

ИЗУЧЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОРКОВЫХ НЕЙРОНОВ В УСЛОВИЯХ ВЫРАБОТКИ ДИНАМИЧЕСКОГО СТЕРЕОТИПА И ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
Cherepovets State University, Cherepovets, Russia

**АРТЕМЕНКОВ****Алексей Александрович**

Доцент, кандидат биологических наук, доцент кафедры теории и методики физической культуры и спорта, чл.-корр. РАН, e-mail: basis@live.ru

ARTEMENKOV Alexey

Associate Professor, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Theory and Methods of Physical Culture and Sports, Corresponding Member. RANS, e-mail: basis@live.ru

Ключевые слова: динамический стереотип, экстремальные нагрузки, пределы работоспособности, за-предельное торможение, утомление.

Аннотация. В данной работе показана актуальность изучения функционирования корковых нейронов для повышения физической работоспособности. В лабораторных условиях нами установлено время выработки динамического стереотипа, время наступления утомления и запредельного торможения в ходе сборки картинки из пазлов. У девушек и юношей при выполнении нагрузки мощностью 3 Вт/кг определены длительность работоспособности нейронов коры и фазы утомления, время наступления утомления и запредельного торможения. В контрольном тесте со ступенчато-возрастающей нагрузкой показано, что у 45,0% испытуемых утомление и запредельное торможение наступают через 6–7 минут работы при мощности нагрузки 130–150 Вт. Предложен новый термин «запредельная работоспособность», который подразумевает возможность деятельности нейронов за верхним пределом работоспособности. Высказана гипотеза о произвольной возбудимости нейронов коры мозга в период запредельной работоспособности. Показано биологическое значение запредельной работоспособности.

STUDY OF THE LIMITS OF THE CAPTIVITY OF CORK NEURONS IN THE CONDITIONS OF DEVELOPMENT OF A DYNAMIC STEREOTYPE AND IN EXTREME PHYSICAL LOADS

Keywords: dynamic stereotype, extreme workout, limits of capacity for work, prohibitive inhibition, fatigue.

Abstract. In this article, the relevance of the study of the functioning of cortical neurons for improving physical performance is shown. In the laboratory, we established the time for the development of a dynamic stereotype, the time of onset of fatigue and transcendental inhibition during the assembly of pictures from puzzles. In girls and boys, when the load is 3W/kg, the working capacity of the neurons of the cortex and the phase of fatigue are determined, the time of onset of fatigue and supernumerary inhibition. In the control test with a step-increasing load, it was shown that in 45,0% of subjects fatigue and transcendental inhibition occur after 6–7 minutes of operation at a load power of 130–150 W. A new term is proposed, «beyond operability», which implies the possibility of the activity of neurons beyond the upper limit of operability. A hypothesis is advanced about the arbitrary excitability of neurons of the cerebral cortex during the period of prohibitive work capacity. The biological value of the supreme operability is shown.

Актуальность исследования. В последнее время стало очевидным то, что современные условия существования человека предъявляют повышенные требования к функциональным системам организма. Физкультурно-спортивная деятельность, тренировки военных и работников специальных служб зачастую связаны с чрезмерными физическими нагрузками, что способствует возникновению запредельных психических состояний. В связи с этим возникает крайняя необходимость более детального и глубокого изучения механизмов обеспечения максимальной и около-максимальной деятельности человека.

Размышляя, как решить эту нейробиологическую задачу, мы пришли к выводу, что необходимо, прежде всего, выявить пределы работоспособности корковых клеток при экстремальных воздействиях. В этой связи возникла идея проведения сравнительного анализа пределов работоспособности и времени наступления утомления и запредельного торможения при выработке стереотипных действий и экстремальных физических нагрузках.

Цель исследования – изучить пределы работоспособности корковых нейронов в условиях выработки динамического стереотипа и экстремальных физических нагрузках.

