

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

П-1

# ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ СССР

И М Е Н И И . М . С Е Ч Е Н О В А



Том XLVI, № 7

И Ю Л Ъ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

МОСКВА

1960

ЛЕНИНГРАД

**ВСЕСОЮЗНОЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО им. И. П. ПАВЛОВА**  
**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ СССР им. И. М. СЕЧЕНОВА**

Основан И. П. ПАВЛОВЫМ в 1917 г.

Главный редактор Д. А. Бирюков (Ленинград)  
Зам. главного редактора Д. Г. Квасов (Ленинград)

Члены редакционной коллегии:

П. К. Анохин (Москва), С. Я. Арбузов (Ленинград), И. А. Булыгин (Минск),  
Г. Е. Владимиров (Ленинград), И. И. Голодов (Ленинград), В. Е. Делов (Ленинград),  
Е. К. Жуков (Ленинград), Н. В. Зимкин (Ленинград), В. С. Ильин (Ленинград),  
С. П. Нарикашвили (Тбилиси), А. П. Полосухин (Алма-Ата),  
А. В. Соловьев (Ленинград)

Отв. секретарь Ф. П. Ведяев (Ленинград)

## К ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ПАРНОЙ РАБОТЫ БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ ЧЕЛОВЕКА ПРИ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЕ

*Л. П. Павлова и К. С. Точилов*

Лаборатория физиологии труда Физиологического института им. А. А. Ухтомского при Ленинградском государственном университете

Современный уровень наших знаний о системных реакциях позволяет считать, что интегрирующая роль нервной системы осуществляется, прежде всего, по принципу функциональной структуры.

Известно, что каждый рефлекторный акт в той или иной степени вводит в действие всю центральную нервную систему. И. П. Павлов дал представление о «ядре» и рассеянных центрах для любого анализатора. Структурность им понималась как органическое единство анатомической структуры и текущей динамики нервных процессов.

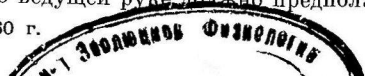
Представление И. П. Павлова о «функционально-комбинационных центрах» как нельзя лучше совпадает с представлениями школы Введенского—Ухтомского о «конstellациях нервных центров», возникающих в результате «сонастраивания» последних по поводу каждой новой деятельности. Это положение нашло свое фактическое подтверждение в работах М. И. Виноградова (1958) и его сотрудников при изучении механизмов упражнения и утомления у человека.

Несомненно, что вопрос о роли парной работы больших полушарий должен найти свое непосредственное выражение в интеграции функций. Интереснейшей особенностью животных организмов является симметричное строение их тела и ц. н. с. С другой стороны, анатомическая симметрия сопровождается функциональной асимметрией парных органов. Явление функционального неравенства парных структур, очевидно, характерно для всех проявлений жизнедеятельности организма и имеет глубокое биологическое значение. Одним из проявлений этого принципа являются механизмы ориентировки в пространстве.

Впервые К. М. Быковым с сотрудниками (1958) было показано, что решающее значение в пространственной ориентировке имеет парность управления со стороны высших отделов головного мозга. Б. Г. Аняевым (1955) и сотрудниками в исследованиях на человеке было выявлено, что взаимодействие обоих полушарий определяет не только бинокулярное, но и монокулярное зрение. С этой же точки зрения были обследованы слух, осязание и мышечная рецепция. Этими же авторами было установлено, что в деятельности парных анализаторов человека с особенной наглядностью проявляется временное функциональное неравенство парных рецепторов. Еще А. А. Ухтомский (1954) считал, что подвижное функциональное неравенство парных рецепторов обусловливается центральными причинами и подтверждает принцип доминанты в нервной деятельности.

Ряд данных позволяет указать на обострение функциональной асимметрии в работе анализаторов человека по сравнению с животными. И прежде всего это касается двигательного анализатора. В процессе онтогенеза у человека происходит условнорефлекторное закрепление функциональной асимметрии во всех анализаторах. Это наблюдается с того момента, когда ребенок получает возможность ходить; одновременно с развитием его речи, второй сигнальной системы у него вырабатывается праворукость. Исторически функциональное неравенство рук человека было обусловлено прямохождением и трудовыми навыками: необходимостью разделить функции рук — одной действовать с помощью орудия труда, в другой иметь предмет труда. Праворукость накладывая отпечаток и на все другие анализаторы. Разделение трудовых функций между обеими руками вносит принципиально новое в структуру и динамику нервной деятельности человека, порождая явление закрепленной функциональной асимметрии во взаимодействии обоих полушарий.

Сам факт преобладания правой руки над левой (у правой) не нуждается в специальных доказательствах. Однако представление о ведущей руке должно предполагать



не только преваширование активности одного полушария над другим, но прежде всего их совместную парную работу. Принципиально неправильным является представление о закрепленной приуроченности правой руки к левому полушарию, а левой — к правому. Этому противоречит медицинская практика, указывающая на чрезвычайную пластичность и замещаемость функций при поражениях правой или левой двигательных областей коры головного мозга. Ряд исследований позволяет считать, что восстановление утраченных движений осуществляется условнорефлекторным путем благодаря наличию рассеянных элементов двигательного анализатора по всей коре головного

мозга и наличию мощных комиссуральных связей между полушариями.

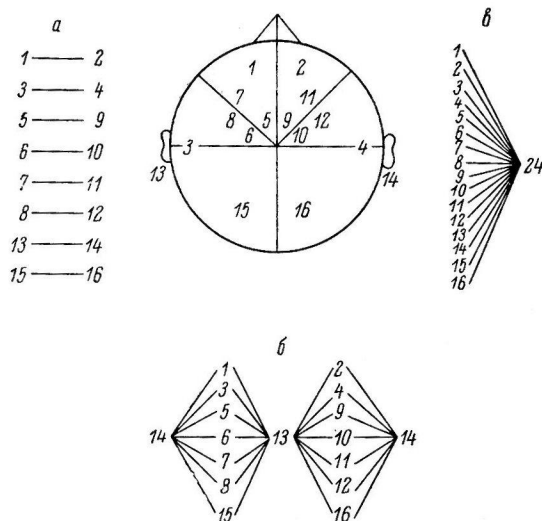


Рис. 1. Схема отведений.

а — биполярно; б — униполярно; в — с одним общим электродом.

или левой рукой в отдельности, поочередные и одновременные сгибательные движения правой и левой рукой. Во избежание резких смещений головы производилась некоторая фиксация корпуса исследуемых за счет упора локтями в подлокотники рабочего кресла и создания опоры для головы. Опыт продолжался около 1½ часов, в течение этого времени исследуемый должен был производить несколько приемов работы, работая до полного отказа, утомления; приемы работы чередовались с короткими отдыхами. По ходу упражнения приемы работы становились все более и более длительными, и в конце концов привычная работа совершалась непрерывно в течение часа и более.

Регистрация биопотенциалов производилась на электроэнцефалографе системы «Альвар» при 13 отведениях с головы и 2 отведениях с работающих мышц (бицепсов правой и левой руки). Схема отведений ЭЭГ дана на рис. 1. Использовалось в основном униполярное отведение (константа времени 0,3, полоса пропускания 0,5).

Активные электроды помещались в симметричных пунктах лобных, височных, теменных и затылочных областей, индифферентные — на мочках ушей. По схеме Крейнлейна устанавливались пункты, наиболее тесно связанные с работой двигательного анализатора: начало сильвиевой борозды (речедвигательный центр Брока в левом полушарии), начало роландовой борозды, зоны руки в передней и задней центральной извилине. В качестве контрольных использовались биполярные отведения межполушарные и междушное, а также отведения с одним общим электродом.

