

П.В. Родичкин¹, В.Н. Голубев², Г.В. Бузник³,
В.Б. Дергачёв⁴, Е.А. Дергачёва¹

Организация экстремальной двигательной активности при дозированном облучении

¹Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург

²Международный научно-исследовательский центр Российской академии наук, Дальневосточное отделение, Магадан

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

⁴Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Резюме. Установлено, что в живом организме при первичной реакции на облучение, как экстремальном состоянии, существуют низкопороговые и высокопороговые структуры, которые способны по-разному обеспечивать управление движением. Обнаружено, что при облучении дозой ЛД₅₀ в процессе развития первичной реакции (первые сутки) пороги возбудимости нервного ствола не изменяются. При дозе ЛД к концу первых суток возбудимость снижается на 47,2%. При прямой стимуляции мышечных волокон при ЛД₅₀ возбудимость в процессе развития первичной реакции на облучение в них также не изменяется. При общем облучении ЛД уже через час после облучения наблюдается изменение возбудимости на 10,1%, но далее через сутки после облучения порог возбуждения нормализуется до исходных параметров. Стимуляция седалищного нерва до появления сокращения мышц на контралатеральной стороне позволила фактически определить возбудимость всей рефлекторной дуги у спинных лягушек. В целом, возбудимость структур головного мозга, участвующих в организации движений при облучении ЛД₅₀ и ЛД, в процессе развития первичной реакции снижается. При этом в первые сутки после облучения ЛД₅₀ порог возбуждения увеличивается на 67,9-149%, а при облучении ЛД – в 1,5 раза. Это свидетельствует о том, что в исследованных элементах системы управления движением быстрее и сильнее всего страдают элементы спинного мозга, вероятнее всего в зоне синаптической передачи. Высказано суждение, что в экстремальных условиях для обеспечения качественного управления движением низкопороговая система уступает место высокопороговой, что в конечном итоге увеличивает резервы системы управления движением.

Ключевые слова: двигательная активность, экстремальные состояния, устойчивость к нагрузкам, функциональные резервы, адаптация, ЛД₅₀ – полублетальная доза облучения, ЛД – летальная доза облучения, первичная реакция на облучение, низкий порог, высокий порог, организация движений, система управления движением.

Введение. Изучение двигательной активности у человека [1] при возникновении экстремальных состояний показало необходимость оценки роли не только всей системы управления движениями (СУД), но и вклада в это управление отдельных структурных элементов этой системы. В настоящее время нами [2] и R.F. Schmidt and G. Thews [9] в СУД включены различные структуры ЦНС (рис. 1), обеспечивающие двигательную активность в экстремальных условиях (подкорковые ядра, мозжечок, красные ядра, ядра спинного мозга).

Эта ситуация привела к поиску модели экстремального состояния у животных, где можно было бы с помощью вживленных электродов изучить роль этих элементов в организации двигательной активности при возникновении экстремальных состояний. Выбор был остановлен на модели первичной реакции, которая возникает у облученных животных, кроме того, выбор определился еще и тем, что стадия тревоги по Г. Селье [5], развивающаяся в процессе адаптации к стрессорным факторам как неспецифическая реакция, схожа с реакцией на лучевой стресс [3] и характеризует появление экстремального состояния.

Одним из наиболее ярких проявлений первичной реакции при лучевой болезни, особенно при больших дозах, является снижение двигательной активности. Однако место локализации блока, вызывающего эти изменения, определить достаточно сложно. Отчасти это связано с тем, что СУД представляет собой иерархическую структуру, включающую как элементы центральной нервной системы, так и афферентные и эфферентные системы, исполнительный аппарат; отчасти – с методическими трудностями изучения данных элементов у различных видов исследуемых объектов и проблемой аппроксимации данных с одного объекта на другой. Сложным является и определение гиподинамического синдрома при первичной реакции на облучение как защитной реакции организма с целью компенсации возникшего экстремального состояния или как результат поломки СУД.

