

Балтина Т. В.

**ВЛИЯНИЕ СЛЕДОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ФОНОВОЙ ЧАСТОТЫ ИМПУЛЬСАЦИИ МОТОНЕЙРОНА НА ЕГО ВОЗБУДИМОСТЬ**

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2009/5/4.html](http://www.gramota.net/materials/1/2009/5/4.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2009. № 5 (24). С. 19-23. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2009/5/](http://www.gramota.net/materials/1/2009/5/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

Валовое содержание свинца и кадмия на расстоянии от 30 до 50 метров от автодороги незначительно повышается на глубине 0-20 см. По остальным элементам значительных изменений не происходит.

Таким образом, тяжелые металлы (свинец, никель) накапливаются в почве на расстоянии от автодорог в пределах от 30 до 50 метров. С увеличением удаленности от полотна автодороги концентрация подвижных форм тяжелых металлов в верхнем слое почвы уменьшается, валовое содержание практически не изменяется. У марганца наблюдается увеличение концентрации и на более дальних расстояниях. Тем не менее, превышение ПДК всех тяжелых металлов на территории исследуемого участка не обнаружено.

## ВЛИЯНИЕ СЛЕДОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ФОНОВОЙ ЧАСТОТЫ ИМПУЛЬСАЦИИ МОТОНЕЙРОНА НА ЕГО ВОЗБУДИМОСТЬ

*Балтина Т. В.*

*Казанский государственный университет*

### **Введение**

Вопрос о возбудимости импульсирующих мотонейронов и характере их реакции на афферентные послышки представляется интересным, поскольку касается закономерностей управления мышечным сокращением. Уровень возбудимости нервной клетки в определенной степени характеризует фоновая импульсация, отражающая ее функциональное состояние. Считается, что более высокая частота следования импульсов указывает на более высокую возбудимость, а клетки с редкой фоновой импульсацией менее возбудимы [Kernell, 1965, p. 87]. Это подтверждается тем, что при искусственных изменениях возбудимости нейрона путем поляризации его возбудимой мембраны постоянным током, происходят соответствующие изменения частоты фоновой импульсации [Schwindt, Grill, 1982, p. 875]. В литературе существуют различные мнения по вопросу влияния частоты импульсации на вероятные ответы мотонейронов при раздражении афферентов. Некоторые авторы полагают, что импульсная частота действительно влияет на вероятность реакции [Kudina, 1988, p. 576; Kudina, Alexeeva, 1992, p. 345; Piotrkiewicz et al., 1992, p. 252; Jones, Wawa, 1995, p. 1224], с другой стороны, часть авторов сообщает о том, что фоновая частота импульсации не влияет на вероятность реакции [Ashby, Zilm, 1982, p. 41; Miles et al., 1989, p. 628; Turker, Cheng, 1994, p. 225].

Очевидно, что еще одним механизмом изменения возбудимости мотонейрона является течение следовых процессов. После разряда мотонейрона следует так называемая фаза деполяризации, во время которой его возбудимость повышена. У всех мотонейронов хорошо выражена следующая фаза - следовая гиперполяризация (СГП), сопровождающаяся снижением возбудимости [Kernel, 1969, p. 291; Balldissera, Gustafsson, 1974, p. 512; Gustafsson, 1974, p. 1]. Такое снижение возбудимости мотонейрона регулирует его частоту импульсации [Kernel, 1984, p. 122]. Вероятно, что изменение возбудимости мотонейрона в межимпульсном интервале может также влиять и на реакцию активированного мотонейрона.

Целью исследования было определить влияние следовых процессов и фоновой частоты импульсации мотонейрона на его возбудимость и характер изменения частоты импульсации в ответ на афферентную послышку.