Можно было предполагать, что запись ЭЭГ во время работы будет осложняться наводками биопотенциалов с мышц головы, шеи, жевательных мышц. В контрольных опытах во время работы производилась регистрация потенциалов указанных мышц. В одном из опытов с помощью охлаждения хлорэтилом производилась блокада мышечных пучков под отдельными электродами.

Проведено 65 опытов на 12 здоровых исследуемых лицах. В каждом опыте испытывались указанные выше различные варианты сочетанной работы рук.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Во всех вариантах обнаружались следующие факты. В исходном состоянии «покоя» (сидя, при открытых глазах в полутемной комнате) наблюдался обычный вид ЭЭГ здорового человека: доминирование  $\alpha$ -

Изучая взаимосочетанную работу рук человека в лабораторных условиях, мы столкнулись с рядом фактов, которые заставили нас обратиться к проблеме парной работы полушарий мозга человека в области его двигательного анализатора.

## МЕТОДИКА

Исследуемые, сидя, должны были производить простые сгибательные движения руками, растягивая резину ручных эспандеров (противоположные концы эспандеров были закреплены в стене камеры). Тяговое усилие в конце движения составляло 5—7 кг, темп — около 60 в 1 мин. Были изучены следующие варианты движений: правой

ритма в задних отделах полушарий и частых низковольтных колебаний в передних отделах (рис. 2, I). Из 12 исследуемых у 3 наблюдалась низкая общая активность ЭЭГ с плохо выраженным  $\alpha$ -ритмом. Биполярная и униполярная регистрации указывали на наличие межполу-

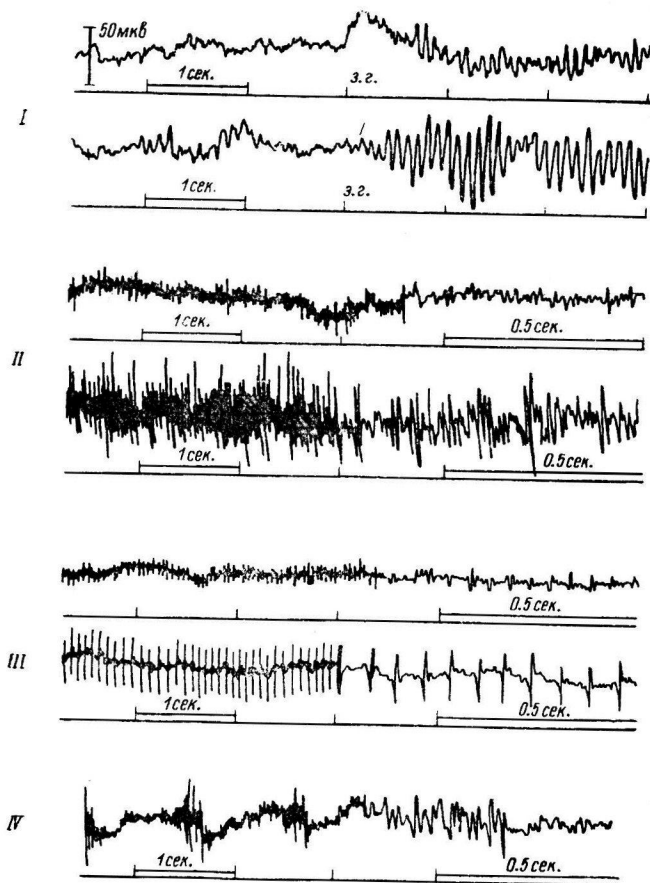


Рис. 2. Характер доминирующих потенциалов ЭЭГ человека в покойном (I) и активном состояниях (II, III, IV).

I — ЭЭГ в состоянии покоя при открытых и закрытых глазах (з. г.); верхняя кривая записана с лобно-теменной области, нижняя — с затылочной области. II — асинхронные потенциалы с частотой 20—80 гц и амплитудой 15—200 мкв; верхняя и нижняя кривые записаны с лобно-теменной области. III — синхронные потенциалы с частотой 17—24 гц и амплитудой 15—200 мкв; регистрация с лобно-теменной области. IV — пачки асинхронных высокочастотных колебаний. Регистрация с лобно-теменной области. В II, III, IV скорость записи в правой части рисунка увеличена.

шарной асимметрии за счет превалирования частых колебаний в левом полушарии у большинства исследуемых (правшей). Межполушарная асимметрия становилась отчетливой, если исследуемый получал звуковые, световые раздражения, слышал речь или говорил сам (также при внутренней речи). Эта асимметрия еще выразительнее проявлялась во время последующей работы. Вид частых колебаний в состоянии исходного «покоя» и при работе был принципиально одинаков и мог иметь асинхронный или синхронный характер (рис. 2, II, III, IV). Сравнение отведений с различных областей показало, что наиболее высокий потенциал частых колебаний наблюдался в задне-лобных отведениях,

височных и несколько ниже — в теменно-лобных отведениях. Затылочные и верхнетеменные отведения давали еще более низкий потенциал частой активности. Синхронизированные колебания с постоянной частотой (17—24 гц), имеющие вид «частоколов» (или «палисадного» ритма по Правдич-Неминскому), наиболее часто появлялись в задне-лобных и височных областях. Контрольные отведения с одним общим электродом, а также непосредственно с мышц шеи, жевательных, височных и лобных мышц не давали прямых оснований считать, что межполушарная асимметрия и сами частые колебания возникли за счет мышечных потенциалов.

Контролем служило также межушное отведение, не дававшее такой разности потенциалов, какая наблюдалась при отведениях с головы. Од-

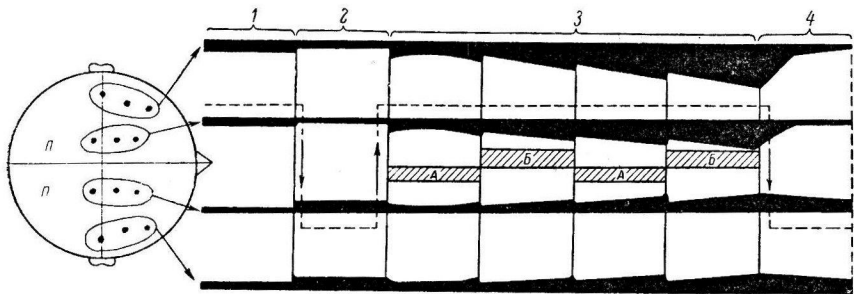


Рис. 3. Общая схема смещения «фокуса активности» в ЭЭГ человека.

Л — левое полушарие; П — правое полушарие. 1 — исходный фон; 2 — предрабочий фон; 3 — во время работы; 4 — после работы: А — правой рукой в течение 10 мин., Б — левой рукой в течение 10 мин. и т. д. Стрелками указано направление смещения «фокуса активности».

нако при значительных напряжениях можно было видеть запетления потенциалов с жевательных и шейных мышц на ушные раковины. Это делает необходимым не только униполярные, но и биполярные отведения. Наибольшие опасения вызывает тот момент, что зона высокочастотной активности находится вблизи височных мышц. Местное охлаждение поверхности головы хлорэтилом под электродами не изменяло вида ЭЭГ и не уменьшало «частоколов», что должно было бы произойти, если бы эта активность была чисто мышечной. Примененные контроли, конечно, не являются исчерпывающими, но все же позволяли думать о корковой природе регистрируемых частых колебаний. «Мышечное одеяло», появляющееся при очень напряженной работе, возникало обычно на стороне работающей руки и не соответствовало расположению фокуса активности в ЭЭГ.

