

В.Н. Голубев¹, П.В. Родичкин², В.Б. Дергачёв³

Управление двигательной активностью человека при экстремальных состояниях

¹Научно-исследовательский центр «Арктика», Магадан²Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург³Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Резюме. Значительной проблемой в изучении механизмов управления двигательной активностью в экстремальных условиях является их моделирование. В зависимости от условий деятельности, вида действующих на организм экстремальных факторов, сдвигов и изменений в функционировании систем организма возникают различные функциональные состояния, часть из которых можно отнести к экстремальным. В организме человека существуют элементы системы управления движением, имеющие два уровня мобилизации: низко- и высокопороговые. Вероятно, каждый из этих уровней имеет свой диапазон функционирования. С этой точки зрения можно предположить, что на базе низкопороговых структур осуществляется мобилизация резервов, которые в определенном объеме могут по условно-рефлекторному механизму применяться в широком спектре повседневной двигательной активности. Такой объем резервов, вероятно, может быть достигнут неспецифической тренировкой, связанной с мышечными нагрузками. Что касается высокоспециализированных двигательных актов с одной стороны, и адекватной организации движений при экстремальных условиях работы, с другой, можно предположить включение «экстремальной» системы управления движением.

Ключевые слова: двигательная активность, экстремальное состояние, стрессоустойчивость, функциональные ресурсы, адаптация, утомление, максимальное мышечное усилие, пролонгированная гиподинамия, система управления движением.

Введение. В физиологии труда и спорта широкое распространение получила деятельность в экстремальных условиях, когда в организме человека возникают так называемые экстремальные состояния. Значительной проблемой в изучении механизмов управления двигательной активностью при таких состояниях является их моделирование, поскольку в настоящее время нет единого подхода к характеристике этого состояния. В зависимости от условий деятельности, вида действующих на организм экстремальных факторов, сдвигов и изменений в функционировании систем организма возникают различные функциональные состояния, часть из которых можно отнести к экстремальным [3].

Считается, что длительная гиподинамия может служить моделью экстремального состояния. Очевидно, в данном случае основным ведущим фактором, приводящим к его возникновению, является длительное ограничение подвижности, длительное выключение мышечных структур из тонизирующих влияний на центральную нервную систему [1]. Мышечная деятельность до произвольного отказа теснейшим образом связана с возникновением в организме общего или локального утомления, которое тоже можно отнести к экстремальному состоянию [11]. Отказ от дальнейшего выполнения работы, когда неприятные, часто болевые ощущения, заставляют человека ее прекратить, можно рассматривать как экстремальное состояние. Оно наступает тогда, когда утомление достигает уровня, вызывающего нарушения в деятель-

ности центральной нервной системы. Поэтому этот метод предельных нагрузок широко используется для характеристики функциональных сдвигов при такого рода состояниях [7, 10]. Для утомления в момент отказа от работы характерно нарушение координации движений, дискоординация между работой соматических и вегетативных систем. В активное состояние, как правило, вовлекаются дополнительные мышечные единицы, мышцы и мышечные группы. Эффективность труда падает, приближаясь к нулю при предельно переносимой нагрузке. Принято считать, что в этот момент возникает нарушение адекватности ответа организма требованиям, предъявляемым характером деятельности, т. е. возникает экстремальное состояние. При этом биологическая роль утомления, по мнению ряда авторов [1, 9, 13], заключается в сохранении жизненно важных резервов, тогда как, видимо, резервы, обеспечивающие процессы повседневной деятельности, бывают исчерпанными. Это важно с той точки зрения, что в момент отказа от работы появляется возможность тестирования этих «экстремальных» резервов [8].

В условиях эксперимента, особенно с повышенной мотивацией, можно наблюдать значительную степень утомления при мышечной работе до отказа. В этих условиях, вероятно, значительные изменения должны происходить в различных элементах системы управления движением. Что касается изменений в центральной нервной системе, в том числе и в морфофункциональных структурах, отвечающих

за организацию двигательной активности, то здесь данные противоречивы. Показано, что снижается сенсорная память, нарушается перевод информации из первичной во вторичную память, возникает увеличение латентных периодов двигательных ответов, ухудшаются операции повторения и извлечения из памяти. Оценивая указанные результаты, можно прийти к выводу, что при физических нагрузках эти изменения связаны с повышенным расходом тканями мозга энергии аденозинтрифосфата (АТФ), за счет которой осуществляется эфферентная нейронная активность [5].

