. Обсуждается возможность специфического влияния мозговых систем произвольного контроля и эмоционально-мотивационной регуляции на процесс принятия решений в подростковом возрасте.

Ключевые слова: Корково-подкорковые регуляторные системы мозга, управляющие функции, эмоционально-мотивационная регуляция, принятие решений в ситуации неопределённости, склонность к риску, BART

Lomakin D.I.

Decision-making in adolescents with non-optimal states of emotional and motivational brain systems

ABSTRACT. The study was aimed to reveal the relationship between the functional state of the brain cortical-subcortical regulatory systems (RS), efficiency of the voluntary control and the decision-making in a situation of uncertainty in adolescents. The functional state of participants' RS was assessed by the structural qualitative analysis of individual EEG. Based on the results of the EEG analysis, groups of adolescents with suboptimal functioning

of frontothalamic, frontolimbic and frontobasal systems were selected. An experimental task with a monetary reward (Balloon Analog Risk Task) was used to study the decision-making process under uncertainty. The qualitative neuropsychological examination was applied to study the functions of programming, selective regulation and control of activity – executive functions (EF). Different dynamics of betting in the monetized game were revealed depending on the functional state of the RS and the individual characteristics of EF in the studied groups of adolescents. The possibility of a specific influence of the brain systems of voluntary control and emotional-motivational regulation on the decision-making process in adolescence is discussed.

Keywords: *Cortical-subcortical brain regulatory systems, executive functions, emotional-motivational regulation, decision-making in a situation of uncertainty, risk propensity, BART*

Подростковый возраст характеризуется активным поиском и формированием новых поведенческих стратегий [1,18]. Одним из структурных компонентов формирования стратегии поведения является принятие решений – операция выбора из нескольких альтернатив, являющийся основой избирательной регуляции поведения [9]. При этом регуляция подразумевает как направленность на когнитивные и аффективные процессы, так и специфические аффективные и когнитивные регуляторные механизмы [17]. Процесс принятия решений в аффективно-значимой обстановке – комплексный процесс, опирающийся на активность систем мозга, обеспечивающих мотивацию достижения, эмоциональную регуляцию и когнитивный контроль [54]. Хорошо известны результаты нейровизуализационных исследований, демонстрирующих вовлечение префронтальной и поясной коры больших полушарий, а также ряда подкорковых образований – амигдалы, стриарного комплекса и прилежащего ядра в обеспечение обработки информации на разных этапах принятия решений [27, 54].

Участие корковых и глубинных структур мозга в процесс принятия решений существенно зависит от их морфофункциональной зрелости и нейромедиаторной специфичности, а также эмоциональной значимости ситуации [13, 19, 20]. Для подросткового возраста характерен всплеск нейрональной пластичности, обусловленной гормональными изменениями на фоне продолжающегося созревания корково-подкорковых функциональных систем, что отражается, в частности, в параметрах суммарной электрической активности мозга – электроэнцефалограммы [2, 42, 49]. Например, отмечается, что у подростков при снижении мощности медленных колебаний на электроэнцефалограмме (ЭЭГ) в REM-фазе сна, снижается активность хвостатого ядра – элемента стриарного

комплекса «системы награды» [39]. Авторы этого исследования полагают, что наблюдаемые изменения функционального состояния мозга связаны с возрастным снижением активности «системы награды», а это в свою очередь может приводить к усилению компенсаторной мотивации вознаграждения, в том числе, в форме отклоняющихся стратегий поведения.

В работе [63], показано, что выполнение когнитивных тестов у подростков коррелирует с представленностью девиантных паттернов на ЭЭГ спокойного бодрствования, что свидетельствует о связи функционального состояния мозга в покое с когнитивными процессами. Можно предположить, что индивидуальные особенности функционального состояния мозга подростков, определяющие когнитивные и аффективные механизмы деятельности, отражаются на стратегиях принятия решений.

Выбор в пользу той или иной поведенческой стратегии представляет собой комплексный процесс, требующий регуляторных ресурсов, переключающих функциональное состояние мозговых структур между когнитивным контролем и оценкой субъективной значимости. Регуляторные системы, обеспечивающие такую гибкость, также подвержены влиянию возрастных перестроек.

Согласно концепции динамической мозговой локализации высших психических функций А.Р. Лурия [8] ключевую роль в реализации функций программирования, избирательной регуляции и контроля деятельности играет префронтальная кора. Различные зоны префронтальной коры образуют с глубинными структурами функциональные объединения, которые обеспечивают регуляцию и организацию сложных форм целенаправленного поведения [10]. Их функциональное состояние, отраженное в определенных паттернах электроэнцефалограммы, демонстрирует связь с эффективностью функций программирования, произвольной регуляции и контроля деятельности [11]. Такие эффекты наблюдаются в дошкольном [14], младшем школьном [12] и раннем подростковом возрасте [15]. В наших предыдущих исследованиях с участием подростков 12-16 лет показано, что принятие решений в экспериментальной задаче *Balloon Analog Risk Task* связано с эмоциональным интеллектом, мотивацией достижений [5], разной выраженностью поведенческих трудностей [6]. Полученные ранее результаты позволяют предположить специфическое влияние функционального состояния РС и отдельных компонентов произвольного контроля деятельности на процессы принятия решений.

В экспериментальных задачах с вознаграждением, подростки демонстрируют неоднозначные результаты [31], и ряд авторов связывают это с различиями экспериментального дизайна, то есть с внешними условиями принятия решения [36]. Можно предположить, что противоречивые данные могут объясняться не только внешними факторами, но и индивидуальными различиями функциональной организации мозга у подростков, в частности особенностями функционирования корково-подкорковых систем, обеспечивающих регуляторные компоненты деятельности в процессе принятия решений в зависимости от ее контекста – наличия или отсутствия явной награды [30].

Серийное принятие решения для достижения монетарной награды в условиях неопределенности предполагает вовлечение когнитивного контроля для обновления информации о вероятностях и магнитуде награды – сличения результатов программы действий и репрезентации цели и может опираться на неявные стратегии, например, использования проигрышных стратегий для компенсации дефицита информации [3]. Можно предположить, что неоптимальное состояние фронто-таламической, лимбической и лобнобазальных регуляторных систем отразится на реализации стратегии достижения через специфические когнитивные регуляторные функции [64].