### **Материалы и методы исследования**

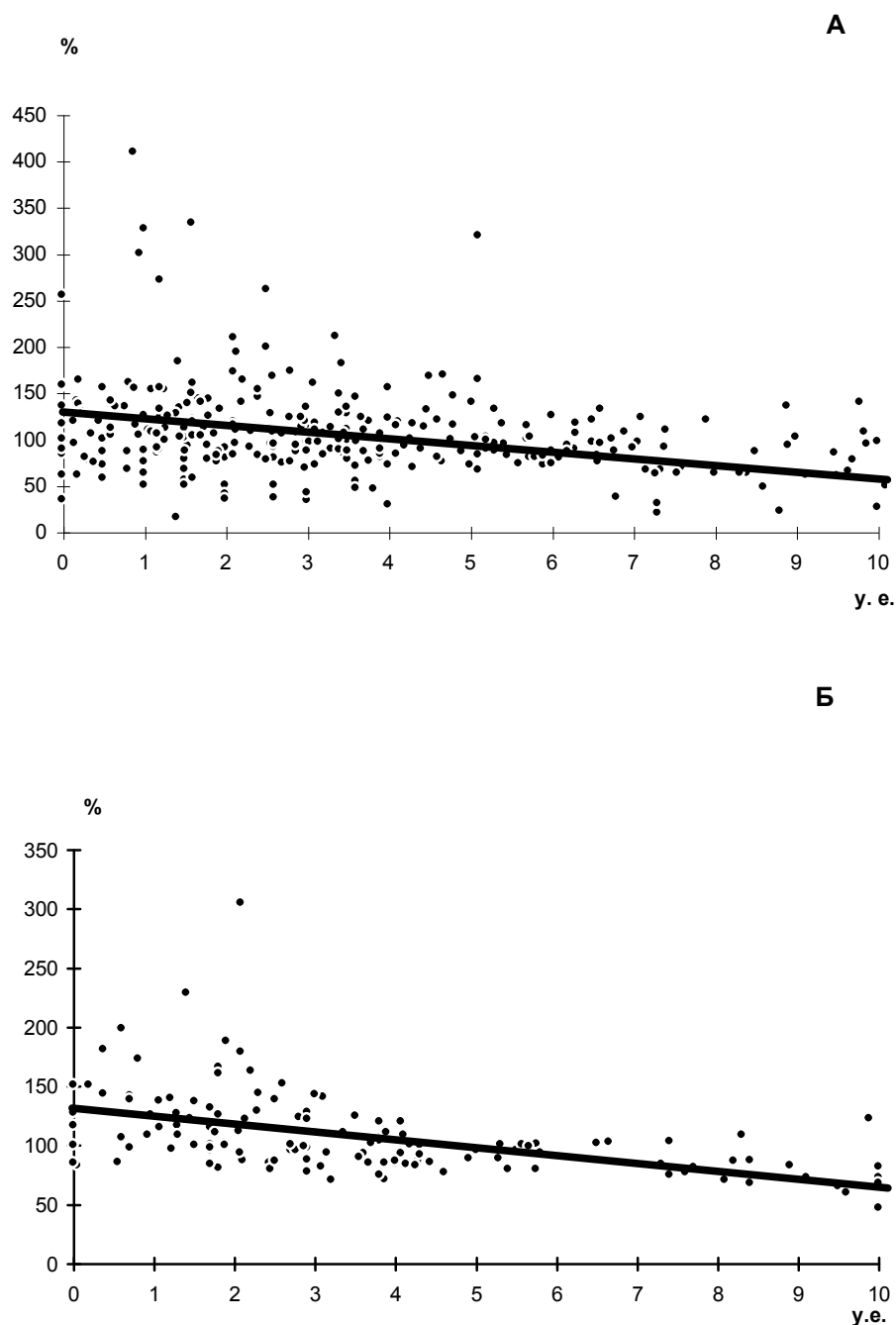
Электрическую активность икроножной и камбаловидной мышц исследовали в острых опытах на 29 спинальных крысах. Опыт начинали через 2 часа после спинализации. Регистрировали активность двигательных единиц (ДЕ) мышц конечности, возникающую при придании животному фиксированной позы при стимуляции седалищного нерва. Отведение потенциалов ДЕ проводили с помощью концентрических электродов, для усиления и регистрации потенциалов использовался стандартный электромиограф «Медикор». Стимуляцию отпрепарированного седалищного нерва осуществляли с частотой 0.5 имп/с. Интенсивность стимула была супрамаксимальной для возникновения моторного ответа икроножной мышцы, длительность стимула 0,5 мс. Регистрировали импульсную активность ДЕ до стимуляции (в течение 1 сек) и после нанесения стимула (1 сек). Определяли изменение межимпульсного интервала в постстимульном периоде в зависимости от момента попадания послышки в межимпульсном интервале и в зависимости от значения престаимульного межимпульсного интервала по ранее описанной методике [Плещинский и др., 1996, с. 25]. При статистической обработке данных был использован пакет прикладных программ «Origin».