Организация исследования и испытуемые. Наше исследование состояло из 2 этапов. На первом этапе эксперимента, в котором приняло участие 60 студентов Череповецкого государственного университета (45 девушек и 15 юношей) в возрасте 18–22 лет, проводилось определение времени наступления утомления и запредельного торможения в условиях выработки динамического стереотипа. Каждому испытуемому предлагалось несколько раз подряд собирать картинку из 20 пазлов как можно быстрее, фиксируя при этом время сборки. Увеличение времени, затраченного на выполнение работы, трактовалось нами как наступление непреодолимого утомления и запредельного торможения в ЦНС в условиях монотонии.

На втором этапе определялось время наступления утомления и запредельного торможения при экстремальных физических нагрузках. В качестве экстремальной деятельности для 30 нетренированных девушек и 20 юношей 18–22 лет была выбрана велоэргометрическая нагрузка мощность 3 Вт/кг и ступенчато-возрастающая физическая нагрузка для 40 девушек. Ступенчато-возрастающую нагрузку обследуемые лица

начинали выполнять с 30 Вт, и каждую минуту ее увеличивали на 20 Вт. Отказ от выполнения работы, расценивался как наступление непреодолимого утомления и запредельного торможения. Все нагрузочные тесты проводились в условиях медико-биологической лаборатории на велоэргометре фирмы «MONARK». Полученные в ходе исследования данные обрабатывались статистически с помощью параметрического t-критерия Стьюдента.

Методы исследования. Определение пределов работоспособности корковых нейронов осуществлялось косвенным способом. Методологической основой работы по выявлению пределов работоспособности нервных клеток стало давно известный в литературе по физиологии, убедительный и неоспоримый факт, того что сокращение мышцы происходит под влиянием нервных импульсов, направляемых из двигательных зон коры по пирамидному тракту к иннервируемым мышцам. Мы предположили, что работоспособность мышцы напрямую зависит от работоспособности нейронов двигательной зоны коры. Следовательно, время сокращения мышцы соответствует времени работоспособности нейронной двигательной зоны коры. То есть, по физической работоспособности мышц можно установить пределы работоспособности нервных клеток и определить время наступления запредельного торможения по моменту отказа от работы.

Обсуждение результатов исследования. Изучение деятельности человека в условиях выработки динамических стереотипных движений позволило выявить определенную закономерность, которая заключается в снижении времени складывания пазлов в картинку до пятой попытки выполнения задания. Нами установлено, что от первой до второй попытки среднее время складывания пазлов в общую картинку уменьшается с $(2,23 + 0,08)$ до $(1,49 + 0,06)$ м ($p < 0,001$). От второй к третьей и от третьей к четвертой также происходит снижение времени работы соответственно с $(1,49 + 0,06)$ до $(1,24 + 0,06)$ м и с $(1,24 + 0,06)$ до $(0,99 + 0,05)$ м ($p < 0,01$). К пятой попытке среднее время складывания пазлов достигает значения $(0,87 + 0,04)$ м, что, собственно, и является минимальным пределом работоспособности нейронов коры мозга в условиях выработки динамического стереотипа. С шестой попытки время складывания пазлов начинает увеличиваться до $(0,98 + 0,04)$ м за счет формирования утомления и запредельного торможения в структурах ЦНС,

задействованных в ходе многократного повторения монотонных стереотипных двигательных действий.

Проведенное тестирование деятельности нейронов коры при физической нагрузке 3 Вт/кг показало следующие результаты (Таблица 1).

В другом эксперименте была поставлена задача установления пределов наступления запредельного торможения при выполнении ступенчато-возрастающей физической нагрузки. Результаты исследования показали, что запредельное торможение у 45,0% девушек наступает через 6–7 минут при мощности нагрузки 130–150 Вт. Нижний предел работоспособности нервно-мышечного аппарата составляет 70 Вт, а верхний предел – 170 Вт.