На основании имеющихся данных о связи функционирования фронто-таламической, лимбической и лобно-базальных РС с особенностями произвольной регуляции деятельности у подростков [4] можно предположить, что состояние этих систем оказывает влияние на выбор стратегии достижения результата при принятии решений. В настоящем исследовании для проверки этого предположения анализировались связи между индивидуальными особенностями функционального состояния РС, эффективностью функций программирования, избирательной регуляции и контроля деятельности и стратегией принятия решений в экспериментальной задаче *Balloon Analog Risk Task*. Ожидалось, что динамика средней ставки отражающая, согласно модели [65], аккумуляцию опыта о вероятности и магнитуде вознаграждения, будет отличаться в случае неоптимального функционального состояния фронто-таламической, фронто-лимбической и фронто-стриарной РС. Также, в зависимости от функционального состояния специфических подкорковых звеньев РС, могут отличаться компоненты когнитивного контроля, программирования и избирательной регуляции, связанные с принятием решений.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выборка. В исследовании приняли участие 164 подростка в возрасте от 11 до 16 лет (средний возраст – 13.8 лет, стандартное отклонение – 1.1, 98 мальчиков – 66%).

Количественная психометрическая оценка принятия решений осуществлялась с помощью методики «Balloon Analogue Risk Task» (BART) [65, 66], реализованной на базе пакета psychtoolbox 3.0.13 в вычислительной среде Matlab. BART представляет собой компьютерную игру, где в каждой из 30 попыток испытуемый должен накачивать отдельный виртуальный шарик, выбирая число от 1 до 128, соответствующее объему подкачиваний шарика. Участника исследования предупреждают, что денежное вознаграждение в конце игры будет соответствовать количеству набранных баллов, и его задача -заработать как можно больше, учитывая, что шарик в любой момент может лопнуть, и тогда текущая попытка не принесёт выигрыша. После этого шарик увеличивается до заданной испытуемым границы. Точка прерывания, при достижении которой шарик лопается с громким хлопком, варьируется в квазислучайном порядке от 9 до 121 (в среднем 64). В случае удачной попытки выигрыш накапливается, в случае неудачи остается на прежнем уровне. Количество шаров до конца игры, накопленная сумма, ставка на предыдущем шаге демонстрируются на экране в течение каждой пробы в числовом виде и обновляются после очередной попытки. Участники получали денежное вознаграждение в зависимости от результатов (от 100 до 300 рублей), что соответствует практике принятой в такого рода исследованиях. Для оценки динамики принятия решения мы рассчитывали среднюю ставку в начале (1-10 предъявления), середине (11-20 предъявления) и в конце игры (21-30 предъявления). В обзоре, посвященном взаимосвязи средней ставки BART и склонности к принятию рискованных решений [16], показано, что средние баллы могут быть недостаточно информативными для понимания связи с поведенческой регуляцией, поэтому для выявления этапов изменений и стабилизации принятия решений вычисляли разницу между средними показателями трех этапов игры.

Для оценки программирования, регуляции и контроля целенаправленной деятельности – управляющих функций мозга (УФ) каждый подросток участвовал в индивидуальном нейропсихологическом обследовании по результатам которого оценивали выраженность дефицита семи компонентов управляющих функций: трудности усвоения новых

алгоритмов деятельности, трудности создания *стратегии* деятельности, трудности преодоления непосредственных реакций – *импульсивности*, трудности своевременного прекращения начавшегося действия, и трудности переключения с одного типа действия на другое – *персеверации*, трудности переключения с одного способа действий на другой, с программы на программу – *инертность*, трудности *устойчивого* поддержания усвоенной программы, трудности *контроля* за выполнением собственных действий, усредненный показатель дефицита УФ по всем коэффициентам. Набор нейропсихологических тестов на основе методики Лурия А.Р. был адаптирован для соотнесения со структурным анализом ЭЭГ О.А. Семеновой [16], модифицирован М.Н. Захаровой. Детали подробно описаны в ряде работ: [11, 14].

Для оценки функционального состояния фронто-таламической, фронто-лимбической, лобно-базальной регуляторных систем использовался качественный структурный ЭЭГ анализ [7, 10, 11, 13], который был разработана ранее специально для сопоставления данных ЭЭГ и результатов нейропсихологического анализа и использовался в наших предыдущих междисциплинарных исследованиях когнитивной деятельности и поведения у детей и подростков [11, 14]. 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 всплесков билатерально-синхронной веретенообразной β -активности (20–30 Гц) в лобных, центральных и/или лобных и передневисочных отведениях, а при отсутствии признаков – к контрольной группе.

Статистический анализ показателей динамики принятия решений

Для ответа на основной вопрос статьи на первом этапе были сформированы группы, исходя из наличия идентичных ЭЭГ-паттернов, отражающих неоптимальное состояние отдельных РС (фронто-таламическая, фронто-лимбическая, лобно-базальная). Далее, посредством дисперсионного анализа с повторными измерениями были выявлены этапы из-

менения и стабилизации ставки, а также зависимость различных компонентов УФ от неоптимального функционального состояния РС. Из величины средней ставки с 1 по 10 попытки вычитали среднюю ставку с 11 по 20 – так вычисляли изменение ставки от начала к середине игры. Также, из средней величины ставки с 10 по 19 попытки вычитали ставку с 21 по 30 попытки – так вычисляли изменение ставки от середины к концу игры. Далее, для выявления компонентов произвольной регуляции, связанных с конкретной регуляторной системой мозга, в группах с идентичными ЭЭГ-паттернами проводился регрессионный анализ. В качестве зависимой переменной использовались показатели величины изменений ставки с добавлением в регрессионную модель независимые переменные – отдельных показателей избирательной регуляции. Для построения модели использовался метод обратного исключения, снижающий вероятность ошибок II рода.

Распределения ставки в 1, 2, 3 частях игры в группах, сформированных по ЭЭГ-признаку, соответствуют нормальному (Колмогорова-Смирнова $p > 0.2$), кроме первой ($p > 0.04$), и второй ($p > 0.012$) части игры в группе без специфических ЭЭГ-признаков. Для этих случаев проводился дополнительный непараметрический тест.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки влияния внутригруппового фактора «этап игры» и межгруппового фактора «неоптимальное состояние РС» на динамику ставки был проведен дисперсионный анализ по схеме Этап (3 уровня)*РС (4 уровня, см. таблицу 1) с ковариатой – суммарный индекс дефицита УФ. Дисперсионный анализ выявил значимое влияние внутригруппового фактора Этап на динамику ставки, а также взаимодействие факторов Этап*РС и Этап*РС*УФ, на уровне тенденции без учета поправки на множественные сравнения (Табл.1).