Ряд авторов [4] считают, что снижение возбудимости, связанной с общими изменениями в организме в результате развивающихся токсических явлений, приводит и к снижению двигательной активности. Е.В. Трифонов [6], D.S. Jonesetal [8] установили фазные изменения, происходящие в центральной нервной

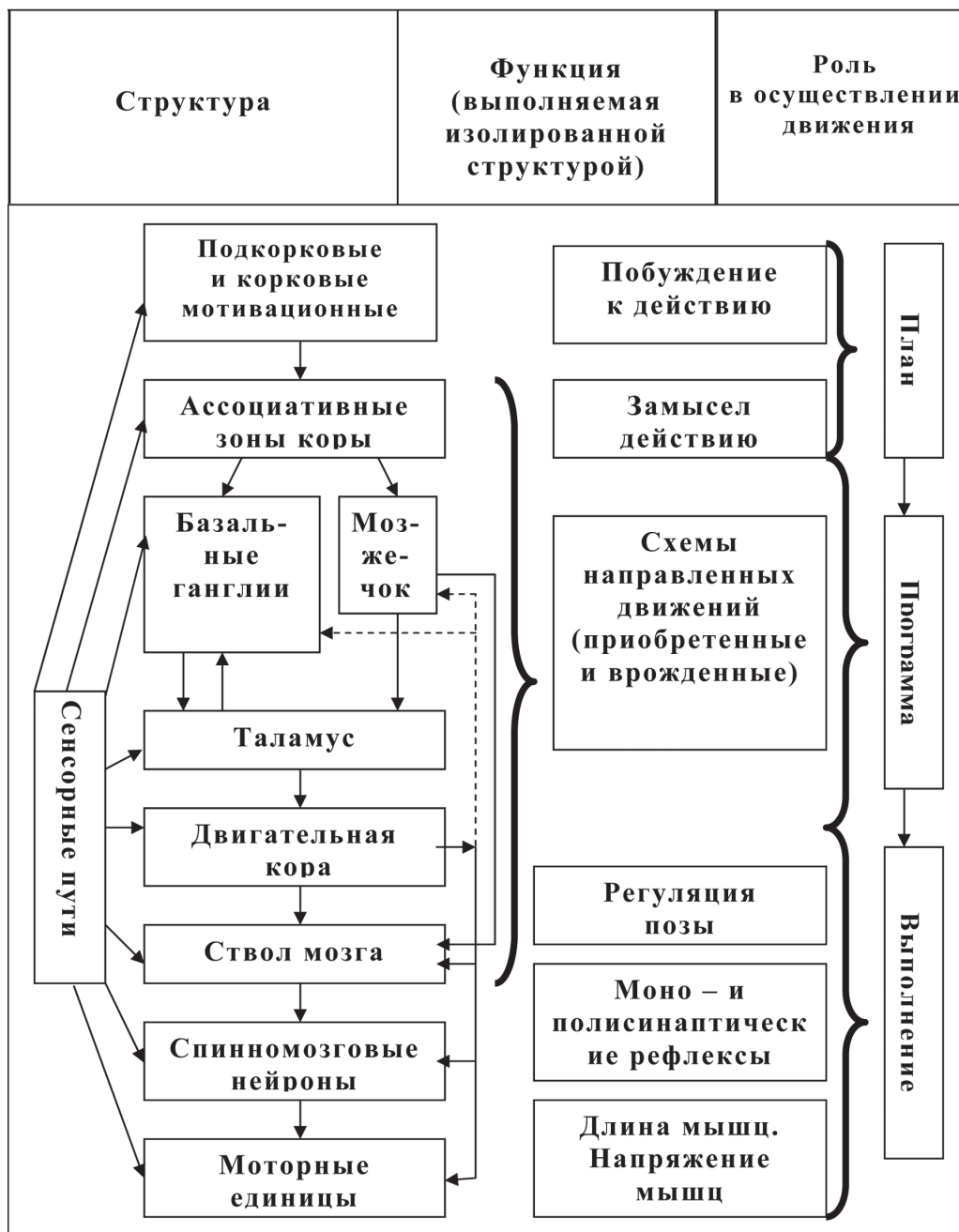


Рис. 1. Общий план структур СУД, обеспечивающих организацию двигательной активности [по 2, 9]

системе (ЦНС), нервной и мышечной ткани при облучении, связывая глубину изменений при первичной реакции на облучение с величиной дозы облучения.