При изучении электрической активности мозга при предельных мышечных нагрузках отмечено возрастание амплитуды альфа-ритма и роландического ритма. Показано, что в условиях развивающегося мышечного утомления нарастает феномен повышения взаимосвязанности корковых потенциалов. Этот факт рассматривается как отражение на электроэнцефалографии (ЭЭГ) психофизических процессов мобилизации функциональных резервов мозга для преодоления развивающегося утомления [13].

Морфофункциональные изменения в мышечных структурах при работе до отказа связывают с изменением баланса оксидантной и антиоксидантной систем, большого расхода АТФ и креатинфосфата, накопления недоокисленных продуктов обмена, нарушения возбудимости мышечных волокон [6]. Считается, что при мышечных нагрузках до отказа, особенно локального характера, преимущественное значение имеет микроциркуляция в работающих мышцах. Так, установлено, что при статических нагрузках длительное состояние напряженными мышцами путей оттока крови приводит к застойным явлениям в микроциркуляторном русле, гемостазу в отдельных микроциркуляторных зонах мышц. Это является причиной блока работы и отказа от нее [4].

Еще более сложными являются изменения управления движениями при экстремальных состояниях, связанных с возникновением патологических процессов в структурах, обеспечивающих это управление, например при детском церебральном параличе [9]. Как правило, в этих случаях сложно не только количественно оценить экстремальное состояние, но и определить структуры, ответственные за его возникновение [2, 12, 14].

Таким образом, можно считать, что и длительная гиподинамия, и мышечная работа до произвольного отказа, как глобальная, так и локальная, приводят к утомлению и изменению функций организма. Однако конкретных данных по изменению функций системы управления движением и отдельных ее морфофункциональных элементов при возникновении экстремальных состояний явно недостаточно. Мало разработанным является вопрос и о том, где раньше всего наступает блок обеспечения двигательной активности в этих экстремальных состояниях, каковы механизмы этих явлений.

Цель исследования. Изучить механизмы организации двигательной активности на моделях экстремальных состояний: длительной гиподинамии и мышечной деятельности до произвольного отказа.

Материалы и методы. Проведено несколько серий обследований. В первой серии оценивалось влияние длительной гиподинамии на динамику сенсомоторных реакций. Измерялись: латентный период – время от начала действия раздражителя (свет) до начала движения руки, время реакции – время от начала движения до его окончания (выключение светового раздражителя). В обследовании приняли участие 26 пациентов-мужчин с травмами нижних конечностей. 17 из них (в возрасте 21–40 лет) после иммобилизации имели относительно свободный режим передвижения на костылях или с тростью, другие (9 мужчин в возрасте 32–46 лет) находились на постельном режиме, связанном со скелетным вытяжением. Госпитализация длилась 47–50 суток, обследования проводились в первые сутки и далее через 15, 30 и 45 суток нахождения в клинике. Контрольную группу составили 20 здоровых мужчин в возрасте 18–43 лет.

Для изучения экстремальных состояний, возникающих при физических нагрузках, проведено три серии обследований. В первой серии изучалась динамика показателей латентного периода (ЛП) времени реакции (ВР) при статической работе локального характера до произвольного отказа, когда усилие составляло 25, 50 и 75% максимально возможного и при динамической работе до произвольного отказа. Статическая работа осуществлялась на ртутном динамометре, динамическая – на эргографе Моссо.

Во второй серии изучались показатели системы управления движением при статической и динамической работе до отказа при измененном кровотоке в работающей конечности. С этой целью на мышцы плеча накладывалась манжета, создавалось повышенное давление до тех пор, пока оно не достигало величин, несколько больших систолического давления, измеренного в локтевой ямке. Всего в данных обследованиях участвовало 47 мужчин в возрасте 18–36 лет.

В третьей серии обследований изучены ЛП и ВР у 35 испытуемых при динамической работе на велоэргометре (мощность – 200 Вт) до произвольного отказа.