Таблица 1

*Дисперсионный анализ с повторными измерениями
ставки BART в начале, середине, конце игры*

	F	P
Ст1-2-3	6.500	0.002
Ст1-2-3 * РС	2.125	0.051
Ст1-2-3 * УФ	1.559	0.212
Ст1-2-3 * РС * УФ	2.068	0.057

Продолжение таблицы 1

Внутригрупповой фактор – часть игры. СТ1-2-3 – ставка в начале (1-10 попытки), середине (11-20), конце игры (21-30). Межгрупповой фактор – неоптимальное функциональное состояние РС (КНТ, ФТС, ЛМБ, ЛБЗ). Ковариата – усредненный показатель дефицита функций программирования регуляции и контроля деятельности. Поправка на множественные сравнения $0.05/4 = 0.013$.

С учетом взаимодействий внутригруппового и межгруппового факторов проведена оценка изменений ставки в процессе игры для каждой ЭЭГ группы (Табл.2). Кроме этого, внутри каждой ЭЭГ группы был проведен регрессионный анализ, где зависимой переменной была разность ставки между этапами, а независимыми переменными – отдельные показатели дефицитов УФ.

Результаты парных сравнений этапов в разных группах демонстрируются в таблице 2.

Таблица 2

Парное сравнение средней ставки (t – Стьюдента) в начале СТ1, середине СТ2, конце СТ3 игры в отдельных группах РС

	КНТ (50)	ФТС (18)	ЛМБ (48)	ЛБЗ (17)
СТ 1 – СТ 3	-2.21 (5.79, 2.62) *	-2.25 (5.89, 2.61) *	-3.84 (9.49, 2.47) ***	-2.59 (8.93, 3.45) **
СТ 1 – СТ 2	-2.75 (5.03, 1.83) **	.59 (1.68, 2.84)	-2.35 (5.46, 2.32) *	-2.99 (6.85, 2.29) **
СТ 2 – СТ 3	-.39 (0.76, 1.94)	-2.60 (7.57, 2.92) *	-2.19 (4.04, 1.85) *	-.68 (2.08, 3.04)

* $<.05$, ** $<.01$, *** $<.001$, $^<.1$ Результаты для парных сравнений 1-3, 1-2, 2-3, Непараметрический критерий Z – Уилкоксона – идентичны. Поправка на множественные сравнения $0.05/4 = 0.0125$ пройдена для СТ1-2-3*ЛБЗ, ЛМБ. СТ1-СТ3 – ЛМБ, ЛБЗ. СТ1-СТ2 – КНТ, ЛБЗ. В скобках указано среднее значение и стандартная ошибка для разности ставки в сравниваемых этапах.

В контрольной группе значимые различия выявлены между 1-м и 2-м этапами и между 1-м и 3-м этапами. Регрессионный анализ показал, что для периода максимальных изменений (между первым и вторым этапом) и для изменений в целом (между первым и третьим этапом) значимое влияние на динамику ставок оказывает показатель импульсивности (УФ ($F(1, 49) = 5.261$, $p < 0.03$, $\Delta R^2 = 0.08$, $\beta = -0.31$, $p = 0.03$) при этом, в период

отсутствия изменений (от 2-го к 3-ему этапу) значимы трудности «усвоения» ($УФ$ ($F(1, 49) = 6.23, p < 0.02, \Delta R^2 = 0.10, \beta = -0.34, p = 0.01$)).

В группе с неоптимальным состоянием ФТС ставка меняется от начального к финальному этапу на уровне тенденции, при этом значимые изменения происходят к концу игры. Регрессионный анализ выявил вклад дефицита устойчивого поддержания усвоенной программы и трудностей переключения между действиями в динамику ставок от 1-ого к 3-ему этапу на уровне тенденции ($F(1, 17) = 3.444, p = 0.057, \Delta R^2 = 0.21, \beta = -0.63, 0.53, p = 0.02, 0.054$). При переходе от 2-ой к 3-ей части игры выявлен значимый вклад трудностей формирования стратегии деятельности и трудностей устойчивого поддержания программы ($F(2, 16) = 7.60, p = 0.005, \Delta R^2 = 0.42, \beta = 0.54, -0.55, p = 0.09, 0.008$).

Для группы подростков с неоптимальным состоянием фронто-лимбической системы (ЛМБ) анализ динамики ставки в процессе игры по критерию Вилкоксона выявил значимые различия между этапами с поправкой на множественные сравнения ($p < 0.0125$). При этом ставка меняется в сравнении как начального и финального этапов, так и между всеми этапами игры. Регрессионный анализ выявил влияние трудностей создания стратегии деятельности и инертности на динамику ставок от 1-ой к 3-ей части игры ($F(2, 44) = 8.27, p < 0.04, \Delta R^2 = 0.14, \beta = 0.30, 0.23, p = 0.04, 0.08$). На изменения ставки от 1-ой ко 2-ой части игры значимое влияние оказывают трудности создания стратегии, инертность и трудности контроля ($F(3, 43) = 6.72, p < 0.001, \Delta R^2 = 0.34, \beta = 0.53, 0.24, -0.27, p = 0.001, 0.08, 0.06$); а от 2-ой к 3-ей – трудности создания стратегии, инертность и трудности контроля $F(3, 43) = 5.7, p = 0.006, \Delta R^2 = 0.17, \beta = -0.31, 0.40, p < 0.03, 0.006$).

В группе с неоптимальным состоянием лобно-базальной системы ставка меняется от начального к финальному этапу, при этом основные изменения происходят в первой половине игры. Регрессионный анализ вклада отдельных компонентов $УФ$ выявил роль персевераций в изменениях от 1-го к 3-ему этапу игры ($F(1, 16) = 9.83, p = 0.006, \Delta R^2 = 0.34, \beta = 0.62, p = 0.006$), и от 1-го ко 2-му этапу игры ($F(1, 16) = 6.06 (17), p = 0.026, \Delta R^2 = 0.23, \beta = 0.53, p = 0.026$), а также роль трудностей контроля собственных действий в изменениях ставки от 2-го к 3-ему этапу ($F(1, 16) = 12.48 (17), p = 0.003, \Delta R^2 = 0.40, \beta = 0.66, p = 0.003$).

Таким образом, специфическими компонентами $УФ$, сопутствующими изменению ставки в контрольной группе является импульсивность, в группе с неоптимальным состоянием ФТС (на уровне тенденции) –

трудности формирования стратегии деятельности, трудности поддержания программы, в группе с неоптимальным состоянием фронто-лимбической системы инертность действий, в группе с неоптимальным состоянием лобно-базальных структур – трудности переключения отдельного действия – персеверации.