Одни и те же явления могут возникать у разных животных при разных дозах. Наиболее распространенными дозами общего облучения являются летальные дозы (ЛД) или 50% летальные дозы (ЛД₅₀), которые используются как для изучения физиологических изменений в организме при облучении, так и для профилактики лучевой болезни.

Материалы и методы. В качестве экспериментальной модели экстремального состояния

организма выбраны облученные животные: лягушки и кошки в период развития первичной реакции на облучение, т.е. первые сутки после облучения. Свойства мышечных волокон, нервных стволов, нейронов и синапсов имеют схожие черты у этих животных и человека. Острые опыты на животных с вживлением электродов в определенные структуры ЦНС: моторную кору, бледный шар, ретикулярную формацию, красное ядро, при общем рентгеновском облучении позволили пролить свет на ряд механизмов, лежащих в основе организации двигательной активности при возникновении экстремальных состояний.

Для изучения возбудимости отдельных структур, входящих в СУД, проведены эксперименты на половозрелых кошках, весом 3–3,5 кг. Им вживлялись электроды в моторную кору, бледный шар, ретикулярную формацию, красное ядро на универсальном стереотаксическом приборе Сентаготаи с использованием стереотаксического атласа мозга кошки Е. Фифковой и Дж. Маршала [7]. Электроды изготовлялись из константановой проволоки, раздражение осуществлялось прямоугольными импульсами длительностью 1 мс, порог возбуждения определялся по появлению минимального сокращения мышц туловища или конечности. Оценка возбудимости седалищного нерва и мышцы проводилась при стимуляции биполярными игольчатыми электродами нерва на задней поверхности бедра и икроножной мышцы по появлению минимального сокращения. После операции по вживлению электродов кошки содержались в общей клетке в течение 5–7 дней, когда у них регистрировались данные. Кроме этого, проведены наблюдения на интактных и облученных лягушках и кошках (вес 4–6 кг). Общее облучение для лягушек составляло для ЛД₅₀– 1000 Р, ЛД – 5000 Р, мощность дозы 80 Р/мин. Кошки получали дозу 500 Р и 1000 Р той же мощности соответственно. Измерялись пороги возбуждения и время проведения возбуждения по структурам системы управления движением. Электроды для регистрации ЛП возбуждения и электромиографического ответа помещались в те мышцы, которые сокращались при стимуляции структур ЦНС. Всего в экспериментах было использовано 200 лягушек и 29 кошек.

Результаты и их обсуждение. Обнаружено, что при облучении дозой ЛД₅₀ в процессе развития первичной реакции (первые сутки) пороги возбудимости нервного ствола не изменяются. При дозе ЛД к концу первых суток возбудимость снижается на 47,2%. При прямой стимуляции мышечных волокон при ЛД₅₀ возбудимость в процессе развития первичной реакции на облучение в них также не изменяется. При общем облучении ЛД уже через 1 ч после об-

лучения наблюдается изменение возбудимости на 10,1%, но далее через сутки после облучения порог возбуждения нормализуется до исходных параметров. Стимуляция седалищного нерва до появления сокращения мышц на контралатеральной стороне позволила фактически определить возбудимость всей рефлекторной дуги у спинальных лягушек. При облучении ЛД₅₀ в первые сутки первичной реакции на облучение возбудимость снизилась в 1,5 раза, а при ЛД – фактически в 2,4 раза. Это свидетельствует о том, что из трех исследованных элементов СУД быстрее всего и сильнее всего страдают элементы спинного мозга, вероятнее всего в зоне синаптической передачи (табл. 1, 2).

Возбудимости структур головного мозга при облучении ЛД₅₀ и ЛД в процессе развития первичной реакции на облучение снижается, порог возбуждения увеличивается в первые сутки после облучения ЛД₅₀ на 67,9–149%, а при облучении ЛД пороги увеличиваются в среднем в 1,5 раза.