Для изучения системной деятельности коры больших полушарий головного мозга при мышечной работе до произвольного отказа 20 бегунов на средние дистанции выполняли работу на велоэргометре до отказа (мощность – 200 Вт). Регистрация ЭЭГ проводилась по стандартной общепринятой методике 10/20, с референтным электродом на мочке уха, от 8 областей, принимающих участие в обработке информации при протекании сенсомоторных реакций. Регистрация осуществлялась сидя

на велоэргометре в покое, при работе до появления чувства усталости (по самоотчету), за 2–3 с до произвольного отказа от работы. Анализу подвергались отрезки ЭЭГ длительностью 1700 мс, определялся знак первой производной потенциала по времени и затем рассчитывались частотные характеристики, знаковые коэффициенты парной корреляции (КК) и спектры когерентности (СК) ЭЭГ. При дальнейшей обработке учитывались лишь высокие положительные КК (0,7–1,0), функционально значимые, и высокие значения (max) функций когерентности (свыше 0,7).

Результаты и их обсуждение. Изменения показателей сенсомоторной реакции у больных и здоровых людей при длительной гиподинамии представлены в таблице 1. Показано, что в контрольной группе на протяжении всего периода обследования происходят незначительные изменения этого показателя от 239±6мс до 246±5 мс, максимальные колебания составляют всего 2,9%.

У больных с иммобилизацией конечности и свободным двигательным режимом (без гиподинамии) в первом периоде ЛП сенсомоторной реакции значительно больше стандартных показателей и составляет 270±8 мс. Но по мере заживления и адаптации к условиям измененного режима ЛП уменьшается и на 15 сутки статистически значимые различия по отношению к фону исчезают. В дальнейшем этот показатель не отличается до конца гиподинамии от аналогичных показателей контрольной группы.

У больных с постельным режимом динамика ЛП сенсомоторной реакции имеет существенные различия с группой со свободным двигательным режимом. Если в первые сутки большое значение ЛП сенсомоторной реакции, равное 287±10 мс, можно объяснить полученной травмой, то дальнейшее его увеличение на 15 сутки до 315±14 мс, на 30 сутки – до 238±18 мс, т.е. на 14,3% по сравнению с первыми днями гиподинамии, вероятно связано с гиподинамическим фактором. Дальнейшее действие гиподинамии на центральную нервную систему и, в частности, на структуры, формирующие ответ и проведение его до мышц, приводит к еще большему увеличению ЛП сенсомоторной реакции. Такое статистически

значимое увеличение ЛП сенсомоторной реакции может возникать, вероятно, в случае нарушения, с одной стороны, скорости формирования программы двигательного акта, с другой, снижения скорости проведения возбуждения по структурам центральной нервной системы. Время двигательной реакции у здоровых испытуемых в среднем равно 168–170 мс, что подтверждают ранее полученные аналогичные данные другими авторами. После травмы время двигательной реакции у больных со свободным режимом на 38,7% больше, чем в контрольной группе, что свидетельствует о том, что и в мышечных структурах, не поврежденных непосредственно травмой, вероятно, за счет центральных влияний, наступает ухудшение функционального состояния. И только по мере адаптации к условиям нового двигательного режима этот показатель восстанавливается на 30 сутки, достигая 175 мс.

У больных с постельным режимом время реакции сразу после травмы такое же, как и у пациентов со свободным двигательным режимом. По мере развития гиподинамического синдрома время двигательной реакции увеличиваются до 274±18 мс, т.е. на 19,1% по сравнению с первым днем гиподинамии. Однако на 30 сутки происходит уменьшение времени реакции до 226±19 мс. На этом уровне происходит стабилизация этого показателя при дальнейшей гиподинамии. На 45 сутки время реакции равно 238±18 мс. Это свидетельствует о том, что существует гетерохронное изменение возбудимости структур системы управления движением, по мере развития гиподинамии эти изменения приобретают однонаправленный характер.

Среди многочисленных изменений, сопровождающих развитие гиподинамии, существенное значение имеет снижение афферентного потока от мышечных рецепторных элементов. Деафферентация показала, что уменьшение афферентного потока нарушает регуляцию двигательных актов [15]. Снижение возбудимости центральных структур системы управления движением, очевидно, является одной из главных причин, если не ведущей, в увеличении ЛП сенсомоторной реакции. Таким образом, экстремальное состояние, возникающее при длительной гиподинамии,

Таблица 1

Динамика ЛП и ВР при длительной гиподинамии у больных с травмами нижних конечностей, мс (M±m)

| Группа | Показатель | 1-е сутки | 15-е сутки | 30-е сутки | 45-е сутки |
|--------------------------|------------|-----------|------------|------------|------------|
| Здоровые | ЛП | 239±6 | 246±5 | 239±6 | 242±5 |
| | ВР | 168±9 | 167±9 | 162±8 | 170±9 |
| Больные без пост. режима | ЛП | 270±8 | 250±7 | 241±9 | 242±7 |
| | ВР | 233±4 | 198±10* | 175±9* | 171±12* |
| Больные с пост. режимом | ЛП | 287±10 | 315±14* | 328±18* | 340±23* |
| | ВР | 230±15 | 274±18* | 226±19 | 238±18 |

Примечание: * – различие величин показателей первых суток от других сроков p<0,05.