ОБСУЖДЕНИЕ

Цель исследования состояла в оценке роли регуляторных функций мозга в процессах принятия решений в условиях неопределенности на модели монетизированной компьютерной игры BART. При неоптимальном состоянии фронто-таламической РС изменение ставки происходит в последней трети игры, что связано с трудностями создания деятельности стратегии и устойчивого удержания программы. Для неоптимального состояния лимбической РС изменения ставки происходят на протяжении всей игры и связаны с трудностями формирования стратегии деятельности, инертностью и трудностями контроля. При неоптимальном состоянии лобно-базальной системы изменения происходят в первой половине игры и связаны с персеверациями и трудностями контроля. Для группы сравнения, без специфических ЭЭГ паттернов, изменения характерны при переходе ко второму этапу и связаны с показателем импульсивности (Рис. 1).

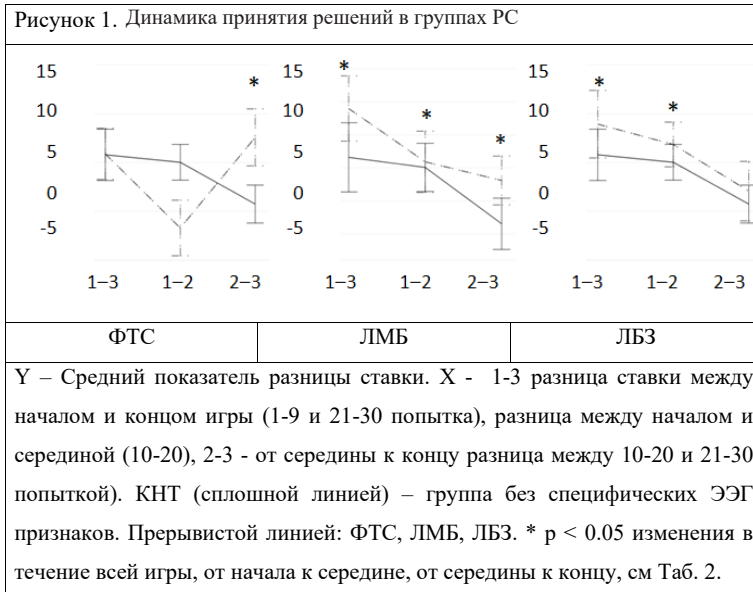


Рис. 1 Динамика принятия решений в группах РС

Продолжительное развитие структур лимбической системы (амигдалы, гиппокампа и поясной коры) и их связей с ПФК оказывает существенное влияние на формирование эмоциональной регуляции и когнитивных процессов в контексте принятия решений [51]. Роль коркового звена лимбической системы в формировании альфа-ритма отмечается в работе [23], где авторы демонстрируют, что одна из функций альфа-ритма связана с предвосхищением изменения сенсорной информации. В работе [58], сочетающей анализ ЭЭГ и фМРТ, появление всплесков альфа диапазона (alpha bursting segments) в лобных отделах связано с увеличением уровня оксигенации в mPFC и предклинье/задней поясной извилине – узлами «дефолтной» сети (DMN). Передняя поясная кора (ACC) играет центральную роль в обработке неопределенности и когнитивном контроле. Многочисленные исследования показывают ее участие в нескольких процессах: мониторинге когнитивных конфликтов [24], обнаружении ошибок [10] и предвосхищении изменчивости обстановки [56]. Различные субрегионы ACC выполняют специализированные функции – дорсальная область ассоциируется с проверкой гипотез, тогда как вентральная часть – с эмоциональной оценкой совершаемого выбора [48]. Амигдала, традиционно ассоциируемая с обработкой эмоционально значимых стимулов [60], выполняет критически важную функцию в оценке мотивационной значимости изменений среды [34]. Показана связь между активностью амигдалы и успешностью выполнения тестов рабочей памяти [59]. Особый интерес представляют нейрокогнитивные особенности подросткового возраста. Подростки демонстрируют повышенную толерантность к неопределенности [64] и выраженные эксплораторные тенденции, что может рассматриваться как адаптивный механизм в процессе поиска оптимальных поведенческих стратегий [33]. Однако эта возрастная группа также характеризуется склонностью к рискованному поведению, что объясняется сочетанием нескольких факторов: недооценкой негативных последствий, переоценкой потенциальных выгод и недостаточной зрелостью префронтальных механизмов контроля. На электрофизиологическом уровне процессы принятия решений в условиях неопределенности отражаются в специфических компонентах вызванной ЭА, таких как N2 и ERN, которые генерируются в передней цингулярной коре. Увеличение амплитуды этих компонентов связано с замедлением процесса принятия решений после ошибок и повышением их точности [35] и отражает когнитивную нагруженность ситуации с высоким уровнем конфликта [47]. Функционально

эти процессы обеспечиваются слаженной работой двух функциональных систем, обе из которых включают структуры лимбической области мозга – системы когнитивного контроля и системы оценки субъективной значимости событий и эмоционально-мотивационной регуляции поведения.

Ключевые структуры лобно-базальной системы (ЛБЗ) вовлечены в процессы контроля поведения, регуляции движений, принятия решений и мотивации [52], осуществляя интеграцию субъективной значимости и стратегию достижения целей. Процесс целеполагания обеспечивается связями префронтальной корой с прилежащим ядром с через дофаминовые D-1 рецепторы на нейронах этого ядра, в то время как снижение влияний префронтальной коры в виде персевераций обусловлено активацией D-2 рецепторов [25]. Высокий уровень активности рецепторов дофамина в петле дорсолатеральной ПФК – хвостатое ядро связан с высокой мотивацией к достижениям, а в петле дорсолатеральной ПФК – прилежащее ядро – с готовностью к действию. Низкий уровень активности рецепторов дофамина в системе награды, ассоциируется с торможением со стороны бледного шара и трудностями формирования новых стратегий с серийным компонентом [43], при этом избыток дофамина нарушает контроль со стороны дорсолатеральной ПФК в стрессовой ситуации [22].

Активацию дофаминовых рецепторов на нейронах фронтальных областей соотносят с репрезентацией субъективной значимости элементов обстановки, а активность стриарных нейронных популяций связывают с вероятностью достижения вследствие конкретного действия [22]. Контроль иррелевантных действий осуществляется влиянием со стороны субталамического ядра [32]. Оценка неопределенности при достижении денежного вознаграждения обеспечивается взаимодействием орбитофронтальной коры (ОФК) с прилежащим ядром, а также реципрокным корково-корковыми взаимодействием орбитофронтальной коры (ВА 11) и коры лобного полюса (ВА 10) для обработки магнитуды выигрыша и потери, соответственно [45]. Пациенты с повреждением ОФК демонстрируют импульсивность в решениях и снижение способности обучения на ошибках. Усиление связей между медиальной префронтальной корой и бледным шаром ассоциируются с ригидностью и стереотипным поведением [40], а также тревожностью [41].