Результаты динамики показателей времени проведения возбуждения по структурам системы управления движением у облученных котлов представлены в таблицах 3 и 4. При пороговой стимуляции моторной коры время распространения возбуждения «кора – мышца» до облучения составляет 36,4±4,7мс. При силе тока, равного двум порогам, время проведения возбуждения остается тем же.

При облучении ЛД₅₀ к концу первых суток развития первичной реакции на облучение время проведения возбуждения увеличилось на 7,4%. В ряде случаев, после 1–3 стимуляции, ответная реакция больше не появлялась. При использовании силы раздражителя, равной двум порогам, время проведения возбуждения уменьшилось на 10%. При построении гистограмм распределения времени распространения возбуждения были выявлены две особенности. В процессе развития первичной реакции на облучение при стимуляции силой тока, равной одному порогу, наблюдается сдвиг гистограммы вправо, в более медленную сторону, однако при стимуляции силой тока, равной двум порогам, гистограмма сдвигается в сторону более быстрого реагирования.

Таблица 1

Изменение порога возбудимости структур СУД у лягушек и кошек при облучении ЛД₅₀, M±m

Объект исследования	Структура СУД	До облучения	Через 1 ч после облучения	Через 1 сутки после облучения
Лягушки	Нервный ствол (седалищный нерв)	17,3±0,9	16,5±1,1	16,9±1,2
	Рефлекторная дуга	156±22	272±21*	382±2,5*
	Скелетная мышца (прямое раздражение)	38,1±2,1	38,3±1,7	37,9±2,9
Кошки	Моторная кора	20,3±0,4	20,4±0,7	34,1±1,5*
	Бледный шар	16,1±0,8	16,3±0,6	27,3±1,3*
	Ретикулярная формация	15,4±0,3	15,3±0,6	29,3±1,1*
	Красное ядро	12,3±0,6	12,4±0,5	30,7±0,9*

Примечание: * – различие по сравнению с исходными данными, p<0,05.

Таблица 3

Динамика времени проведения возбуждения по структурам СУД у облученных котов (LD_{50}) при силе стимула, равной порогу, мс ($M \pm m$)

Объект исследования	До облучения	Через 1 ч после облучения	Через 1 сутки после облучения
Кора – мышца	36,4±4,7	37,1±5,8	38,3±5,9*
Кора – бледный шар	6,1±0,1	6,1±0,1	5,9±0,1
Бледный шар – ретикулярная формация	5,6±0,1	5,7±0,1	5,6±0,1
Ретикулярная формация – красное ядро	5,6±0,1	5,6±0,1	5,5±0,1
Красное ядро – мышца	17,3±2,4	18,7±3,1*	20,1±4,9*

Примечание: * – различие по сравнению с исходными данными, $p < 0,05$.

Таблица 4

Динамика времени проведения возбуждения по структурам СУД у облученных котов (LD_{50}) при силе стимула, равной двум порогам, мс ($M \pm m$)

Объект исследования	До облучения	Через 1 час после облучения	Через 1 сутки после облучения
Кора – мышца	36,4±4,7	37,1±6,9	32,8±3,1*
Кора – бледный шар	4,7±0,1	4,8±0,1	4,6±0,1
Бледный шар – ретикулярная формация	5,6±0,1	5,7±0,1	4,7±0,1*
Ретикулярная формация – красное ядро	5,5±0,1	5,1±0,1*	4,8±0,1*
Красное ядро – мышца	17,3±2,4	16,8±3,1	15,8±1,9

Примечание: * – различие по сравнению с исходными данными, $p < 0,05$.

Таким образом, выявлен факт существования двух эфферентных систем, одна из которых является медленно проводящей, другая – быстро проводящей возбуждение. Расчет распространения возбуждения кора – бледный шар, бледный шар – ретикулярная формация, ретикулярная формация – красное ядро, красное ядро – мышца показывает, что максимальное ускорение проявляется на участке бледный шар – красное ядро. Однако, даже на участке кора – бледный шар, где уменьшение времени поведения возбуждения составляет всего 2,1%, в гистограмме распределения времени проведения возбуждения выявляется сдвиг влево при стимуляции силой раздражителя в два порога.