сопровождается снижением возбудимости элементов системы управления движением, а величина этого снижения определяет величину понижения качества регулирования в системе.

С другой стороны, вероятно, все экстремальные состояния, с резким ограничением сенсорных потоков, будут сопровождаться понижением возбудимости структур системы управления движением. При этом наименее стойкими оказываются структуры, расположенные в коре больших полушарий и подкорковых структурах мозга.

Таким образом, модель экстремального состояния в виде длительной гиподинамии позволила выявить ряд особенностей, связанных с изменением возбудимости структур системы управления движением при возникновении экстремальных состояний и ухудшением качества регулирования и устойчивости функционирования системы в этих условиях.

Результаты исследования показателей сенсомоторной реакции при локальной статической и динамической работе до произвольного отказа представлены в таблицах 2–4. Использование различной величины нагрузки, связанной с максимальным удержанием силового параметра, когда статическое усилие составляло 25, 50 и 75% от максимального, показало, что после произвольного отказа от работы существует статистически значимое увеличение ЛП в момент отказа от работы (табл. 2).

Отмечено, что у части испытуемых в момент отказа от работы ЛП сенсомоторной реакции был меньше, чем в исходном состоянии. Анализ этого явления позволил выделить три вида направленности реакции ЛП (табл. 3). Первый вид характеризуется уменьшением ЛП в момент отказа от работы. При этом в зависимости от выполняемой статической работы процентное соотношение количества ответов так же различное. При работе с усилием в 25% от максимума уменьшение ЛП наступает у 15%, при усилении в 50% от максимального – у 10%, при усилении в 75% от максимального – у 5% обследованных. При динамической работе до произвольного отказа число ЛП сенсомоторных реакций, имеющих тенденции к уменьшению, возрастает до 20%.

Второй вид направленности ЛП сенсомоторной реакции характеризуется ее увеличением в момент произвольного отказа от работы. При этом процент этих реакций также зависит от выполняемой статической работы. При работе с усилием в 25% от максимального увеличение ЛП сенсомоторной реакции в момент прекращения работы возникает у 50% обследованных, при усилении в 50% от максимального – у 65%, при усилении в 75% максимального – у 75% обследованных. Третий вид направленности реакций характеризуется тем, что величины ЛП сохраняются в пределах величин, характерных для фоновых исследований. Это свидетельствует о том, что существует различная реакция со стороны системы управления движением на локальную физическую статическую и динамическую работу до произвольного отказа.

На основании первичных данных были построены гистограммы распределения ЛП сенсомоторных реакций. При статической работе до отказа при усилении 25% от максимального, при первом типе направленности происходит сдвиг ЛП влево в сторону уменьшения по сравнению с исходными данными, при втором типе реагирования наблюдается не только сдвиг ЛП вправо, но и увеличение вариантов ответа. Третий тип реагирования характеризуется, наоборот, уменьшением распределения ЛП сенсомоторной реакции.

При статической работе до произвольного отказа при усилении 50% от максимального при первом типе направленности реакции ЛП после работы уменьшается, однако размах распределения остается прежним, как при усилении 25% от максимального. При втором типе направленности реакции наблюдается существенный сдвиг распределения ЛП вправо, при третьем – появляется два типа реагирования: с укорочением и удлинением ЛП, то есть было реагирование и по первому и по второму типам. При статической работе до произвольного отказа, когда усилие составляло 75% от максимального, изменения распределения ЛП аналогичны изменениям при усилении 50% от максимального, но менее выражены. При динамической работе до произвольного отказа гистограммы распределения ЛП сенсомоторных реакций схожи с гистограммами распределения ЛП при статическом усилении 50% от максимального.