Если обратиться к схеме (рис. 3), то можно видеть, что в состоянии, которое мы назвали предрабочим фоном (иначе говоря, в состоянии ожидания работы, «оперативного покоя», по А. А. Ухтомскому), межполушарная асимметрия определялась превалированием частых колебаний уже не в левом, но в симметричных областях правого полушария. Следовательно, в период «оперативного покоя» происходило смещение «фокуса активности» из левого полушария в правое. По ходу упражнения уже с самого начала опыта можно было наблюдать «фокус» справа.

Начало мышечной работы снова вызывало перемещение «фокуса активности» в левое полушарие (рис. 3). Независимо от характера движения (правой рукой, левой, двумя вместе) наблюдалось превалирование частых колебаний в левом полушарии по сравнению с правым у подав-

ляющего большинства исследуемых (рис. 4). В начале работы наиболее высокий потенциал частой активности наблюдался в лобно-височных, височно-теменных и височно-затылочных отведениях с левого и правого полушарий. Затем по ходу работы происходила иррадиация частых колебаний на лобные, теменные и затылочные области. В послерабочий период «фокус активности» на некоторое время смещался в симметричные области правого полушария (рис. 3).

Полученные факты позволяют, с одной стороны, говорить о том, что при любых вариантах работы руками одновременно участвуют оба полушария: частые колебания, свидетельствующие о возбуждении, наблюдаются и в левом и в правом полушарии при работе только правой или только левой рукой. С другой стороны, наблюдается преимущественное превалирование активности левого полушария над правым (исключая предрабочий и послерабочий периоды, о чем сказано ниже).

Однако смещение «фокуса активности» из левого полушария в правое могло наблюдаться и по ходу выполнения работы. Это происходило в моменты преодоления утомления, особенно при непривычной работе, и обязательно предварялось значительным усилением частой активности в левом полушарии (рис. 5). Смещение «фокуса активности» может иметь постепенный или срочный характер и держаться большее или меньшее время в зависимости от стадии упражнения.

В начале упражнения при выполнении работы «фокус активности» находится в левом полушарии, в последствии (после окончания приема работы) активность в правом и в левом полушариях одинакова — в виде отдельных пачек частых колебаний. При повторных приемах работы следовая активность в правом полушарии начинает преобладать над левым. В период вработываемости и преодоления первичного утомления (конец первой и начало второй стадии упражнения, по М. И. Виноградову) растет потенциал частых колебаний в левом полушарии и возбуждение иррадирует на правое полушарие по ходу работы. Следовая активность повышена в отведениях справа. Тогда следующий прием работы в этот период может протекать при «фокусе активности» в правом полушарии, а после работы наблюдается превалирование частых колебаний в левом полушарии.

При более длительной работе — второй стадии упражнения — «фокус активности» уже не на следах, а по ходу работы на короткое время перемещается направо и вскоре вновь возвращается в левое полушарие. Наблюдается несколько таких перемещений в течение работы.

При длительной, привычной работе на третьей стадии упражнения перемещения «фокуса активности» наблюдаются реже, но последний задерживается более длительно, чем раньше, в правом полушарии. В этот период частые колебания имеют преимущественно синхронный характер и более низкий, чем при непривычной работе, потенциал. В ЭЭГ становится отчетливо виден  $\alpha$ -ритм, который был угнетен при непривычной работе. Смещение «фокуса активности» в различных областях полушарий зачастую происходило не одинаково быстро. Межполушарная асимметрия была более выражена в височных областях и передних отделах и менее всего в затылочных областях. При длительной монотонной работе активность в обоих полушариях выравнивалась, асимметрия уменьшалась.

Из сказанного выше следует, что в определенных условиях межполушарная асимметрия может создаваться за счет превалирования частых колебаний в правом полушарии. Правое полушарие играет, очевидно, роль как бы «помощника» левого, доминирующего в моменты преодоления трудностей — упадка функциональной подвижности.

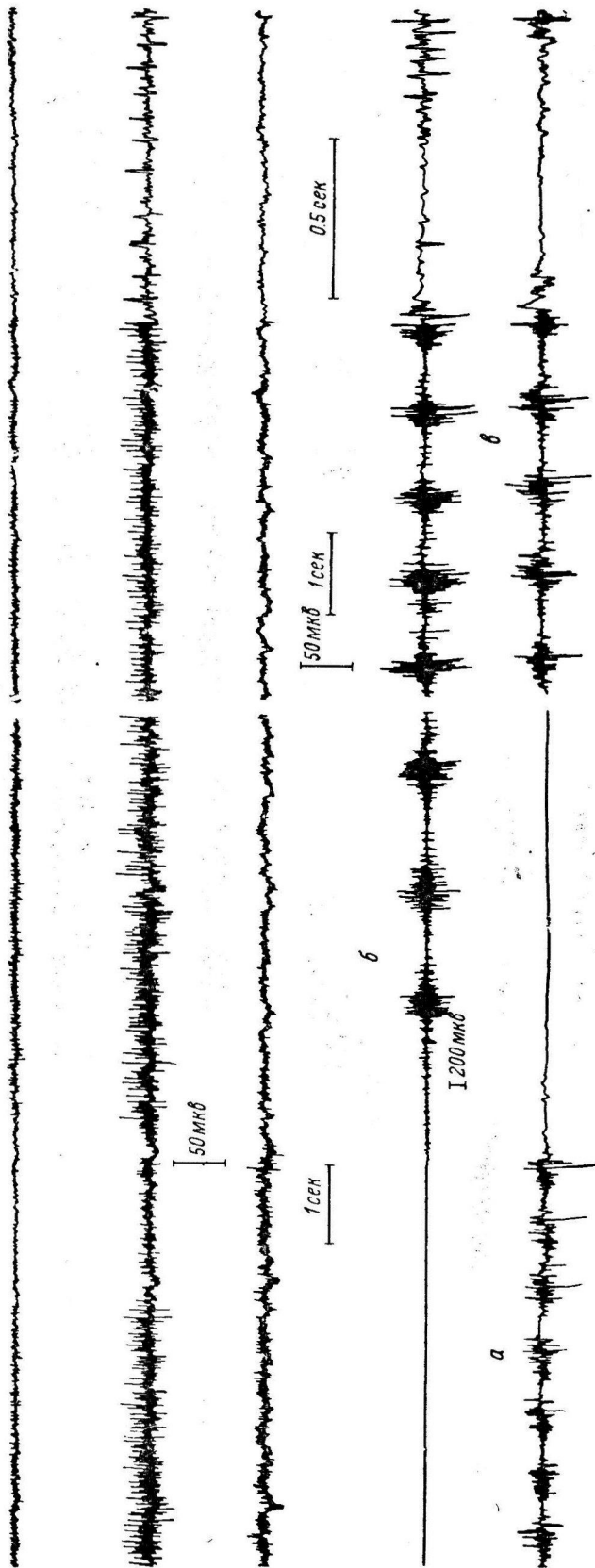


Рис. 4. ЭЭГ моторных областей левого и правого полушарий при работе одной правой (а), одной левой (б) и двумя руками вместе (с).  
 Исследуемый Т., опыт № 10, 25 I 60.

Сверху вниз: биполярное межполушарное отведение левой и правой лобно-теменных областей (5—9 по рис. 1); униполярное лобно-теменное отведение с левого полушария (7—13 по схеме); симметричное униполярное лобно-теменное отведение с правого полушария (11—14 по схеме); ЭМГ левого бицепса; ЭМГ правого бицепса.