Видимо, в красном ядре существуют два типа нейронов, высоко – и низкороговые, и явления изменения времени распространения возбуждения связаны с функциями этих нейронов. Вероятно, низкороговые нейроны имеют полисинаптические пути, связанные с

нейронами спинного мозга, а у высокопороговых нейронов эти пути до спинного мозга являются моно- и дисинаптическими, что значительно уменьшает время центральной задержки.

У кошек обнаружены такие же свойства в двигательных нервных центрах и других структурах СУД (бледный шар, ретикулярная формация, моторная кора). Вероятно при возникновении экстремального состояния, когда по тем или иным причинам низкороговые нейроны выключаются из реагирования (расход функциональных резервов, запредельное торможение, разрушение), управление мышечной активностью переключается на новые пути (низкороговые нейроны) с более высокой скоростью проведения возбуждения.

Оценка параметров длительности электромиографического ответа при стимуляции структур СУД, находящихся в ЦНС представлена в таблицах 5 и 6.

Таблица 5

Изменение длительности электромиографического ответа при действии порогового и надпорогового раздражителей на структуры СУД кошек (LD_{50}), мс ($M \pm m$)

Объект стимуляции	Стимул, равный порогу		
	до облучения	через 1 ч после облучения	через 1 сутки после облучения
Кора моторная	511±76	516±85	515±58
Бледный шар	513±48	514±59	515±64
Красное ядро	507±51	509±54	517±79*
Ретикулярная формация	497±65	499±61	473±68*

Примечание: * – различие по сравнению с исходными данными, $p < 0,05$.

Изменение длительности электромиографического ответа при действии порогового и надпорогового раздражителей на структуры СУД кошек (ЛД₅₀), мс (M±m)

Объект стимуляции	Стимул, равный двум порогам		
	до облучения	через 1 ч после облучения	через 1 сутки после облучения
Кора моторная	534±69	527±74	530±91
Бледный шар	535±58	514±78*	531±85
Красное ядро	514±54	509±65	541±74*
Ретикулярная формация	524±61	499±69*	488±69*

Примечание: * – различие по сравнению с исходными данными, p<0,05.

Выявлено, что при ЛД₅₀ у котят в течение первых суток первичной реакции на облучение длительность миографического ответа при пороговой стимуляции фактически не меняется.

При предъявлении стимула, равного двум порогам, уже через 1 ч после облучения появляется одностороннее уменьшение электро-миографического ответа при активации как моторной коры, так и бледного шара, красного ядра, ретикулярной формации. Это свидетельствует о том, что уже в первые часы развития первичной реакции на облучение, т.е. развития экстремального состояния, устойчивость низкопороговой системы ухудшается, и, видимо, высокопороговая система, имея свой адресат, по-другому обеспечивает электромиографический ответ.

Доказательством этому является и тот факт, что до облучения при применении стимула в два порога, электромиографический ответ увеличивался при возбуждении всех моторных блоков, где располагались вживление электроды. Вероятно, облучение вследствие развития лучевой болезни, в первую очередь снижает реактивность низкопороговой системы. Поэтому во всех случаях снижение двигательной активности кошек свидетельствует о развитии гиподинамических реакций. Однако при применении более сильного раздражителя двигательная активность повышается, вероятно потому, что включается высокопороговая система управления движением.

Однако через 1 сутки после облучения отмечается разнонаправленные реакции. При стимулировании красного ядра электромиографический ответ увеличивается на 5,3%, а при стимулировании ретикулярной формации уменьшается на 14,5%, тогда как при активации силой в два порога моторной коры и бледного шара электромиографический ответ соответствует величинам, равным электромиографическим ответам до облучения.

Косвенное подтверждение наличия реагирования двух функциональных систем, обеспечивающих двигательную активность, выявил D.M. Jones [8], который показал, что степень снижения двигательной активности зависит от мотивационного фактора. Так, исследуя двигательное поведение обезьян, он установил, что слабомотивированное двигательное поведение легко

поражается облучением, в то время, как высокомотивированное изменяется незначительно. Вероятно, мотивационный компонент и является тем внутренним фактором, который способен, включать в управление двигательной активностью высокопороговую двигательную систему.