Таблица 2

Динамика ЛП сенсомоторной реакции при статической работе и динамической работе до произвольного отказа, мс (M±m)

| Работа | Усилие, % от макс. | До работы | После работы |
|--------------|--------------------|------------|--------------|
| Статическая | 25 | 239,5±13,4 | 255,0±18,3* |
| | 50 | 224,6±17,6 | 258,6±15,6* |
| | 75 | 241,6±15,9 | 250,0±14,8* |
| Динамическая | до отказа | 225,5±11,4 | 238 ± 10,5* |

Примечание: * – различия в показателях до и после работы p<0,05.

Таблица 3

Соотношение различных видов направленности ЛП сенсомоторных реакций у испытуемых при статической и динамической работе до произвольного отказа, %

| Работа | Усилие, % от макс. | Уменьшение ЛП | Увеличение ЛП | Сохранение ЛП |
|--------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|
| Статическая | 25 | 15 | 50 | 35 |
| | 50 | 10 | 65 | 25 |
| | 75 | 5 | 75 | 20 |
| Динамическая | до отказа | 20 | 55 | 25 |

Здесь также при укорочении ЛП после работы происходит сдвиг гистограмм влево. При втором типе реагирования распределение ЛП сдвигается вправо, при третьем – наблюдается также разделение на две части.

Таким образом, при экстремальном состоянии, когда в результате локальной мышечной работы наступает произвольный отказ от деятельности, выявляются два типа реакций. Первый характеризуется укорочением ЛП сенсомоторной реакции. Это может быть связано, во-первых, с тем, что предъявленная нагрузка не является экстремальной и тогда ЛП сенсомоторной реакции не изменяется или даже уменьшается. Во-вторых, возможно включение дополнительных функциональных резервов в процессе работы до произвольного отказа, что приводит к удлинению ЛП сенсомоторной реакции. Однако выявлена и третья направленность реакции, когда при усредненном показателе ЛП его длительность при произвольном отказе от деятельности в результате утомления не меняется. При этом построение индивидуальных гистограмм распределения ЛП показало двойное реагирование: и с укорочением и с удлинением ЛП реакции.

Поскольку у каждого испытуемого делали 10 регистраций сенсомоторной реакции до и после работы, то, возможно, в процессе регистраций, время которых составляло около минуты, могли проявляться и первый, и второй тип реагирования.

При статическом усилии в 25% от максимального к моменту произвольного отказа время двигательной реакции увеличивается на 11,2%. При усилии в 50% максимального статистически значимых различий между показателями до и после работы нет (табл. 4).

Статическая работа, выполняемая пациентами до отказа при статическом усилии 75% от максимального, привела к укорочению времени реакции на 17,7%. Динамическая работа до произвольного отказа увеличила ВР на 6,2%, а построение гистограмм распределения времени реакции при статической работе до отказа, когда статическое усилие равно 25% от максимального, выявило существенный сдвиг распределения вправо и значительное увеличение размаха

распределения. При усилии в 50% от максимального в момент отказа от работы такого сдвига не наблюдается, однако размеры гистограммы распределения ВР значительно шире, чем фоновые.

Второй тип реакции характерен для развития утомления или снижения возбудимости центральных структур системы управления. При статическом усилии в 75% от максимального при произвольном отказе от работы выявлен сдвиг гистограммы распределения времени двигательной реакции влево и значительное расширение ее размеров. Гистограмма распределения времени двигательной реакции при локальной динамической работе до произвольного отказа характеризуется некоторым сдвигом вправо и увеличением размеров. При работе до отказа, когда статическое усилие составляет 25% от максимального, увеличение времени двигательной реакции, вероятно, происходит потому, что длительность работы при малых усилиях во много раз больше, чем при больших усилиях. За это время расходование запасов АТФ значительно больше. Накопление недоокисленных продуктов в мышечных волокнах, изменение рН приводят к изменению упруговязких свойств, и как следствие, к изменению скоростных двигательных качеств, что и отражается на увеличении времени двигательной реакции.

Работа до отказа связана, вероятно, с включением в нее главным образом медленных мышечных волокон, которые по своим физиологическим характеристикам, отличаясь от быстрых, более медленно сокращаются, следовательно, и время двигательной реакции будет большим, чем до работы. Увеличение гистограммы распределения, видимо, и отражает включение в сенсомоторную реакцию не только быстрых, но и медленных мышечных волокон.