Следует отметить тот факт, что наблюдавшийся нами «фокус активности» носил явные черты доминантности. Можно было видеть «подкрепление» его различными сторонними раздражителями. Так, световые, звуковые раздражители, словесные команды экспериментатора, усиленное моргание, сжимание зубов, кашель исследуемого вызывали усиление межполушарной асимметрии. Если эти раздражители попадали в тот момент, когда подготавливалось перемещение «фокуса активности»

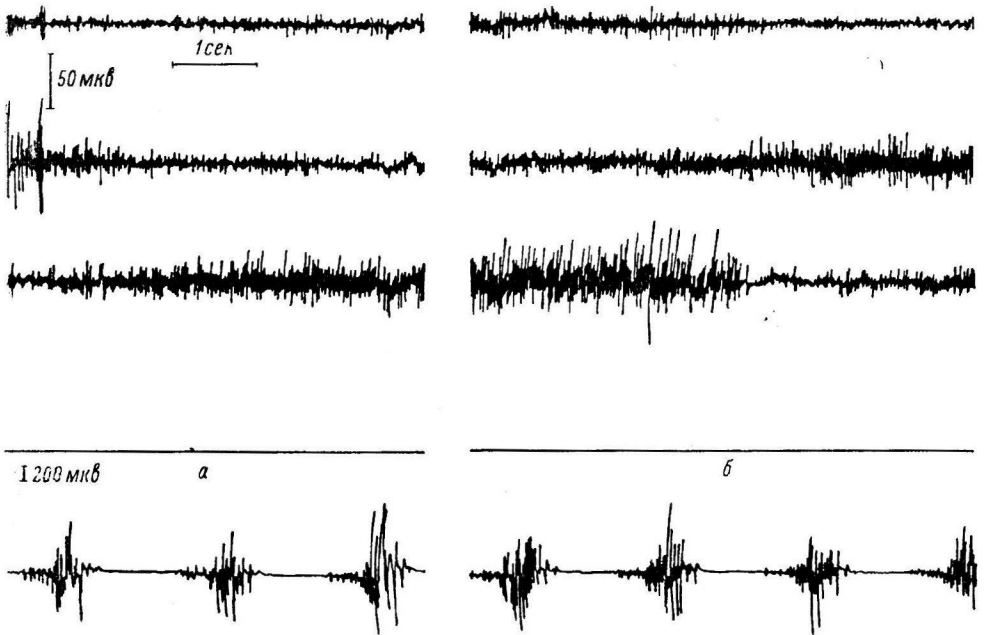


Рис. 5. ЭЭГ моторных областей левого и правого полушарий при длительной работе одной правой рукой.

а — 10-я, б — 15-я мин. работы. Исследуемый Т., опыт № 10, 25 I 60. Обозначения те же, что и на рис. 4.

в другое полушарие, то этот процесс происходил скачком, убыстрялся. Это можно понять как «переподкрепление» предшествовавшего доминантного очага, когда дополнительный раздражитель вначале вызывает резкое усиление, а затем смещение «фокуса активности» в другое полушарие. Отмечалось также свойство инерционности, сохранение на некоторое время в порядке последствия «фокуса активности» в том полушарии, где он был во время работы (рис. 3).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные факты позволяют рассматривать двигательный анализатор человека как единое целое с фокусом доминантного очага в левом полушарии при их парной работе, а различные сочетания в работе эффекторов и динамику их работоспособности как перестройку доминирующей констелляции центров. В периоды «борьбы» с развивающимся утомлением или в порядке последствия фокус на время может перемещаться в правое полушарие, что соответствует принципу функциональной замещаемости в единой доминантной системе центров. Перемещение «фокуса активности» в правое полушарие в период оперативного покоя может быть понято с этих же позиций.

Таким образом, встает вопрос о роли функциональной асимметрии в парной работе полушарий человека для проблемы работоспособности. Вопрос о функциональной асимметрии в пространственном различении поднимался Б. Г. Ананьевым (1955). Еще раньше Д. А. Бирюковым (1946) проблема асимметрии рассматривалась как общий закон нормальной активности нервных центров. Двигательный анализатор животных, очевидно, не имеет закрепленной функциональной асимметрии. По данным Т. С. Наумовой (1960), Л. Г. Трофимова (1960), симметричные участки моторных зон полушарий собаки могут работать совместно или раздельно. В период неупроченных условных оборонительных рефлексов обе моторные зоны дают одинаковую реакцию (это подтверждает парную работу полушарий). При упроченных рефлексах контралатерально наблюдается эффект возбуждения, ипсилатерально — торможения. В наших опытах «фокус активности» мог оставаться в левом полушарии независимо от того, работал исследуемый правой или левой рукой. Это отвечает принципу праворукости, выработанному у человека в процессе его трудовой деятельности.

Функциональная асимметрия электрической активности мозговых полушарий у здоровых людей установлена в отношении медленных потенциалов ЭЭГ. Н. В. Голиков (1950), приводя собственные и литературные данные, указывает, что левое полушарие обладает несколько большей частотой и меньшей амплитудой  $\alpha$ -ритма, чем правое. Это говорит о большей активности левого полушария и подтверждает наши факты. Так же как Н. В. Голиков, мы наблюдали, что асимметрия электрической активности выражена в различной степени как у разных лиц, так и у одного лица в различных областях коры. Остается доля сомнения, не является ли наблюдавшаяся асимметрия ЭЭГ результатом потенциалов височных мышц? Проведенные контроли прямо не подтверждают этого. Но в любом случае наблюдавшиеся факты должны отражать сложную и закономерную картину межцентральных отношений левого и правого полушарий.

Наши опыты требуют дальнейшего повторения и расширения. Однако уже сейчас можно сделать предположение о том, что распространенное понимание физиологического механизма сеченовского феномена «активного отдыха», по-видимому, не совсем отвечает действительности. Если главенствующий фокус центральной активности в работе рук человека расположен в левом полушарии, то феномен Сеченова нельзя объяснить отрицательной индукцией с равноправных центров левой руки на центры правой, углубляющей в них состояния торможения и тем вызывающей усиление восстановительных процессов. Вероятнее искать этот механизм в следовых явлениях господствующего доминантного очага и в функциональных перестройках внутри единой доминанты.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Ананьев Б. Г., Пространственное различение. Изд. ЛГУ, 1955.  
 Бирюков Д. А., Материалы к вопросу о рефлекторной регуляции сердечно-сосудистой системы. Воронеж, 1946.  
 Быков К. М., Избр. произв., 1, Медгиз, М., 1958.  
 Виноградов М. И., Физиология трудовых процессов. Изд. ЛГУ, 1958.  
 Голиков Н. В., Уч. зап. ЛГУ, № 123, 202, 1950.  
 Наумова Т. С., Вопросы электрофизиологии и энцефалографии, 314, Изд. АН СССР, М.—Л., 1960.  
 Павлов И. П., Полн. собр. соч., 3, ч. II, Изд. АН СССР, М.—Л., 1951.  
 Трофимов Л. Г., Вопросы электрофизиологии и энцефалографии, 344, М.—Л., 1960.  
 Ухтомский А. А., Собр. соч., 4, Л., 1954.