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Исследовали реакцию ДЕ на стимуляцию седалищного нерва в зависимости от значения престаимульного межимпульсного интервала (фоновое). Активность ДЕ мышц конечностей поддерживалась около 1.5 часов.

На Рис. 1 представлены результаты изменения частоты импульсации 38 ДЕ. А - для 20 ДЕ икроножной мышцы, Б - для 18 ДЕ камбаловидной мышцы. У ДЕ икроножной мышцы при значении межимпульсного интервала в 2 условные единицы (у.е.) и менее (34% от общего числа тестов) в ответ на афферентные воздействия происходило преимущественно его увеличение в среднем до 157% уровня фона. В среднем для всех двигательных единиц икроножной мышцы крысы в тестах с фоновым значением МИИ в 2 у.е. и менее в 80% тестов интервал изменился не менее чем на 10%, в 47% в сторону увеличения. В тестах с фоновым значением МИИ в 2-4 у.е. (31% от общего числа тестов) его значение изменилось в 69% определений, причем в 41% тестов в сторону уменьшения МИИ до 82% уровня фона. В тестах с фоновым значением МИИ в 4-6 у.е. (16% от общего числа тестов) под влиянием афферентной послышки интервал изменился в 79% тестов

- в 43% в сторону уменьшения в среднем до 76% уровня фона. В 70% тестов с фоновым интервалом 6-10 у.е. (19% от общего числа тестов) наблюдали отклонения от фонового значения не менее чем на 10%, в 55% тестов в сторону уменьшения до 61% уровня фона.



**Рис. 1.** Реакция двигательных единиц икроножной (А) и камбаловидной (Б) мышц крысы на афферентную посылку

Ось абсцисс - престоимое значение межимпульсного интервала, выраженное в условных единицах, где 0 - соответствует минимальному значению межимпульсного интервала, 10 - максимальному. Ось ординат - межимпульсный интервал в постстимульном периоде в процентах от среднего фонового межимпульсного интервала, принятого за 100%. Каждая точка соответствует результату одного теста. Линия - регрессионная кривая.

У двигательных единиц камбаловидной мышцы крысы при значении МИИ в 2 у.е. и менее (36% от общего числа тестов) в ответ на афферентное воздействие преобладала реакция его увеличения в среднем до 142% уровня фона. В среднем для всех двигательных единиц камбаловидной мышцы крысы в тестах с фоновым значением МИИ в 2 у.е. и менее в 71% интервал изменился не менее чем на 10%, в 46% - в сторону увеличения. В тестах с фоновым значением МИИ в 2-4 у.е. (28% от общего числа тестов) под влиянием стимула интервал изменился в 69% тестов - в 39% в сторону увеличения в среднем до 140% уровня фона. В

47% тестов с фоновым интервалом в 4-6 у.е. (14% от общего числа тестов) наблюдали отклонения от фонового значения МИИ не менее чем на 10%, в 42% - в сторону уменьшения до 83% уровня фона. В тестах с фоновым значением МИИ в 6-10 у.е. (22% от общего числа тестов) его значение изменилось в 81% тестов, причем в 71% в сторону уменьшения в среднем до 68% уровня фона.