Аналогично изменения происходят и при других видах статической работы до отказа. Этот вид работы приводит к тому, что происходит перераспределение участия различных двигательных волокон в двигательной реакции. При этом, чем величина статического усилия больше, тем больший процент медленных мышечных волокон исключается из двигательного акта, а оставшиеся быстрые двигательные волокна обеспечивают уменьшение времени двигательной реакции, что и выявлено при исследовании статической работы до произвольного отказа при усилии 75% от максимального. Гистограммы распределения времени двигательной реакции при динамической работе до отказа близки по своим характеристикам к таким же гистограммам при статической работе при усилии 50% от максимального. Вероятно, эти два вида деятельности до произвольного отказа имеют схожие черты расходования функциональных резервов мышцы, которая выполняет работу до отказа.

Таким образом, система управления движением при возникновении экстремального состояния при таком виде работы, когда в ее осуществлении заняты

Таблица 4

Динамика ВР при статической и динамической работе до произвольного отказа, мс (M±m)

| Работа | Усилие, % от макс. | До работы | После работы |
|--------------|-------------------------|-----------|--------------|
| Статическая | 25 | 188,3±7,5 | 209,3±19,8* |
| | 50 | 179,7±9,6 | 181,6±18,4 |
| | 75 | 174,5±8,4 | 143,6±21,1* |
| Динамическая | до произвольного отказа | 182,4±9,3 | 193,6±17,5* |

Примечание: * – различия в показателях до и после работы, p < 0,05.

Таблица 5

Изменения показателей системы управления движением при нарушении кровотока в работающей конечности (M±m)

| Показатель | Исходное значение | Вид воздействия | | |
|---|-------------------|------------------------|--|---|
| | | остановленный кровоток | максимальная статическая работа с остановленным кровотоком | максимальная динамическая работа с остановленным кровотоком |
| ЛП напряжения, мс | 289±5 | 253±8* | 298±6 | 322±7* |
| ЛП с миоэлектрическим компонентом, мс | 349±6 | 319±14* | 358±8 | 368±9* |
| Время достижения максимального усилия, мс | 301±4 | 387±14* | 216±5* | 261±11* |
| Длительность усилия, мс | 857±17 | 790±45* | 709±24* | 945±33* |
| Максимальное усилие, отн. ед. | 46,4±0,5 | 16,7±0,5* | 7,8±0,4* | 10,6±0,5* |
| Время работы, мин | 34±7,5 | 18,6±3,5* | 7,4±2,3* | 8,4±2,6* |

Примечание: * – различия показателей видов воздействия от исходных, p<0,05.

блоки, формирующие и контролирующие двигательную активность, имеет возможность варьировать исполнительным аппаратом, обеспечивая устойчивость функционирования и хорошее качество регулирования в системе.

В целях оценки влияния фактора кровотока в работающей мышце на деятельность системы управления движением проведены исследования, когда кровоток в этих мышцах останавливался. Результаты данных исследований представлены в таблице 5.

Установлено, что изменения кровотока в работающих мышцах статистически значимо изменяют показатели системы управления движением. При этом ЛП сенсомоторной реакции напряжения укорачивается на 12,5%, а ЛП с миоэлектрическим компонентом – на 8,6%. Таким образом, структуры системы управления движением, находящиеся в пределах центральной нервной системы, улучшают реализацию плана двигательной активности. Однако и динамическая, и статистическая работа до отказа на фоне остановленного кровотока приводит к ухудшению этой реализации. Так, при статической работе до отказа происходит увеличение ЛП напряжения на 3,1%, а ЛП с миоэлектрическим компонентом – на 3,6%. Более значительные изменения этих показателей выявляются при динамической работе до отказа, когда ЛП напряжения увеличивается на 11,4%, а ЛП с миоэлектрическим компонентом – на 5,4% соответственно.

Максимальное усилие, характеризующееся полным вовлечением в активность двигательных единиц (ДЕ), при остановленном кровотоке снижается в 2,8 раза, а при статической и динамической работе до отказа на фоне остановленного кровотока в 5,9 и 4,4 раза соответственно. В силу этого, время достижения максимального усилия значительно уменьшается. Влияние глобальной мышечной нагрузки мощностью 200 Вт до произвольного отказа на систему управления движением представлено в таблице 6.