---

CONTRIBUTION TO THE ELECTROENCEPHALOGRAPHIC  
CHARACTERISTICS OF PAIRED ACTIVITY  
OF THE BRAIN HEMISPHERES IN MAN DURING  
PHYSICAL WORK

By *L. P. Pavlova* and *K. S. Tochilov*

From the laboratory of labour physiology of the Uchtomsky Physiological  
Institute, State University, Leningrad

---

## ИЗМЕНЕНИЯ ЭЭГ ЧЕЛОВЕКА ПОД ВЛИЯНИЕМ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЫ

*Е. Б. Сологуб*

Кафедра физиологии Ленинградского института физической культуры им. П. Ф. Лесгафта и Физиологический институт им. А. А. Ухтомского при Ленинградском государственном университете

В последние годы в исследованиях ЭЭГ во время мышечной работы, помимо изменений  $\alpha$ -ритма (Ройтбак и Таварткиладзе, 1954; Ройтбак и Дедабришвили, 1959, и др.), обнаружены также высокочастотные колебания в начальные периоды тренировки (Сахиулина и Мухамедова, 1956, 1958; Мухамедова, 1957; Павлова, 1957; Хавкина, 1958, и др.). Однако в наших предыдущих исследованиях было показано, что сдвиги корковых потенциалов при формировании двигательного динамического стереотипа гораздо более многогранны (Штюрмер, 1958): в начале упражнения наблюдается высокочастотная асинхронная активность, которая по мере тренировки сменяется синхронной высокочастотной активностью, затем медленными потенциалами в ритме работы и, наконец,  $\alpha$ -ритмом.

Настоящая работа посвящена дальнейшему исследованию фоновой высокочастотной активности и локальным реакциям при мышечной работе человека.

### МЕТОДИКА

Изменения электрической активности мозга человека исследовались в условиях одновременной записи ЭЭГ, ЭМГ, ЭКГ, эргограммы и шейнограммы на восьми- и пятнадцатипроцентных чернильных осциллографах. Динамическая работа на пальцевом эргографе и на кистевом, локтевом и ножных эспандерах выполнялась либо в собственном ритме, либо в заданном ритме световых или звуковых сигналов. Всего проведено свыше 150 опытов на 26 практически здоровых нетренированных испытуемых (от 4 до 15 опытов на каждом). В течение опыта применялось от 1 до 5 приемов работы до утомления. Обработка кривых проводилась на каждом 10-секундном отрезке в течение всей работы. Вычислялись частота пульса, дыхания, амплитуда ЭМГ и определялись преобладающая форма фоновой активности ЭЭГ и наличие локальных ответов.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исходном состоянии ЭЭГ испытуемых характеризуется слабо выраженным  $\alpha$ -ритмом (испытуемые работают в освещенной камере с открытыми глазами). В первые опытные дни при выполнении непривычной ритмической работы в ЭЭГ повсеместно появляется асинхронная высокочастотная активность (АВЧ) с амплитудой порядка 50—150 мкв.

Однако появление АВЧ на ранних стадиях тренировки не всегда одинаково и связано с изменением работоспособности и самочувствия испытуемого. При одновременной записи ЭЭГ и эргограммы видно, что АВЧ появляется в моменты снижения работоспособности человека (па-

дения амплитуды эргограммы на рис. 1). У испытуемых, находящихся на ранних стадиях тренировки, когда длительность работы до утомления еще невелика, работа кончается на этом фоне (испытуемая Г—ва). При более длительной работе АВЧ проявляется при состояниях мертвой точки (испытуемые К—ва, К—ль, С—за и Ш—ва) и в конце работы. Переход к устойчивому уровню работоспособности (особенно при длительной работе без утомления — испытуемых Ш. и П—в) сопровождается заменой АВЧ медленными потенциалами, идущими в ритме работы, и  $\alpha$ -ритмом.

Выполнение привычной или легкой работы происходит на фоне  $\alpha$ -ритма. Резкое повышение нагрузки, амплитуды или ритма работы

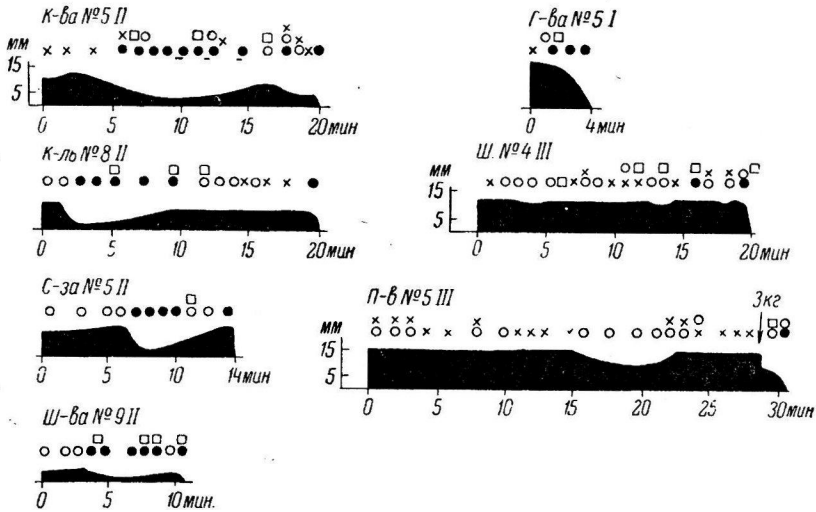


Рис. 1. Соотношения между характером ЭЭГ и уровнем работоспособности человека.

По оси ординат — амплитуда эргограммы (в мм) у различных испытуемых; по оси абсцисс — время выполнения работы (в мин.). Арабскими цифрами обозначены номера опытов, римскими — стадии упражнения. Крестики —  $\alpha$ -ритм; светлые кружки — медленные потенциалы в ритме работы; квадраты — синхронная высокочастотная активность; темные кружки — АВЧ.

ведет к падению мощности выполняемой работы и появлению АВЧ в ЭЭГ. (Например, у испытуемой Г—вой — после увеличения груза от 1 до 3 кг и падения мощности работы с 0.05 до 0.03 кгм/сек., у испытуемой К—вой — после увеличения груза от 2 до 3 кг и падения мощности работы на пальцевом эргографе с 0.072 до 0.054 кгм/сек. и т. д.).

Возникновение АВЧ при увеличении нагрузки связано также с уменьшением длительности работы до отказа: у испытуемых О—ч работа с грузом 1 кг в ритме 3 раза в 1 сек. идет на фоне  $\alpha$ -ритма в течение 49 мин., а с грузом 6 кг на фоне АВЧ — в течение 3—5 мин.

В специальной серии исследований было прослежено соответствие изменений ЭЭГ известным стадиям упражнения (Виноградов, 1958). В первые 2—3 опыта длительность работы до утомления не превышает нескольких десятков секунд или нескольких минут, самочувствие подопытного тяжелое, в ЭЭГ доминирует АВЧ. Развитие острого утомления сопровождается резким повышением пульса (до 130 в 1 мин.), частоты дыхания (до 30 в 1 мин.), средней амплитуды ЭМГ (до 800—1500 мкв), аритмией пульса и дыхания, неравномерностью амплитуд дыхательных движений, мышечных потенциалов и зубцов ЭКГ. Эти изменения соответствуют I стадии упражнения, по Виноградову.



представлены на рис. 3, а на примере той же испытуемой М-вой (I стадия упражнения).