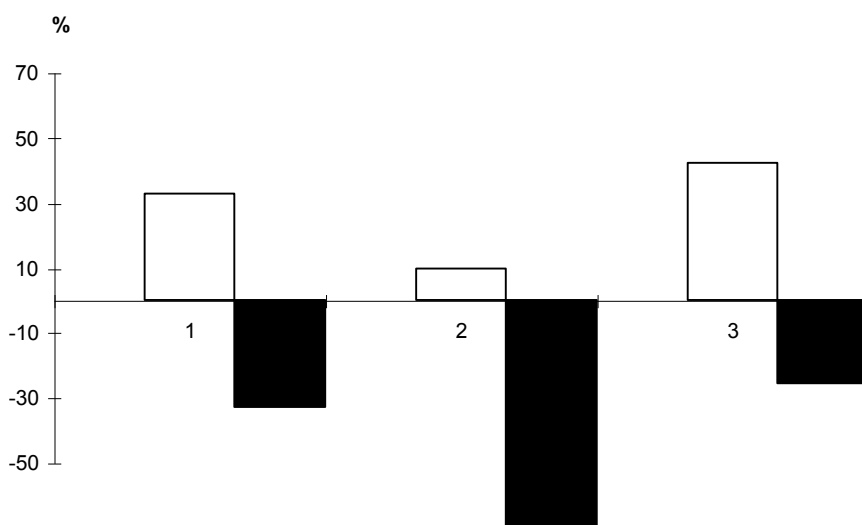
Статистическая обработка выявила линейное достоверное уменьшение МИИ в ответ на афферентную посылку с увеличением собственного МИИ ДЕ, как для икроножной мышцы, так и для камбаловидной мышцы ( $p < 0.0001$ , рис. 1 - линия).

Таким образом, для ДЕ икроножной и камбаловидной мышц характер реагирования на афферентную посылку аналогичен показанной ранее реакции для прямой мышцы живота крысы и мышц кисти человека [Плещинский и др., 1996, с. 25] и может быть представлен как известный феномен бистабильности [Hounsgaard et al., 1988, p. 345]. Наблюдаемые различия в реакциях ДЕ могут быть объяснены разной траекторией ВПСР при низкой и высокой частоте импульсации: считается, что при высокой частоте он имеет более крутой наклон и возбудимость мембраны достигает пороговой величины медленнее, чем при низкой частоте импульсации, что и определяет соответственно, снижение частоты импульсации [Miles, 1997, p. 167]. Наблюдаемое увеличение реактивности ДЕ в низкочастотном диапазоне связывают также с удлинением асимптотической области траектории мембранного потенциала, что увеличивает вероятность ответа на стимуляцию [Miles, 1997, p. 167; Jones, Wawa, 1997, p. 405].