Наличие бета-веретен во фронтальных отделах, наблюдавшееся нами у части подростков, ассоциируется с признаками эмоциональной

дезрегуляции и снижением контроля импульсивности [44]. У подростков с признаками СДВГ при наличии бета-веретен наблюдается положительный эффект терапии препаратами, активирующими серотонинергическую передачу и повышающими активность голубого пятна, нейроны которого выделяют норадреналин [49]. В случае увеличения выраженности бета-осцилляций в контуре OFC-Насс можно предполагать усиление активности системы вознаграждения [26], а в случае усиления бета-активности в связях дорсолатеральная ПФК-моторная кора – гиппофункцию двигательного контроля [21].

Персеверации могут быть связаны с трудностями подавления нерелевантного действия и переключения [54], и в сочетании с бета-активностью – фиксацией на ошибочных, невыгодных действиях. В работе [28] показано снижение выраженности бета-осцилляций при усилении когнитивного контроля в ситуации принятия решений. Можно предположить, что неоптимальное состояние фронто-базальных структур на фоне продолжительных структурных изменений [55], отражается на способности подростков к выработке оптимальной стратегии принятия решений.

Для группы подростков с неоптимальным состоянием ФТС согласно результатам нейропсихологического обследования были характерны трудности создания стратегии деятельности и устойчивого удержания программы, что проявилось в трудностях выбора адекватной стратегии в ходе выполнения задачи BART. Выбор стратегии связан с несколькими когнитивными процессами, которые можно разделить на процессы, предшествующие первоначальному принятию решения, и процессы, возникающие при пересмотре этого решения. Можно предположить, что в группе с неоптимальным состоянием ФТС трудности формирования оптимальной стратегии обусловлены снижением эффективности избирательной настройки мозга на выполнение необходимых действий [13]. На связь таламуса с принятием решений у подростков указывают данные работы [66], в которой показано снижение активности в таламической зоне левого полушария в этом возрасте по сравнению со взрослыми при выполнении задачи BART. Пэт-исследование [67] указывает на связь повышенной активности таламических дофаминергических (D2/3) рецепторов с избеганием неудачи, в связи с чем неоптимальная таламическая дофаминовая сигнализация может играть важную роль в непропорциональной оценке потерь. ФМРТ исследование [46] указывает на роль фонового функционального состояния в модуляции талами-

ческой активности: при депривации сна, вызывающей общее снижение функционального состояния, отмечается снижение активации таламуса при получении награды. Исследование электрической активности мозга в теменной, префронтальной и таламической областях [61] указывает на ее связь с времени ответа и количеством накачиваний при выполнении задачи BART. По данным [50] транскраниальная стимуляция на частоте 4-8 ГЦ, оказывающей тормозное влияние на области дорсолатеральной ПФК левого полушария, вызывает повышение вероятности принятия рискованных решений в BART. На основе метаанализа авторы предложили потенциальный механизм принятия рискованных решений, включающий два параллельных и реципрокных процесса риска: эмоциональный и когнитивный. Эмоциональную обработку, относят к передней островковой доле и таламусу, тогда как дорсолатеральная ПФК обеспечивает оценку последствий принятия решений на когнитивном уровне. В ФМРТ исследовании [29] подростки с историей и предрасположенностью к употреблению спиртного демонстрировали сниженную активацию таламуса в ситуации принятия рискованных решений – свидетельство низкой избирательности в отношении непредвиденных последствий выбора.

Интересна связь импульсивности и смены стратегии принятия решений на начальной фазе игры в контрольной группе. По-видимому, эта связь отражает характерную для подросткового возраста поведенческую регуляторную особенность – импульсивность в оценке компонентов аффективно значимой ситуации [38, 62]. При этом она не всегда сопровождается проблемным поведением, а поддерживает позитивные достижения [57] и сочетается с повышенной ожидаемой полезностью именно умеренного риска при усиленном вовлечении дорсомедиальной ПФК [37].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют в пользу исходного предположения о том, что важным фактором в принятии решений у подростков является неоптимальное функционирование регуляторных систем мозга. При этом было обнаружено, что различные динамические показатели могут быть связаны с неоптимальным состоянием различных глубинных и корковых звеньев этих систем со своими когнитивными механизмами. В целом эти наблюдения указывают на гетерогенную природу нейрофизиологических механизмов адаптации

подростков и необходимости учета индивидуальных особенностей регуляторных функций мозга при оценке склонности к риску у подростков.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены одобрены Комитетом по биоэтике ФГБНУ «ИРЗАР».

Информированное согласие. Перед началом исследования родитель каждого участника представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Источник финансирования. Настоящая работа выполнена за счет средств, выделяемых для выполнения государственного задания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Ю. И., Сварник О. Е., Знаменская И. И., Колбенева М. Г., Арутюнова К. Р., Крылов А. К., Булава А. И. Регрессия как этап развития // . – 2017.
2. Безруких М. М., Сонькин В. Д., Фарбер Д. А. Возрастная физиология (Физиология развития ребенка). – М.: Академия, 2009. – 416 с.
3. Козунова Г., Мясникова А. Природа нерациональной стратегии принятия решений в вероятностной среде у подростков 12-15 лет // Материалы конференции. Всероссийская научная конференция памяти Дж. С. Брунера. Ярославль, 2024 -ООО «Филигрань», 2024.
4. Корнеев А., Захарова М., Курганский А., Ломакин Д., Мачинская Р. Прогностическое значение электроэнцефалографических и нейропсихологических показателей состояния регуляторных функций мозга для оценки вероятности отклонений поведения у подростков // Экспериментальная психология. – 2021. – Т. 14, № 1. – С. 135-150.
5. Lomakin D. The Functional State of Emotion-Motivational Brain Regulatory Systems and Risk-Taking Propensity in Adolescents // Human Physiology. – 2023. – Т. 49, № 5. – С. 471-479.
6. Ломакин Д., Корнеев А., Курганский А., Мачинская Р. Склонность к риску и девиантное поведение у подростков // Российский журнал когнитивной науки. – 2018. – Т. 5, № 4. – С. 4-14.
7. Лукашевич И., Дмитрова Е., Киселева О., Мачинская Р., Ткачева Т., Фишман М., Шкловский В. Структурно-организованные экспертные и обучающе-диагностические системы в медицине // Врач и информационные технологии. – 2007. № 6. – С. 37-42.

8. Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека. – М. Издательство Московского Университета, 1962. – 432 с.
9. Лурия А., Кричли М., Хомская Е. Нарушение избирательности психических процессов в одном случае опухоли лобной доли // Архивная. – 1964. luria-archiv.ru/publications/published/3406/
10. Мачинская Р. Управляющие системы мозга // Журнал высшей нервной деятельности им. ИП Павлова. – 2015. – Т. 65, № 1. – С. 33-60.
11. Мачинская Р., Захарова М., Ломакин Д. Регуляторные системы мозга у подростков с признаками девиантного поведения. Междисциплинарный анализ // Физиология человека. – 2020. – Т. 46, № 3. – С. 37-55.
12. Мачинская Р., Курганский А. Фронтальные билатерально-синхронные тета-волны и когерентность фоновой ээг у детей 7 8 и 9 10 лет с трудностями обучения // Физиология человека. – 2013. – Т. 39, № 1. – С. 71-71.
13. Мачинская Р., Лукашевич И., Фишман М. Функциональное созревание мозга и формирование нейрофизиологических механизмов избирательного произвольного внимания у детей младшего школьного возраста. // Физиология человека. – 2006. – Т. 32, № 1. – С. 26-36.
14. Семенова О., Мачинская Р. Нейропсихологический и нейрофизиологический анализ возрастных преобразований познавательных функций и рисков учебной дезадаптации в предшкольном возрасте // Новые исследования. – 2012. № 1 (30). – С. 45-73.
15. Семенова О., Мачинская Р., Ломакин Д. Влияние функционального состояния регуляторных систем мозга на эффективность программирования, избирательной регуляции и контроля когнитивной деятельности у детей. Сообщение I. Нейропсихологический и электроэнцефалографический анализ возрастных преобразований регуляторных функций мозга в период от 9 до 12 лет // Физиология человека. – 2015. – Т. 41, № 4. – С. 5-17.
16. Семенова О. А. Формирование функций регуляции и контроля у младших школьников: дисс.. канд. псих. наук М., 2001 – 161 с.
17. Смирнов С. Д., Чумакова М. А., Корнилов С. А., Краснов Е. В., Корнилова Т. В. Когнитивная и личностная регуляция стратегий решения прогностической задачи (на материале IowaGamblingTask) // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. – 2017. № 3. – С. 39-59.
18. Харламенкова Н. Е. Самоутверждение подростка. 2-е изд. – М.: «Институт психологии РАН», 2007. – 384 с.
19. Цехмистренко Т. А., Васильева В. А., Шумейко Н. С. Глава 2. Морфологические основы регуляторных механизмов поведения: особенности микроструктурной организации префронтальной, премоторной и задней ассоциативной коры большого мозга у детей, подростков и юношей // Регуляция поведения и когнитивной деятельности в подростковом возрасте. Мозговые механизмы, 2023. – С. 161-202.

20. Arain M., Haque M., Johal L. et al. Maturation of the adolescent brain // *Neuropsychiatric disease and treatment*. – 2013. – С. 449-461.
21. Arns M., Conners C. K., Kraemer H. C. A decade of EEG theta/beta ratio research in ADHD: a meta-analysis // *Journal of attention disorders*. – 2013. – Т. 17, № 5. – С. 374-383.
22. Arnsten A. F., Rubia K. Neurobiological circuits regulating attention, cognitive control, motivation, and emotion: disruptions in neurodevelopmental psychiatric disorders // *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*. – 2012. – Т. 51, № 4. – С. 356-367.
23. Ben-Simon E., Podlipsky I., Arieli A. et al. Never resting brain: simultaneous representation of two alpha related processes in humans // *PloS one*. – 2008. – Т. 3, № 12. – С. e3984.
24. Botvinick M. M., Braver T. S., Barch D. et al. Conflict monitoring and cognitive control // *Psychological review*. – 2001. – Т. 108, № 3. – С. 624.
25. Brady A. M., O'Donnell P. Dopaminergic modulation of prefrontal cortical input to nucleus accumbens neurons in vivo // *Journal of Neuroscience*. – 2004. – Т. 24, № 5. – С. 1040-1049.
26. Bunzeck N., Guitart-Masip M., Dolan R. J., Düzel E. Contextual novelty modulates the neural dynamics of reward anticipation // *Journal of Neuroscience*. – 2011. – Т. 31, № 36. – С. 12816-12822.
27. Casey B., Galván A., Somerville L. H. Beyond simple models of adolescence to an integrated circuit-based account: A commentary // *Developmental Cognitive Neuroscience*. – 2016. – Т. 17, № Suppl. 1. – С. 128-130.
28. Chernyshev B. V., Kozunova G. L., Stroganova T. A. et al. Losses resulting from deliberate exploration trigger beta oscillations in frontal cortex // *Frontiers in Neuroscience*. – 2023. – Т. 17. – С. 1152926.
29. Claus E. D., Feldstein Ewing S. W., Magnan R. E. et al. Neural mechanisms of risky decision making in adolescents reporting frequent alcohol and/or marijuana use // *Brain imaging and behavior*. – 2018. – Т. 12. – С. 564-576.
30. Colautti L., Antonietti A., Iannello P. Executive functions in decision making under ambiguity and risk in healthy adults: A scoping review adopting the hot and cold executive functions perspective // *Brain sciences*. – 2022. – Т. 12, № 10. – С. 1335.
31. Compagne C., Mayer J. T., Gabriel D. et al. Adaptations of the balloon analog risk task for neuroimaging settings: a systematic review // *Front Neurosci*. – 2023. – Т. 17. – С. 1237734.
32. Coulthard E. J., Bogacz R., Javed S. et al. Distinct roles of dopamine and subthalamic nucleus in learning and probabilistic decision making // *Brain*. – 2012. – Т. 135, № 12. – С. 3721-3734.
33. Crone E. A., Dahl R. E. Understanding adolescence as a period of social-affective engagement and goal flexibility // *Nature Reviews Neuroscience*. – 2012. – Sep. – Т. 13, № 9. – С. 636-650.