В последующие 2—3 опыта, на 3—6-й мин. работы, у испытуемого наблюдается тяжелое субъективное состояние (мертвая точка) с подъемом и аритмией частоты дыхания, пульса и амплитуды ЭМГ и одновременным проявлением в ЭЭГ АВЧ. Однако это состояние преодолевается — испытуемый чувствует облегчение, показатели дыхания, сердечбиения и амплитуды ЭМГ снижаются, а в ЭЭГ вместо АВЧ появляются

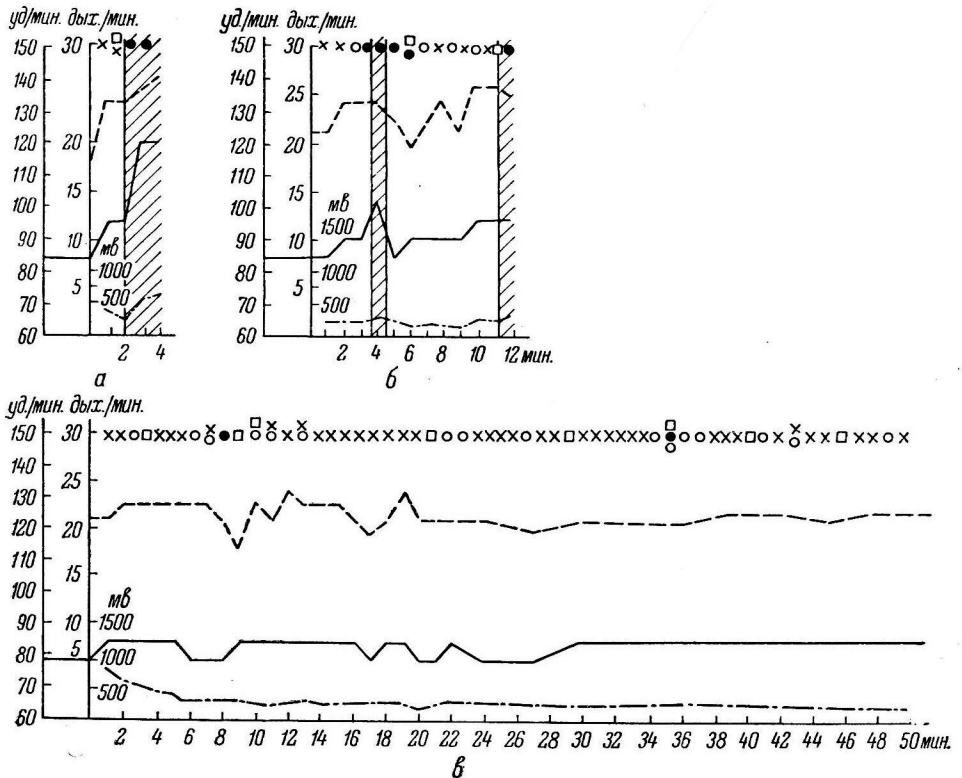


Рис. 3. Соотношение характера ЭЭГ и стадий упражнения.

По оси ординат: частота сердечбиений в 1 мин. (сплошная линия); частота дыхания в 1 мин. (штрих); амплитуда ЭМГ передней большеберцовой мышцы (в мв) (штрих-пунктир); по оси абсцисс — время выполнения работы (в мин.). а — I стадия упражнения, опыт № 3; первый прием работы на ножном эспандере до утомления; б — II стадия упражнения; опыт № 4; 2-й прием работы до утомления; в — III стадия упражнения; опыт № 7; 1-й прием работы до утомления.

Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

медленные потенциалы в ритме работы или  $\alpha$ -ритм. Длительность работы возрастает до нескольких десятков минут. Описанные изменения характерны для II стадии упражнения, по Виноградову. У М-вой эта стадия продолжается в течение 4—6-го опытов (рис. 3, б); длительность отдельных приемов работы до утомления колеблется в районе 10—20 мин. При развитии вторичного утомления в конце работы снова может возникать АВЧ, но работа может оканчиваться и при наличии медленных потенциалов в ритме работы и  $\alpha$ -ритма.

При дальнейшей тренировке в ЭЭГ в основном наблюдается  $\alpha$ -ритм, иногда медленные потенциалы в ритме работы. Работа продолжается более часа без каких-либо признаков утомления. Значительно снижены и устойчиво держатся на одном уровне показатели частоты дыхания

(около 15—20 в 1 мин.), пульса (около 80 в 1 мин.), амплитуды ЭМГ (около 150—200 мкв). Эти изменения соответствуют III стадии упражнения, по Виноградову. У М-вой эта стадия начинается с 6—7-го опыта (рис. 3, е). При работе рукой на 6-й опытный день (рис. 2, е) и ногой на 7-й опытный день (рис. 2, з) в ЭЭГ как в период покоя, так и при работе хорошо выражен  $\alpha$ -ритм. При работе на кистевом эспандере частота дыхания—21 в 1 мин., пульс—84

в 1 мин., амплитуда ЭМГ—порядка 350 мкв. При работе на ножном эспандере частота дыхания—21 в 1 мин., пульс—78 в 1 мин., амплитуда ЭМГ—порядка 150—200 мкв. Эти показатели почти не меняются в течение часа (рис. 3, е), что свидетельствует о состоянии устойчивой работоспособности. Работа оканчивается на фоне  $\alpha$ -ритма или медленных потенциалов в ритме работы.

Таким образом, характер ЭЭГ закономерно изменяется при прохождении подопытным различных стадий упражнения. Скорость прохождения этих стадий различна у разных испытуемых (от 4 до 15 опытных дней), однако всегда сохраняется наблюдавшееся соответствие характера ЭЭГ перечисленным стадиям упражнения, определяемым по данным ЭКГ, ЭМГ, шейнограммы, эргограммы, длительности работы до утомления и отчетам испытуемого о самочувствии. Сменяющие друг друга различные формы электрической активности появляются сначала в генерализованном виде (во всех отведениях ЭЭГ), а затем концентрируются в области моторных центров работающей конечности, причем концентрация быстрых и медленных волн происходит в одной и той же точке коры (Штюрмер, 1958). Восстановление  $\alpha$ -ритма при автоматизации движения рассматривается нами как следствие концентрации возбуждения в неуловимо малых участках коры.

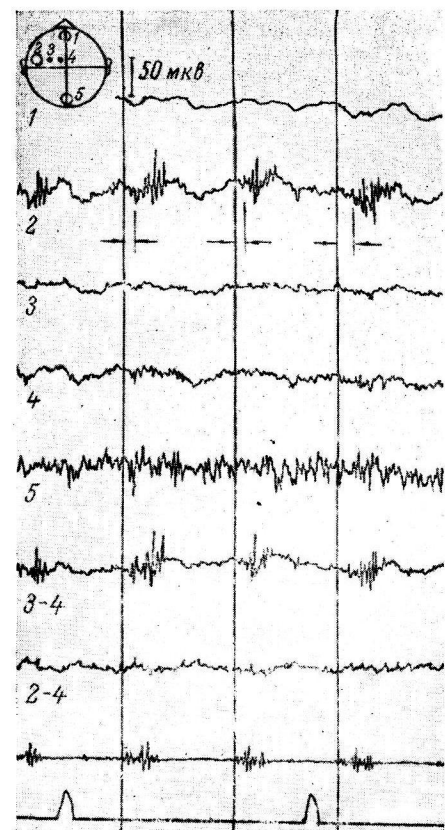


Рис. 4. Локальные ответы моторной области коры на проприоцептивную импульсацию.

Сверху вниз: ЭЭГ (цифры соответствуют схеме расположения электродов сверху слева); ЭМГ общего сгибателя пальцев; отметка времени (1 сек.). 1, 2 и 5—обычные электроды; 3 и 4—точечные электроды.

Помимо закономерных изменений фоновой активности во время работы, отмечаются также определенные изменения локальных реакций коры. При АВЧ в видимой картине ЭЭГ локальные ответы отсутствуют. После исчезновения АВЧ они видны сначала по всей коре, а затем концентрируются в соответствующей моторной точке. Эти локальные ответы состоят из комплекса медленных волн, подобных описанным А. И. Ройтбаком (1955, 1956), Монье (Monnier, 1956), С. П. Нарикашвили (1957), И. А. Пеймером (1958), К. Кац (1958) и другими, и последующей пачки высокочастотных колебаний с частотой 60—80 в 1 сек. и амплитудой порядка 50 мкв. Из медленных волн наиболее выраженным является положительный потенциал «С» (Monnier, 1956) с амплитудой порядка 20 мкв.