Итак, установленные выше пределы работоспособности нейронов коры головного мозга и степень развития в них утомления и запредельного торможения индивидуальны и могут зависеть от ряда факторов: 1) от индуцированной толерантности мозга и протективных эффектов гипоксического посткондиционирования [7]; 2) от нейрональной адаптации кортикоспинальных механизмов регуляции мышечного сокращения у спортсменов к специфическим условиям экстремальной двигательной деятельности [11]; 3) от резистентности организма к экстремальным факторам и показателей гормональной регуляции [10]; 4) от функционирования «сложных» нейронов [1]. Резюмируя вышесказанное, следует полагать, что только комплексный подход к изучению экстремальной деятельности позволит выявить истинные физиологические механизмы экстремальной деятельности [8].

Понятие о запредельной работоспособности и ее биологическое значение. Наши представления

о запредельной работоспособности корковых нейронов основываются на исследованиях И.П. Павлова, который открыл запредельное торможение и показал, что нейроны обладают высокой реактивностью, утомляемостью и истощаемостью [5, 6].

На основе данной работы и многолетних исследований мы пришли к заключению о том, что при значительных умственных и физических нагрузках работоспособность мозга может существенно повышаться за счет произвольного нарастания возбуждения в ЦНС в фазу компенсированного утомления и начала подавления (или предупреждения) другой волны возбуждения. Для понимания сущности явления ему дано несколько описательных названий: «запредельная работоспособность» или «сверхработоспособность». Мы будем пользоваться термином «запредельная работоспособность». Итак, запредельная работоспособность – это деятельность корковых нейронов за верхним пределом работоспособности, возникающая в фазу утомления и формирования запредельного торможения. Механизмом возникновения запредельной работоспособности по всей вероятности служит произвольная возбудимость (сверхвозбудимость) пирамидных нейронов коры. В таком случае управление движениями в экстремальных ситуациях может проходить по следующей схеме: осознание экстремальной ситуации → центральная команда к действию → потенциал готовности быстрых пирамидных клеток Беца макроколонки → высокопороговые α-мотонейроны → быстрые произвольные движения больших групп мышц.

Не исключено, что механизмом повышенной работоспособности может быть процесс

Таблица 1 – Значения работоспособности нейронов коры головного мозга у девушек и юношей при выполнении велоэргометрической нагрузки мощностью 3 Вт/кг

Показатели работоспособности нейронов коры мозга	Девушки, (n=30)			Юноши, (n=20)		
	Нижний предел	верхний предел	среднее	Нижний предел	верхний предел	среднее
Длительность работоспособности нейронов коры, с	25,0	128,0	68,8 + 3,92	50,0	150,0	90,7 + 7,20**
Длительность фазы утомления, с	5,0	64,0	28,0 + 2,41	10,0	132,0	42,0 + 5,10*
Время наступления утомления, с	25,0	128,0	68,8 + 3,92	50,0	150,0	90,7 + 7,20**
Время наступления запредельного торможения, с	33,0	161,0	94,8 + 4,88	90,0	200,0	150,8 + 6,13**

Примечание: * различие достоверно при $p < 0,05$; ** различие достоверно при $p < 0,01$.

растормаживания по И.П. Павлову, заключающийся во временном устранении торможения или повышенная активность нейронных популяций в экстремальной ситуации. Возможно, на нейроны коры оказывается сильное активирующее влияние со стороны ретикулярной формации ствола мозга. Также есть вероятность влияния волевого компонента на двигательную область коры. Не исключено, что в этом процессе немаловажную роль играют процессы концентрации возбуждения в коре мозга и/или влияние глюкокортикоидов и адреналина на активизацию мышечной деятельности [12].

Точные механизмы пока не ясны, но есть много фактов, доказывающих существование данного явления. Например, «конечный порыв», когда в конце дистанции или трудовой смены отмечается кратковременное повышение работоспособности. Развиваемую работоспособность после преодоления мертвой точки также можно считать запредельной, поскольку она возникает при субмаксимальной и большой мощности. В нашей работе у испытуемого К.Г. (19 лет) при педалировании нагрузки мощностью 3 Вт/кг запредельное торможение и непреодолимое утомление возникло спустя 258 с, что почти на 1 минуту выше верхнего предела работоспособности по обследуемой группе юношей. Другой пример, девушка (19 лет) выполняла ступенчато-возрастающую нагрузку 9 минут. Отказ от выполнения работы произошел при мощности работы 200 Вт (максимум по группе для нетренированных девушек 170 Вт). Здесь интересно отметить следующее, что В.П. Губа и В.В. Маринич [3] указывают на то, что резервные возможности человека могут быть заблокированы нервной системой.