34. Cunningham W. A., Brosch T. Motivational salience: Amygdala tuning from traits, needs, values, and goals // *Current Directions in Psychological Science*. – 2012. – Т. 21, № 1. – С. 54-59.
35. Debener S., Ullsperger M., Siegel M. et al. Trial-by-trial coupling of concurrent electroencephalogram and functional magnetic resonance imaging identifies the dynamics of performance monitoring // *Journal of Neuroscience*. – 2005. – Т. 25, № 50. – С. 11730-11737.
36. Defoe I. N., Dubas J. S., Figner B., Van Aken M. A. A meta-analysis on age differences in risky decision making: adolescents versus children and adults // *Psychological bulletin*. – 2015. – Т. 141, № 1. – С. 48.
37. Duell N., Kwon S.-J., Do K. T., Turpyn C. C et al. Positive risk taking and neural sensitivity to risky decision making in adolescence // *Developmental cognitive neuroscience*. – 2022. – Т. 57. – С. 101142.
38. Duell N., Steinberg L. Positive risk taking in adolescence // *Child development perspectives*. – 2019. – Т. 13, № 1. – С. 48-52.
39. Giedd J. N. Linking adolescent sleep, brain maturation, and behavior // *The Journal of adolescent health: official publication of the Society for Adolescent Medicine*. – 2009. – Т. 45, № 4. – С. 319.
40. Grabli D., McCairn K., Hirsch E. C., et al. Behavioural disorders induced by external globus pallidus dysfunction in primates: I. Behavioural study // *Brain*. – 2004. – Т. 127, № 9. – С. 2039-2054.
41. Heitmann C. Y., Feldker K., Neumeister P. et al. Abnormal brain activation and connectivity to standardized disorder-related visual scenes in social anxiety disorder // *Human Brain Mapping*. – 2016. – Т. 37, № 4. – С. 1559-1572.
42. Kaiser J., Gruzelier J. H. Effects of pubertal timing on EEG coherence and P3 latency // *International journal of psychophysiology*. – 1999. – Т. 34, № 3. – С. 225-236.
43. Kang S., Hong S.-I., Kang S. et al. Astrocyte activities in the external globus pallidus regulate action-selection strategies in reward-seeking behaviors // *Science Advances*. – 2023. – Т. 9, № 24. – С. eadh9239.
44. 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 // *Biological Psychology*. – 2021. – Т. 165. – С. 108188.
45. Kringelbach M. L., Rolls E. T. The functional neuroanatomy of the human orbitofrontal cortex: evidence from neuroimaging and neuropsychology // *Progress in neurobiology*. – 2004. – Т. 72, № 5. – С. 341-372.
46. Lei Y., Wang L., Chen P. et al. Neural correlates of increased risk-taking propensity in sleep-deprived people along with a changing risk level // *Brain imaging and behavior*. – 2017. – Т. 11. – С. 1910-1921.
47. LoTempio S. B., Lopes C. L., McDonnell A. S. et al. Updating the relationship of the Ne/ERN to task-related behavior: A brief review and suggestions for future research // *Frontiers in Human Neuroscience*. – 2023. – Т. 17. – С. 1150244.

48. Marsh A. A., Blair K. S., Vythilingam M. et al. Response options and expectations of reward in decision-making: the differential roles of dorsal and rostral anterior cingulate cortex // *Neuroimage*. – 2007. – Т. 35, № 2. – С. 979-988.
49. Mathes B., Khalaidovski K., Wienke A. S. et al. Maturation of the P3 and concurrent oscillatory processes during adolescence // *Clinical neurophysiology*. – 2016. – Т. 127, № 7. – С. 2599-2609.
50. Meijs H., Luykx J. J., van der Vinne N. et al. Deep Learning–Derived Transdiagnostic Signature Indexing Hypoarousal and Impulse Control: Implications for Treatment Prediction in Psychiatric Disorders // *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*. – 2024.
51. Mohr P. N., Biele G., Heekeren H. R. Neural processing of risk // *Journal of Neuroscience*. – 2010. – Т. 30, № 19. – С. 6613-6619.
52. Moretti R., Caruso P., Crisman E., Gazzin S. Basal ganglia: Their role in complex cognitive procedures in experimental models and in clinical practice // *Neurology India*. – 2017. – Т. 65, № 4. – С. 814-825.
53. Mushtaq F., Bland A. R., Schaefer A. Uncertainty and cognitive control // *Front Psychol*. – 2011. – Т. 2. – С. 249.
54. Obeso J. A., Stamelou M., Goetz C. G., Poewe W. et al. Past, present, and future of Parkinson's disease: A special essay on the 200th Anniversary of the Shaking Palsy // *Movement disorders*. – 2017. – Т. 32, № 9. – С. 1264-1310.
55. Palmer C. E., Pecheva D., Iversen J. R. et al. Microstructural development from 9 to 14 years: Evidence from the ABCD Study // *Developmental cognitive neuroscience*. – 2022. – Т. 53. – С. 101044.
56. Peters A., McEwen B. S., Friston K. Uncertainty and stress: Why it causes diseases and how it is mastered by the brain // *Progress in neurobiology*. – 2017. – Т. 156. – С. 164-188.
57. Romer D. Adolescent risk taking, impulsivity, and brain development: Implications for prevention // *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*. – 2010. – Т. 52, № 3. – С. 263-276.
58. Rusiniak M., Wróbel A., Cieśla K. et al. The relationship between alpha burst activity and the default mode network // *Acta Neurobiologiae Experimentalis*. – 2018. – Т. 78, № 2. – С. 92-113.
59. Schaefer A., Braver T. S., Reynolds J. R., Burgess G. C., Yarkoni T., Gray J. R. Individual differences in amygdala activity predict response speed during working memory // *Journal of Neuroscience*. – 2006. – Т. 26, № 40. – С. 10120-10128.
60. Seo H., Oemisch M. Decoding emotion: The amygdala–prefrontal cortex pathway for emotion regulation of children // *Biological Psychiatry*. – 2020. – Т. 88, № 7. – С. 517-519.
61. Shahdoust N., Cowan R. L., Price T. A. et al. Interictal Epileptiform Discharges Disrupt Neural Computations Underlying Cognitive Control and Value-based Decision Making // *american epilepsy society annual meeting 2025*. – 2024.