Для выявления концентрированных локальных ответов нами применялись специальные точечные электроды из серебряных проволочек, расположенных в шахматном порядке на расстоянии 0.5—1 см друг от друга. Проволочки крепились в резиновой пластине перпендикулярно черепу подопытного. Пластина, содержащая 6 электродов, накладывалась на моторную область коры. На рис. 4 показана запись локальных реакций двигательной области коры в ответ на каждую пачку

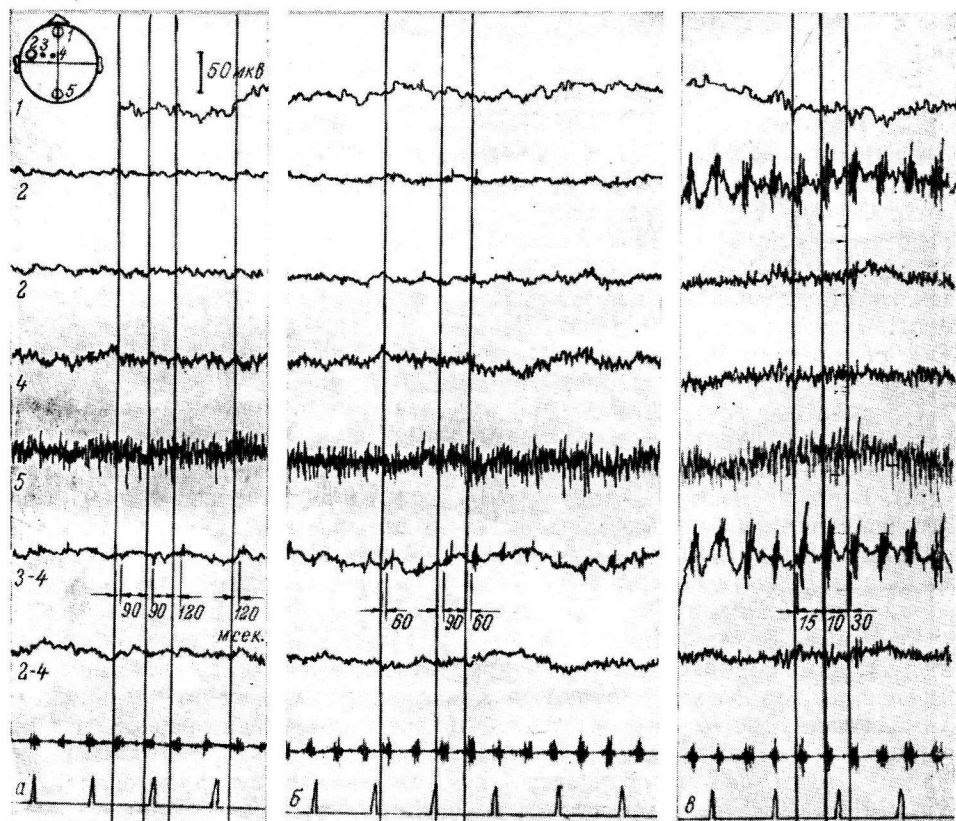


Рис. 5. Эволюция локальных ответов в течение одного приема работы до утомления. Испытуемый Л.; опыт № 3; 4-й прием работы на кистевом эспандере до утомления.

а — на 15-й сек. работы; б — на 70-й сек.; в — на 90-й сек. (за 5 сек. до конца работы). Обозначения те же, что и на рис. 4.

импульсов в ЭМГ. Ответы, возникающие под электродом 3 (см. схему расположения электродов на рис. 4), регистрируются как в униполярном отведении, так и в биполярном отведении, в то время как на расстоянии 1 см (точечный электрод 4 и обычный электрод 2) эти ответы не обнаруживаются. Можно отметить также, что локальные ответы располагаются на восходящей части медленных колебаний, идущих в ритме работы. Латентный период в данном случае составляет приблизительно 40—60 мсек. (от начала пачки импульсов в ЭМГ до появления ответа в коре).

В течение одного приема работы видна постепенная эволюция локальных ответов во времени. На рис. 5 показаны локальные ответы на испытуемом Л. в течение 4-го приема работы в опыте № 3. Вначале, на 15-й сек. работы, появляются медленные компоненты ответа с большим латентным периодом. Затем медленные волны уменьшаются, но при

этом нарастают высокочастотные компоненты ответа с амплитудой порядка 10—20 мкв, выраженные лучше в биполярном отведении, чем в униполярном. По приблизительным подсчетам при скорости записи 6 см в 1 сек. латентный период сокращается при этом от 90—120 до 60—90 мсек. Наконец, в конце отдельного приема работы до утомления амплитуда высокочастотных колебаний локального ответа возрастает до 50 мкв и выше, медленные компоненты исчезают, латентный период еще более сокращается (приблизительно до 10—30 мсек.). В последующие опытные дни локальные ответы исчезают из видимой картины ЭЭГ. Дальнейшая тренировка проходит на фоне  $\alpha$ -ритма.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно взглядам И. П. Павлова и А. А. Ухтомского, создание новых рабочих навыков представляет большой труд для нервной системы и связано на первых порах с асинхронной работой различных нервных центров. По представлениям А. Н. Крестовникова и Э. Б. Коссовской (1952), М. И. Виногорадова (1958) и др., первая фаза формирования двигательного динамического стереотипа характеризуется гетерохронизмом различных звеньев двигательной системы. Наблюдаемая в ЭЭГ на I стадии упражнения АВЧ рассматривается нами как отражение этой асинхронности в деятельности корковых центров. Появление подобной активности является результатом сильного возбуждения коры при раздражении не только специфических проекционных путей, но и неспецифических путей ствола мозга (Magoun, 1956; Морущи, 1957; Гасто с сотрудниками, 1957, и др.). В связи с этим появление АВЧ в состоянии мертвой точки позволяет расценивать явление мертвой точки не как состояние торможения корковых центров (Ройтбак и Таварткиладзе, 1954; Павлова, 1957; Ройтбак и Дедабришвили, 1959, и др.), а как состояние асинхронного возбуждения корковых центров.

Асинхронная активность возникает при сильном или длительном раздражении корковых центров проприоцептивной импульсацией, так как центры, имеющие различную лабильность, имеют также и различную резистентность, т. е. в разные сроки после начала раздражения и в разной степени начинают трансформировать ритм приходящих импульсов. Сильное раздражение ретикулярной формации приводит к резкому подъему частоты пульса и дыхания (возбуждение бульбарных центров). Лишь в процессе усвоения ритма и создания единого ритма возбуждения (изохронизм, изолабильность) возможен переход к устойчивому уровню работоспособности. В ЭЭГ эта стадия сопровождается переходом от АВЧ к синхронной высокочастотной активности, а затем появлением медленных потенциалов в ритме работы — явления внутренней и внешней синхронизации (Голиков, 1959).

Постепенное снижение возбудимости в специфических афферентных системах и отключение неспецифических структур приводят к переходу от генерализованных реакций к локальным реакциям коры. Это отражается в постепенном снижении возбудимости бульбарных центров, в последовательной концентрации каждого из перечисленных видов фоновой активности и локальных реакций в одной и той же точке коры и в последующем переходе к  $\alpha$ -ритму.