На основании первичного материала были построены гистограммы распределения времени сенсомоторных реакций у каждого испытуемого. Выделено два вида направленности реакций. Первая группа (21 человек) характеризуется увеличением времени реакций, вторая (14 человек) – разнонаправленными сдвигами. Из них у четырех испытуемых время сенсомоторной реакции уменьшилось, что выразилось в сдвиге гистограммы в сторону более коротких ответов, а у десяти человек выявилось 2 пика реакций с укороченным и удлиненным временем реакции.

Таким образом, модель утомления при физических нагрузках разного вида и объема включенности работающих мышц может характеризовать экстремальное состояние. При этом, с одной стороны, для большей части испытуемых такой вид нагрузки обеспечивает появление экстремального состояния, расходование резервов системы управления движением и закономерную динамику сенсомоторных реакций, характеризующую развитие утомления. С другой

Таблица 6

Влияние предельной велоэргометрической нагрузки на параметры простой сенсомоторной реакции, мс (M±m)

| Показатель | Перед нагрузкой | Сразу после нагрузки | На 15 мин после нагрузки |
|--|-----------------|----------------------|--------------------------|
| Длительность реакции, с | 0,24±0,02 | 0,34±0,02* | 0,28±0,07* |
| Устойчивость реакции, с-1 | 14±1,6 | 9±1,9* | 12±1,8* |
| Уровень функциональных возможностей, с-2 | 118±8,8 | 142±9,7* | 193±9,7* |

Примечание: * – отличия от показателей перед нагрузкой, p<0,05.

стороны, у части испытуемых после такой нагрузки, являющейся экстремальной, может функционировать новый уровень управления (а может быть, другая система управления), что выражается в укорочении времени реакций. Третий вид изменений указывает на наличие в реакциях испытуемых обеих компонентов управления, один связан с обычной деятельностью и расходом «текущих» резервов (поздний компонент гистограмм), другой – с использованием «экстремальных» резервов (ранний компонент гистограмм). Тем более, это выражается и в варьировании включения разных по скорости реагирования двигательных единиц.

Заключение. Сложности в моделировании экстремального состояния с целью раскрытия механизмов управления двигательной активностью при их возникновении привели к тому, что единой универсальной модели этого состояния исследователями пока не предложено. В связи с этим тестирование возникновения экстремального состояния, возникающего у человека, пока возможно лишь при его произвольном отказе от работы из-за развития таких изменений, которые приводят к блоку организации двигательной активности в системе управления движением. При состоянии длительной гиподинамии и утомления, возникающего в результате мышечной работы до произвольного отказа, выявлены функциональные нарушения как в структурах центральной нервной системы, так и в мышечных структурах. Это связано, в первую очередь, со снижением возбудимости элементов системы управления движением. При этом раньше эти изменения наступают в структурах центральной нервной системы при состоянии гиподинамии и при отказе от работы в результате глобальной мышечной деятельности, когда уменьшаются корреляционные связи корковых элементов системы управления движением.

Тем не менее, функциональные резервы в организации двигательной активности при появлении экстремального состояния не являются полностью исчерпанными. Выявлены два типа ответов: увеличение времени сенсомоторных реакций и их уменьшение, что подтверждает выдвинутую нами [4] ранее гипотезу о наличии «экстремального» механизма реагирования системы управления движением. Вероятно, и мышечные структуры, имеющие разные типы мышечных волокон и двигательных единиц, способны включаться в экстремальную систему. Показано, что в период адекватности реакций системы управления движением предъявленной физической нагрузке в коре больших полушарий формируется характерная система взаимосвязанной активности, преимущественно в левом полушарии. При возникновении динамического рассогласования функций при предъявленной нагрузке появляется дополнительная система взаимосвязанной активности в правом (субдоминантном) полушарии.

Таким образом, в организме человека существуют элементы системы управления движением, имеющие два уровня мобилизации: низко- и высокопороговый. Вероятно, каждый из этих уровней имеет свой диапазон функционирования. С этой точки зрения можно предположить, что на базе низкопороговых структур осуществляется мобилизация резервов, которые в определенном объеме могут по условно-рефлекторному механизму применяться в широком спектре повседневной двигательной активности. Такой объем резервов, вероятно, может быть достигнут неспецифической тренировкой, связанной с мышечными нагрузками.