62. Steinberg L., Albert D., Cauffman E. et al. Age differences in sensation seeking and impulsivity as indexed by behavior and self-report: evidence for a dual systems model // *Developmental psychology*. – 2008. – Т. 44, № 6. – С. 1764.
63. Torun Y. T., Gurbuz S., Menderes D., et al. Electroencephalogram abnormalities in children have rotated error on block design performance: An university hospital child and adolescent psychiatry clinic sample // *Northern Clinics of Istanbul*. – 2023. – Т. 10, № 1. – С. 95.
64. Tymula A., Belmaker L. A. R., Roy A. K. et al. Adolescents' risk-taking behavior is driven by tolerance to ambiguity // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2012. – С. 201207144.
65. Wallsten T. S., Pleskac T. J., Lejuez C. W. Modeling behavior in a clinically diagnostic sequential risk-taking task // *Psychological review*. – 2005. – Т. 112, № 4. – С. 862.
66. Wang M., Zhang S., Suo T. et al. Risk-taking in the human brain: An activation likelihood estimation meta-analysis of the balloon analog risk task (BART) // *Human brain mapping*. – 2022. – Т. 43, № 18. – С. 5643-5657.
67. Zorick T., Okita K., Renard K. B. et al. The Effects of Citalopram and Thalamic Dopamine D2/3 Receptor Availability on Decision-Making and Loss Aversion in Alcohol Dependence // *Psychiatry Journal*. – 2022. – Т. 2022, № 1. – С. 5663274.

REFERENCES

1. Aleksandrov YU. I., Svarnik O. E., Znamenskaya I. I., Kolbeneva M. G., Arutyunova K. R., Krylov A. K., Bulava A. I. Regressiya kak etap razvitiya // . – 2017.
2. Bezrukih M. M., Son'kin V. D., Farber D. A. Vozrastnaya fiziologiya (Fiziologiya razvitiya rebenka). – М.: Akademiya, 2009. – 416 s.
3. Kozunova G., Myasnikova A. Priroda neracional'noj strategii prinyatiya reshenij v veroyatnostnoj srede u podrostkov 12-15 let // *Materialy konferencii. Vserossijskaya nauchnaya konferenciya pamyati Dzh. S. Brunera. YArosavl', 2024 -OOO "Filigran"*, 2024. .
4. Korneev A., Zaharova M., Kurganskij A., Lomakin D., Machinskaya R. Prognosticheskoe znachenie elektroencefalograficheskikh i nejropsihologicheskikh pokazatelej sostoyaniya reguljatornyh funkcij mozga dlya ocenki veroyatnosti ot-klonenij povedeniya u podrostkov // *Eksperimental'naya psihologiya*. – 2021. – Т. 14, № 1. – С. 135-150.
5. Lomakin D. The Functional State of Emotion-Motivational Brain Regulatory Systems and Risk-Taking Propensity in Adolescents // *Human Physiology*. – 2023. – Т. 49, № 5. – С. 471-479.
6. Lomakin D., Korneev A., Kurganskij A., Machinskaya R. Sklonnost' k ris-ku i deviantnoe povedenie u podrostkov // *Rossijskij zhurnal kognitivnoj nauki*. – 2018. – Т. 5, № 4. – С. 4-14.

7. Lukashevich I., Dmitrova E., Kiseleva O., Machinskaya R., Tkacheva T., Fishman M., SHklovskij V. Strukturno-organizovannye ekspertnye i obuchayushche-diagnosticheskie sistemy v medicine // Vrach i informacionnye tekhnologii. – 2007. № 6. – С. 37-42.
8. Luriya A.R. Vysshie korkovyie funktsii cheloveka. – M. Izdatel'stvo Moskovskogo Universiteta, 1962. – 432 s.
9. Luriya A., Krichli M., Homskaya E. Narushenie izbiratel'nosti psichicheskikh processov v odnom sluchae opuholi lobnoj doli // Arhivnaya. – 1964. luria-archiv.ru/publications/published/3406/
10. Machinskaya R. Upravlyayushchie sistemy mozga // ZHurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti im. IP Pavlova. – 2015. – T. 65, № 1. – С. 33-60.
11. Machinskaya R., Zaharova M., Lomakin D. Regul'yatornye sistemy mozga u podrostkov s priznakami deviantnogo povedeniya. Mezhdisciplinarnyj analiz // Fiziologiya cheloveka. – 2020. – T. 46, № 3. – С. 37-55.
12. Machinskaya R., Kurganskij A. Frontal'nye bilateral'no-sinhronnye tetra-volny i kogerentnost' fonovoj eeg u detej 7 8 i 9 10 let s trudnostyami obucheniya // Fiziologiya cheloveka. – 2013. – T. 39, № 1. – С. 71-71.
13. Machinskaya R., Lukashevich I., Fishman M. Funktsional'noe sozrevanie mozga i formirovanie nejrofiziologicheskikh mekhanizmov izbiratel'nogo proizvod'nogo vnimaniya u detej mladshogo shkol'nogo vozrasta. // Fiziologiya cheloveka. – 2006. – T. 32, № 1. – С. 26-36.
14. Semenova O., Machinskaya R. Nejropsihologicheskij i nejrofiziologicheskij analiz vozzrastnykh preobrazovanij poznavatel'nykh funktsij i riskov uchebnoj dezadaptatsii v predshkol'nom vozzraste // Novye issledovaniya. – 2012. № 1 (30). – С. 45-73.
15. Semenova O., Machinskaya R., Lomakin D. Vliyanie funktsional'nogo sostoyaniya regul'yatornykh sistem mozga na effektivnost' programmirovaniya, izbiratel'noj regul'yatsii i kontrolya kognitivnoj deyatel'nosti u detej. Soobshchenie I. Nejropsihologicheskij i elektroencefalograficheskij analiz vozzrastnykh preobrazovanij regul'yatornykh funktsij mozga v period ot 9 do 12 let // Fiziologiya cheloveka. – 2015. – T. 41, № 4. – С. 5-17.
16. Semenova O. A. Formirovanie funktsij regul'yatsii i kontrolya u mladshikh shkol'nikov: diss... kand.psih.nauk M, 2001 – 161 s.
17. Smirnov S. D., CHumakova M. A., Kornilov S. A., Krasnov E. V., Kornilova T. V. Kognitivnaya i lichnostnaya regul'yatsiya strategij resheniya prognosticheskoy zadachi (na materiale IowaGamblingTask) // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14. Psihologiya. – 2017. № 3. – С. 39-59.
18. Harlamenkova N. E. Samoutverzhdienie podrostka. 2-e izd. – M.: «Institut psihologii RAN», 2007. – 384 s.
19. Cekhmistrenko T. A., Vasil'eva V. A., SHumejko N. S. Glava 2. Morfoloicheskie osnovy regul'yatornykh mekhanizmov povedeniya: osobennosti mikrostrukturnoj organizatsii prefrontal'noj, premotornoj zadnej asociativnoj kory bol'shogo mozgau detej, podrostkov i yunoshej // Regul'yatsiya povedeniya i kognitivnoj deyatel'nosti v podrostkovom vozzraste. Mozgovye mekhanizmy, 2023. – С. 161-202.