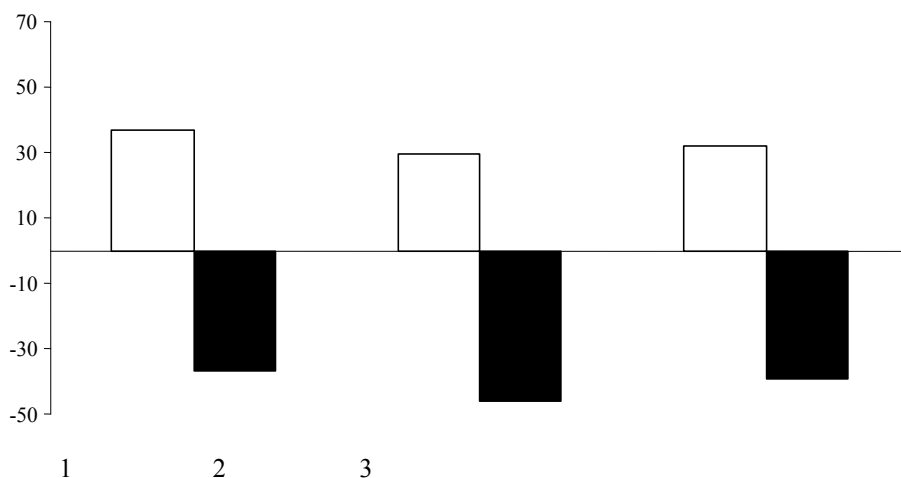
Для определения влияния длительности СГП на возбудимость мотонейронов сравнивали реакцию на стимуляцию седалищного нерва ДЕ медленной - камбаловидной и смешанной - икроножной мышц, импульсирующих с одинаковой средней частотой - 10-12 имп/сек, чтобы исключить влияние частоты импульсации на реакцию ДЕ на стимул [Ashby, Zilm, 1982, p. 41].

Величина среднего МИИ принята за значение СГП для соответствующих мотонейронов, так как известно, что в естественных условиях выявляется такая корреляция у животных [Kernell, 1966, p. 1637]. Результаты тестирования представлены на Рис. 2. Как видно из рисунка для всех тестируемых единиц при попадании афферентной посылки в зону МИИ, соответствовавшего до 50% величины среднего МИИ (до 50% СГП) равновероятным было как увеличение, так и уменьшение постстимульного МИИ. В большей части тестов ДЕ не изменяли характера импульсации. Такое «поведение» мотонейронов вполне согласуется с имеющимися представлениями о снижении возбудимости мотонейронов в начальном периоде СГП. Если же афферентная посылка попадала в зону от 50 до 100% значения среднего МИИ (равного СГП), то у ДЕ чаще регистрировалось увеличение постстимульного межимпульсного интервала. При попадании посылки в зону межимпульсного интервала большую чем значение среднего МИИ (больше СГП) у ДЕ чаще наблюдали уменьшение МИИ. Таким образом меньшее значение СГП мотонейронов икроножной мышцы и большее значение СГП мотонейронов камбаловидной мышцы существенно не повлияло на характер реакции мотонейронов на афферентную посылку, что может свидетельствовать об отсутствии ее связи со значением СГП. Однако суммарный индекс разряда для ДЕ икроножной мышцы был существенно выше, чем для ДЕ камбаловидной мышцы.

### А



## Б



**Рис. 2.** Соотношение различных реакций двигательных единиц икроножной (А) и камбаловидной (Б) мышц при попадании афферентной посылки в различные моменты межимпульсного интервала

1 - интервал от 0 -50% значения среднего МИИ, 2 - 50-100%, 3 - более 100% от значения среднего МИИ; светлые колонки - относительное количество реакций уменьшения МИИ, темные - увеличения МИИ.

Известно, что восстановление возбудимости после очередного разряда у мотонейронов быстрой мышцы происходит существенно раньше, чем у мотонейронов медленной мышцы, что хорошо коррелирует с длительностью следовой гиперполяризации соответствующих мотонейронов, известной из опытов на животных [Kernell, 1965, p. 87] и человеке [Кудина, Чурикова, 1987, с. 595]. Следовательно, приходящий к импульсирующему мотонейрону дополнительный возбуждающий приток при сходной силе и частоте фоновой импульсации должен быть более эффективен для мотонейронов икроножной мышцы, что нами и отмечалось.

Проведенные нами исследования позволяют предположить, что определяющим в реакции ДЕ на стимул является фоновый уровень активности мотонейронов.