В заключение следует отметить и то, что в данной проблеме центральным вопросом является скорость и длительность развития утомления. А.А. Ухтомский считал, что утомление развивается по мере затягивания интервала, требующегося для завершения рабочей реакции, которая предъясняется со стороны нервных центров и снижения лабильности проводящих систем [9]. Имеется мнение, что переход от состояния утомления к переутомлению проявляется ослаблением охранительного торможения и преобладанием процессов возбуждения на фоне дальнейшего снижения возбудимости ЦНС [4]. С точки зрения ресурсного подхода В.А. Бодрова [2] утомление начинается с того момента, когда человек почувствует, что реальная или ожидаемая рабочая

ситуация (нагрузка) представляет собой для него определенную психическую или физическую сложность.

Выводы

1. Выработка динамических стереотипных движений при последовательной монотонной работе по сборке картинки из 20 пазлов происходит к пятой попытке, при этом время работы в среднем уменьшается с 2,23 до 0,87 м. С шестой попытки время сборки пазлов начинает расти, что свидетельствует о развитии утомления и запредельного торможения в ЦНС.

2. Длительность работоспособности нейронов коры и фаза утомления при выполнении велоэргометрической нагрузки мощностью 3 Вт/кг у девушек ниже, чем у юношей. Период наступления утомления и запредельного торможения у девушек возникает раньше, чем у юношей. Нижний и верхний пределы работоспособности нейронов коры у девушек ниже, чем у юношей.

3. При выполнении ступенчато-возрастающей нагрузки у 45,0 % девушек запредельное торможение наступает через 6–7 минут после начала выполнения физической нагрузки при мощности нагрузки 130–150 Вт. Нижний предел работоспособности нейронов коры находится на уровне 70 Вт, а верхний – 190 Вт.

4. Предложен новый термин «запредельная работоспособность», под которым понимают деятельность корковых нейронов за верхним пределом работоспособности в период развития утомления и запредельного торможения. Выдвинута гипотеза о произвольной возбудимости пирамидных нейронов коры мозга. Биологическое значение запредельной работоспособности заключается в увеличении длительности мышечной деятельности при запаздывании утомления.

Литература

1. Аршавский, Ю.И. О роли нейронных сетей и индивидуальных нейронов в работе мозга / Ю.И. Аршавский // Сенсорные системы. – 2011. – Т. 25. – № 1. – С. 3–16.
2. Бодров, В.А. Развитие учения о профессиональном утомлении человека. Часть II. Теоретические положения проблемы утомления / В.А. Бодров // Психологический журнал. – 2010. – Т. 31. – № 4. – С. 83–93.
3. Губа, В.П. Управление резервными возможностями человека / В.П. Губа, В.В. Маринич. – М. : «Спортивная книга», 2011. – 172 с.
4. Маслов, Н.Б. Концептуальные подходы к оценке функционального состояния специалистов в процессе

профессиональной деятельности / Н.Б. Маслов, И.А. Блощинский, Е.А. Галушкина, Д.Ю. Рогованов // Экология человека. – 2012. – № 4. – С. 16–24.

5. Павлов, И.П. Избранные труды / И.П. Павлов. Под редакцией Э.А. Асратяна. – М. : Издательство АПН РСФСР, 1951. – 616 с.

6. Павлов, И.П. Лекции о работе больших полушарий головного мозга / И.П. Павлов. – М. : Издательство «Э», 2017. – 480 с.

7. Самойлов, М.О. Молекулярно-клеточные и гормональные механизмы индуцированной толерантности мозга к экстремальным факторам среды / М.О. Самойлов, Е.А. Рыбникова // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2012. – Т. 98. – № 1. – С. 108–126.