Заключение. Показано, что в живом организме существуют низкопороговые и высокопороговые структуры, которые способны по-разному обеспечивать управление движением. При экстремальном состоянии низкопороговая система уступает место высокопороговой для обеспечения качественного управления. Следовательно, существует выраженная резервная функция СУД. И хотя, изучая функции человека, нужно иметь в виду, что принципиально новую прибавку в организацию двигательной активности вносят моносинаптические пути пирамидной системы, обнаруженные нами в экспериментах на животных изменения в управлении двигательной активностью при экстремальных состояниях свидетельствуют о наличии и у тех и у других экстремальной высокопороговой СУД. При этом ее активация и связана с возникновением экстремальных состояний.

Литература

1. Голубев, В.Н. Управление двигательной активностью человека при экстремальных состояниях / В.Н. Голубев, П.В. Родичкин // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2013. – № 2 (42). С. 126–133.
2. Голубев, В.Н. Управление двигательной активностью при экстремальных состояниях: Лекция для слушателей 1 факультета ВМА им. С.М. Кирова / В.Н. Голубев. – Л.: ВМА, 1987. – 41 с.
3. Мозжухин, А.С. Химическая профилактика радиационных поражений / А.С. Мозжухин, Ф.Ю. Рачинский. – М.: Атомиздат, 1979. – 190 с.
4. Мозжухин, А.С. Химическая профилактика острой лучевой болезни / А.С. Мозжухин [и др.]. – Л.: ВМА, 1964. – 250 с.
5. Селье, Г. Очерки об адапционном синдроме / Г. Селье. – М.: Медгиз, 1960. – 254 с.
6. Трифионов, Е.В. Оптимальное управление в физиологических системах / Е.В. Трифионов // Физиол. человека. – 1980. – Т. 6, № 1. – С. 153–160.
7. Фифкова, Е. Стереотаксические атласы кошки, кролика и крысы / Е. Фифкова // Электрофизиологические методы исследования. – М.: Иностран. лит., 1962. – С. 384–426.

8. Jones, D.S. Effekt of radiation on performance of volitional activity by adult male rat / D. S. Jones [et al.] // J. Physiol. – 1954. – Vol. 177, № 2. – P. 243–250.
9. Schmidt, R.F. Human Physiology / R.F. Schmidt, G. Thews // Springer-verlag Berlin. Heidelberg. – 1983. – 351 p.
-

P.V. Rodichkin, V.N. Golubev, G.V. Bouzник, V.B. Dergachev, E.A. Dergacheva

United extreme motor activity during dosed radiation

Abstract. *The study of the mechanisms of motor activity in the initial reaction to radiation, as extreme condition, have shown that in vivo there are low-threshold and high-threshold structures, which are different to traffic management. In the study of the excitability of the nerve trunk found that irradiation dose Ld_{50} in the development process of the primary reactions (first day) does not change the excitability threshold. The dose of LD by the end of the first day anxiety is reduced by 47,2%. When exposed to LD within an hour after irradiation we observed modifying excitability. When examining the excitability of brain structures involved in the movements, the irradiation of Ld_{50} and LD found that their anxiety in the process of development of primary reaction to radiation is reduced, increasing excitation threshold within the first 24 hours after exposure the Ld_{50} for 67,9–149%, and when exposed to LD thresholds are increased, on average, 1,5 times. We made a judgment, that under extreme condition low-threshold system gives way to high-threshold one to ensure quality control, which increases the reserves of the motion control system.*

Key words: *motor activity, extreme conditions, resistance to stress, the functional reserves, adaptation, the Ld_{50} – half-lethal dose of radiation, LD – lethal dose of radiation, the primary reaction to radiation, low threshold, high threshold, movement organization, movement control system.*

Контактный телефон: +7-921-904-27-67; e-mail: rodichkin.pavel@gmail.com