#### Заключение

Таким образом полученные результаты показывают, что определяющим фактором характера реакции мотонейронов на афферентную посылку является его фоновая частота импульсации, характеризующая его возбудимость и определяемая собственными свойствами мотонейрона. Различия в возбудимости импульсирующих мотонейронов в большей степени связаны со следовой гиперполяризацией, снижающей ее после очередного разряда. Характер реакции мотонейрона на стимул не зависит от его собственной частоты импульсации.

Исследование проведено в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 07-04-00795).

#### Список использованной литературы

- Кудина Л. П.** Соотношение частоты разряда импульсирующего мотонейрона и эффективности возбуждающей посылки I-а афферентов у человека // *Нейрофизиология*. 1987. Т. 19.
- Плещинский И. Н.** Реакция импульсирующих двигательных единиц на афферентную посылку / И. Н. Плещинский, Т. В. Бабынина, Н. Л. Алексеева, В. Ф. Климова, С. Г. Юнусова // *Физиологический журнал*. 1996. Т. 82.
- Ashby P.** Characteristics of Postsynaptic Potentials Produced in Single Human Motoneurons by Homonymous Group I Volleys / P. Ashby, D. Zilm // *Exp. Brain. Res.* 1982. V. 47.
- Baldissera F.** Afterhyperpolarization Conductance Time Course in Lumbar Motoneurons of the Cat / F. Baldissera, B. Gustafsson // *Acta. Physiol. Scand.* 1974. V. 91.
- Gustafsson B.** Afterhyperpolarization and the Control of Repetitive Firing in Spinal Neurones of the Cat // *Acta Physiol. Scand. Suppl.* 1974. V. 416.
- Houngaard J.** Bistability of a-Motoneurons in the Decerebrate Cat and in the Acute Spinal Cat after Intravenous 5-Hydroxytryptophan / J. Houngaard, H. Hultborn, B. Jespersen, O. Kiehn // *J. Physiol. (Lond.)*. 1988. V. 405.
- Jones K. E.** Computer Simulation of the Responses of Human Motoneurons to Composite Ia EPSPs: Effects of Background Firing Rate / K. E. Jones, P. Bawa // *J. Neurophysiol.* 1997. V. 77.
- Jones K. E.** Responses of Human Motoneurons to Ia Inputs: Effects of Background Firing Rate / K. E. Jones, P. Bawa // *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 1995. V. 73.
- Kernell D.** The Limits of Firing Frequency in Cat Lumbosacral Motoneurons Possessing Different Time Course of Afterhyperpolarization // *Acta Physiol Scand.* 1965. V. 65.

- Kernell D.** Input Resistance, Electrical Excitability and Size of Ventral Horn Cells in Cat Spinal Cord // *Science*. 1966. V. 152.
- Kernell D.** Synaptic Conductance Changes and the Repetitive Impulse Discharge of Spinal Motoneurons // *Brain Res*. 1969. V. 15.
- Kernell D.** The Meaning of Discharge Rates: Excitation of Frequency Transduction as Studied in Spinal Motoneurons // *Arch. Ital. Biol.* 1984. V. 122.
- Kudina L. P.** After-Potentials and Control of Repetitive Firing in Human Motoneurons / L. P. Kudina, N. L. Alexeeva // *EEG Clin. Neurophysiol.* 1992. V. 85.
- Kudina L. P.** Excitability of Firing Motoneurons Tested by Ia Afferent Volleys in Human Triceps Surae // *EEG Clin. Neurophysiol.* 1988. V. 69.
- Miles T. S.** Estimating Post-Synaptic Potentials in Tonicly Discharging Human Motoneurons // *Journal of Neuroscience Methods*. 1997. V. 74.
- Miles T.S.** Ia Reflexes and EPSPs in Human Soleus Motor Neurons / T. S. Miles, K. S. Turker, T. H. Le // *Exp. Brain. Res.* 1989. V. 77.
- Piotrkiewicz M.** Excitability of Single Firing Human Motoneurons to Single and Repetitive Stimulation (Experiment and Model) / M. Piotrkiewicz, L. Churikova, R. Person // *Biol. Cybern.* 1992. V. 66.
- Schwidt P. C.** Factors Influencing Motoneuron Rhythmic Firing: Results from a Voltage-Clamp Study / P. C. Schwidt, W. E. Grill // *J. Neurophysiol.* 1982. V. 48.
- Turker K.S.** Motor Unit Firing Frequency Can Be Used for the Estimation of Synaptic Potentials in Human Motoneurons / K. S. Turker, H. B. Cheng // *J. Neurosci. Methods*. 1994. V. 53.