8. Степанова, А.В. Комплексный подход к изучению процессов адаптации человека к экстремальной среде обитания / А.В. Степанова // Вестник Московского университета. – 2010. – Серия 23. Антропология. – № 1. – С. 84–90.

9. Ухтомский, А.А. Избранные труды / А.А. Ухтомский. – М. : Книга по требованию, 2012. – 369 с.

10. Ушаков, И.Б. Резистентность организма к экстремальным факторам: физиологические основы, регуляция, прогнозирование / И.Б. Ушаков, А.С. Штемберг // Успехи физиологических наук. – 2011. – Т. 42. – № 3. – С. 26–45.

11. Фомин, Р.Н. Нейронная адаптация кортикоспинальных механизмов управления мышечным сокращением у спортсменов / Р.Н. Фомин, М.В. Селяев // Физиология человека. – 2011. – Т. 37. – № 6. – С. 76–88.

12. Dum, R.P. Motor, cognitive, and affective areas of the cerebral cortex influence the adrenal medulla / R.P. Dum, D.J. Levinthal, P.L. Strick // Proc Natl Acad Sci U S A. – 2016. – Aug 30. – Vol. 113. – № 35. – P. 9922–9927.

Literature

1. Arshavsky, Yu.I. On the role of neural networks and individual neurons in brain work / Yu.I. Arshavsky // Sensory systems. – 2011. – Vol. 25. – № 1. – P. 3–16.

2. Bodrov, V.A. Development of the doctrine of professional fatigue rights. Part II. Theoretical implications of the fatigue problem / V.A. Bodrov // Psychological journal. – 2010. – Vol. 31. – № 4. – P. 83–93.

3. Guba V.P. Managing human reserve capabilities / V.P. Guba, V.V. Marynich. – М. : «Sports book», 2011. – 172 p.

4. Maslov, N.B. Conceptual approaches to the assessment of the functional state of specialists in the process of professional activity / N.B. Maslov, I.A. Bloshchinsky, E.A. Galushkina, D.Yu. Rogovanov // Ecology of man. – 2012. – № 4. – P. 16–24.

5. Pavlov, I.P. Selected Works / I.P. Pavlov. Edited by E.A. Asratyan. – Moscow: Publishing House of the APN RSFSR, 1951. – 616 p.

6. Pavlov, I.P. Lectures on the work of the cerebral hemispheres / I.P. Pavlov. – Moscow: Publishing House «E», 2017. – 480 p.

7. Samoilov, M.O. Molecular-cellular and hormonal mechanisms of induced brain tolerance to extreme environmental factors / M.O. Samoylov, E.A. Rybnikova // Russian Journal of Physiology. THEM. Sechenov. – 2012. – Vol. 98. – № 1. – P. 108–126.

8. Stepanova, A.V. Comprehensive approach to studying the processes of human adaptation to an extreme habitat / A.V. Stepanova // Bulletin of Moscow University. – 2010. – Series 23. Anthropology. – № 1. – P. 84–90.

9. Ukhtomsky, A.A. Selected Works / A.A. Ukhtomsky. – М. : The book on demand, 2012. – 369 p.

10. Ushakov, I.B. Resistance of the organism to extreme factors: physiological basis, regulation, prediction / I.B. Ushakov, A.S. Shtemberg // Progress in Physiological Sciences. – 2011. – Vol. 42. – № 3. – P. 26–45.

11. Fomin, R.N. Neuronal adaptation of corticospinal mechanisms for controlling muscle contraction in athletes / R.N. Fomin, M.V. Selyaev // Physiology of man. – 2011. – Vol. 37. – № 6. – P. 76–88.

12. Dum, R.P. Motor, cognitive, and affective areas of the cerebral cortex influence the adrenal medulla / R.P. Dum, D.J. Levinthal, P.L. Strick // Proc Natl Acad Sci U S A. – 2016. – Aug 30. – Vol. 113. – № 35. – P. 9922–9927.