Что касается высокоспециализированных двигательных актов, с одной стороны, и адекватной организации движений при экстремальных условиях работы, с другой, можно предположить включение «экстремальной» системы управления движением. Предсоревновательная психологическая настройка, сильный эмоциональный стресс, являющиеся механизмами экстренной мобилизации резервов, в определенных случаях способствуют включению этой системы, о чем свидетельствуют различные высокие достижения спортсменов в показателях двигательной активности [8].

Литература

- Апчел, В.Я. Психофизиологический подход к изучению функциональных состояний человека / В.Я. Апчел // Вестн. балт. пед. акад. – 2002. – Т. II. – Вып. 47. – С. 13–18.
- Бессонова, Л.Б. О сложностях диагностики поражений ЦНС на ранних этапах развития ребенка / Л.Б. Бессонова, Е.Г. Амос // Проблемы реабилитации детей в многопрофильном стационаре. – СПб.: ГУЗ, 2002. – С. 18–19.
- Голубев, В.Н. Некоторые аспекты адаптации двигательной системы спортсменов высокого класса к мышечной деятельности различной направленности / В.Н. Голубев, П.В. Родичкин // Вестн. балт. пед. акад. – 2002. – Т. II. – Вып. 47. – С. 71–76.
- Голубев, В.Н. Организация двигательной активности при облучении и длительной гиподинамии / В.Н. Голубев [и др.] // Клини. патофизиол. – 2008. № 1. – С. 76–85.
- Зинченко, В.П. Психометрика утомления / В.П. Зинченко [и др.]. – М.: МГУ, 1977. – 109 с.
- Лемус, В.Б. Стресс и иммунитет спортсмена: лекция / В.Б. Лемус. – Л.: ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта, 1986. – 38 с.
- Медведев, В.И. Адаптация / В.И. Медведев. – СПб.: Институт мозга человека РАН, 2003. – 584 с.
- Мозжухин, А.С. Пути мобилизации функциональных резервов спортсмена / А.С. Мозжухин [и др.]. – Л.: ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта, 1984. – 132 с.
- Потапчук, А.А. Адаптивная физическая культура с детьми, имеющими нарушения опорно-двигательного аппарата (при заболеваниях ДЦП): метод. пособие / А.А. Потапчук. – СПб.: ГАФК им. П.Ф.Лесгафта, 2003. – 228 с.
- Родичкин, П.В. Регуляция моторных функций у спортсменов высокого класса и ее оптимизация с помощью адаптогенов, антигипоксантов и гипербарической оксигенации: автореф. дисс. ... докт. мед. наук / П.В. Родичкин. – СПб, 2004. – 50 с.
- Розенблат, В.В. Утомление: рук-во по физиол. труда / В.В. Розенблат // . – М.: Медицина, 1983 – С. 227–250.
- Семенова, К.А. Детские церебральные параличи / К.А. Семенова. – М.: Медицина, 1968. – 260 с.

13. Солодков, А.С. Физиологические резервы организма – ведущая проблема физиологии военно-морского труда / А.С. Солодков // Воен.-мед. журн. – 1978. № 10. – С. 66–68.
14. Шипицина, Л.М. Детский церебральный паралич / Л.М. Шипицина, И.И. Мамайчук. – СПб.: Диалектика плюс, 2001. – 272 с.
15. Физиология человека: пер. с англ. / под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. – Т. 1. – М.: Мир, 1996. – 323 с.

V.N. Golubev, P.V. Rodichkin, V.B. Dergachev

Management of motional activity of man in extreme states

***Abstract.** A significant problem in the study of mechanisms of motion activity control in extreme conditions is their modeling. Depending on activity conditions, the type of extreme factors, shifts and changes, effects on the body in the functioning of body systems there are different functional states, some of which can be attributed as extreme. In humans, there are elements of motion control system with two levels of mobilization: the low-and high-threshold. Perhaps each of these levels has its own range of functioning. From this perspective, it can be assumed that on the basis of low-threshold structures to mobilize the reserves, which in a certain volume of conditioned reflex mechanism may be used in a wide range of daily physical activity. This level of reserves is likely to be achieved by non-specific training related to muscular exercises. As to the highly specialized motor acts on the one hand, and adequate organization of movements in extreme conditions, on the other, we can assume the inclusion of «extreme» motion activity control system.*

***Key words:** motional activity, extreme state, resistance to stress, functional reserves, adaptation, fatigue, maximum muscles load, prolonged hypodynamia, movements control system.*

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