### АКТИВНЫЙ ОТДЫХ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРИ ОБУЧЕНИИ УЧАЩИХСЯ НА ЭВМ

*Баскакова Г. Н.  
СПбГУ*

Как показала практика, обучение работе на компьютерах нередко приводит к стрессам и переутомлению учащихся. Это снижает успешность закрепления и освоения учебного материала во время занятий по программам информатики и вычислительной техники. Можно сказать, что овладение компьютером - это новая, сложная и часто непосильная задача для учащихся.

Известно, что нервно-эмоциональные перегрузки в сочетании с гиподинамией из-за вынужденной позы во время умственного труда являются ведущим этиологическим фактором роста числа психоневротических состояний [Январева и соавт., 2000; и др.]. Успешность умственной работы, связанная с напряженным визуальным восприятием с мониторингов информативного материала, и его быстрым осмыслением определяется функциональным состоянием коры головного мозга, что показано классическими работами И. П. Павлова и А. А. Ухтомского. Нарушение нормального баланса нервных процессов в результате переутомления приводит к срыву высшей нервной деятельности [Зимкин, 1975].

Актуальной задачей является разработка способов повышения работоспособности и профилактики переутомления обучающихся путем создания благоприятных условий с учетом возрастной физиологии и школьной гигиены [Журавлева (Баскакова), 1990].

Использование различных средств медикаментозного характера в целях профилактики переутомления, снижения концентрации внимания, как показала практика, имеет ряд отрицательных последствий. В связи с этим значительный интерес представляет возможность применения физиологически адекватных способов - в виде дыхательных упражнений, повышения мышечной активности в краткие периоды отдыха, а также применение натурпродуктов, содержащих биологически активные природные вещества. Наиболее действенным путем повышения работоспособности является использование «активного отдыха» [Павлова, 2000].

Нами разработан и апробирован в школах и колледжах комплексный способ повышения работоспособности во время работы за компьютером. Оценка влияния предлагаемого способа на функциональное состояние проводилась по вариационной пульсометрии, частоте дыхания, учитывалось самочувствие и степень усталости. Для проведения исследований были организованы опытные и контрольные группы учащихся (по 20 человек), однородные по возрастному составу и успеваемости при обучении на ЭВМ. Каждый участник занимался по 45 минут, но в контрольных группах - без перерывов. В опытных группах после 20 минут работы давался краткий перерыв, заполненный «активным отдыхом», эти ученики заранее получали инструктаж преподавателя. Применяемые нами интервалы отдыха были выбраны как оптимальные [Патент РФ № 2000125920/14]. Исследования проводились как в течение одного дня, так и в течение месяца. Обнаружено, что занимавшиеся по разработанной методике учащиеся опытных групп лучше усваивали материал в сравнении с контрольными группами.

Полученные результаты показали, что при сочетании ряда факторов «активного отдыха» - гипервентиляции в течение 2-3 минут, сопровождаемой дополнительной мышечной активностью в виде ритмических движений руками в течение 1-2 минут, дополняемые вдыханием испарений морских водорослей повышается умственная работоспособность.

В качестве доказательства положительного влияния активного отдыха приводим показатели вариационной пульсометрии. Замеры вариационной пульсометрии проводились с помощью портативного устройства непосредственно у компьютеров через 20 мин после начала работы, вызывавшей нарушение концентрации