В процессе тренировки, помимо фоновых изменений в ЭЭГ, наблюдаются также изменения локальных реакций коры. В течение одного отдельного приема работы до утомления возбудимость корковых нейронов может нарастать, что отражается в описанном выше ходе эволюции. Первоначальное появление медленных компонентов ответа на проприоцептивный залп рассматривается нами, в соответствии с данными

электрофизиологических и гистологических исследований А. И. Ройтбака (1955, 1956), Л. Л. Каплана (1956), И. С. Робинера (1957), Бернса, Графштейна и Ольшевского (Burns, Grafstein, Olszewski, 1957) и других, как местное возбуждение нейронов III, IV и V слоев. Наиболее выраженный при отведении с поверхности положительный потенциал (потенциал «С», по Монье, 1956) соответствует отрицательному колебанию при местном возбуждении этих нейронов (Ройтбак, 1955, 1956).

Наблюдаемая вслед за медленными колебаниями вспышка высокочастотных колебаний ответа с ритмом 60—80 в 1 сек. отражает появление распространяющегося возбуждения нейронов. А. И. Ройтбак (1955, 1956) наблюдал подобный разряд на периферию нейронов III и IV слоев у кошек с частотой 50—60 колебаний в 1 сек., М. Я. Рабинович (1958) описал высокочастотные разряды нейронов III и V слоев двигательной области коры собаки (50—55 колебаний в 1 сек.), Бернс, Графштейн и Ольшевский (1957) получили вспышки спайков главным образом в V слое коры кошки во вторичных нейронах типа В, т. е. в пирамидных клетках.

Первоначальная большая величина латентного периода локальных ответов (порядка 90—120 мсек.) может объясняться тем, что их фокус лежит не в чувствительной, а в моторной области коры. Уменьшение латентного периода по ходу работы свидетельствует о нарастании скорости афферентного проведения и, возможно, о переключении проприоцептивной импульсации на более короткие афферентные пути.

Изучение пространственных и временных изменений локальных ответов коры позволит вскрыть тонкие механизмы формирования двигательного динамического стереотипа у человека.

#### ВЫВОДЫ

1. В условиях одновременной записи ЭЭГ, ЭКГ, ЭМГ, пневмограммы и эргограммы показано соответствие изменений ЭЭГ определенным стадиям упражнения (Виноградов, 1958). На I стадии упражнения и в начальных этапах II стадии в ЭЭГ наблюдается АВЧ, которая сменяется при переходе к устойчивому уровню работоспособности синхронной высокочастотной активностью, затем медленными потенциалами в ритме работы и, наконец,  $\alpha$ -ритмом. Это сопровождается понижением возбудимости дыхательного и сердечно-сосудистого центров, явлениями «концентрации мышечной силы» и резким увеличением длительности выполняемой работы. Следовательно, изменения ЭЭГ могут служить показателем работоспособности человека.

2. Появление АВЧ в состоянии мертвой точки говорит не о состоянии торможения корковых центров, а об асинхронном их возбуждении, что приводит к нарушению дыхательной, сердечной и двигательной функций человека.

3. Зарегистрированы локальные ответы моторной области коры на проприоцептивные залпы, состоящие из медленных колебаний с амплитудой порядка 20 мкв и последующей вспышки высокочастотных колебаний с ритмом 60—80 в 1 сек. и амплитудой до 50 мкв. Показана эволюция этих ответов в течение одного приема работы: нарастание амплитуды, исчезновение медленных компонентов и увеличение высокочастотных колебаний, сокращение латентных периодов приблизительно от 120—90 до 10—30 мсек.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Виноградов М. И. Физиология трудовых процессов. Изд. ЛГУ, 1958.  
Гасто А., Р. Наке, А. Роже, С. Донжье, А. Режи, Ф. Моррел, А. Юси С. Юс, Журн. высш. первн. деят., 7, 2, 203, 1957.  
Голиков Н. В., Тез. докл. IX съезда физиолог., биохим. и фармаколог., 1, 156, 1959.

- Каплан Л. Л., Архив анат., гистолог. и эмбриолог., 33, № 4, 38, 1956.  
 Кац К., Журн. высш. нервн. деят., 8, 4, 499, 1958.  
 Крестовников А. Н. и Э. Б. Коссовская, Физиолог. журн. СССР, 38, № 4, 413, 1952.  
 Магун Х. (Magoun H. W.). В сб.: Проблемы современной физиологии нервной и мышечной систем, 161. Тбилиси, 1956.  
 Монье М. (Monnier M.). В сб.: Проблемы современной физиологии нервной и мышечной систем, 183, Тбилиси, 1956.  
 Морucci Д., Журн. высш. нервн. деят., 7, 4, 479, 1957.  
 Мухамедова Е. А., Тез. докл. пленума Комиссии по вопросам физиологии спорта, 401, Киев, 1957.  
 Нарикашвили С. П., Физиолог. журн. СССР, 43, № 7, 642, 1957.  
 Павлова Л. П., Уч. записки ЛГУ, 99, серия биол. наук, 43, 237, 1957.  
 Пеймер И. А., Физиолог. журн. СССР, 44, № 9, 829, 1958.  
 Рабинович М. Я., Журн. высш. нервн. деят., 8, 4, 546, 1958.  
 Робинер И. С., Архив анат., гистолог. и эмбриолог., 34, 3, 20, 1957.  
 Ройтбак М. И. Биоэлектрические явления в коре больших полушарий, 1. Тбилиси, 1955; в сб.: Проблемы современной физиолог. нервн. и мышечн. систем, 243. Тбилиси, 1956.  
 Ройтбак А. И. и Ц. М. Дедабришвили, ДАН СССР, 124, 4, 957, 1959.  
 Ройтбак А. И. и Б. В. Таварткиладзе, Теор. и практ., физ. культ., 17, 1, 35, 1954.  
 Сахиулина Г. Т. и Е. А. Мухамедова, Тез. докл. XVII совещ. по пробл. в. н. д., 106, М.—Л., 1956, Журн. высш. нервн. деят., 8, в. 4, 491, 1958.  
 Хавкина Н. Н., Физиолог. журн. СССР, 14, № 3, 873, 1958.  
 Штурмер (Сологуб) Е. Б., Физиолог. журн. СССР, 44, № 9, 859, 1958.  
 Burns V. D., В. Grafstein, J. Olszewski, Journ. Neurophysiol., 20, 2, 200, 1957.

Поступило 26 I 1960

## CHANGES IN THE EEG UNDER THE INFLUENCE OF MUSCULAR WORK IN MAN

By *E. B. Sologub*

From the P. F. Lesshaft Institute of Physical Culture and the Uchtomsky Physiological Institute of the University, Leningrad

The purpose of the present study was further to investigate the high frequency cortical activity and the local responses to the muscular work in man.

The changes in brain potentials were recorded simultaneously by means of EMG, EEG, pneumogram and mechanogram. Connection of the EEG changes with the stages of training (Winogradow, 1958) was observed, Asynchronous high frequency activity (Fig. 2, *a, b*) appeared in the EEG at the first stage and at the earlier period of the second stage (the «dead-centre» state); simultaneously, the frequency of respiration, pulse and amplitude of the muscle action potentials rose very high (Fig. 3, *a*). Then, at a further training and while the subjects approached the «steady state» (respiration, pulse and amplitude of the EMG were steadily maintained at a diminished level), slow potentials in the rhythm of work and the  $\alpha$ -rhythm were recorded in the EEG (Figs. 2, *b, g*; 3, *b*).

Local responses of the cortical motor zone to the proprioceptive impulsion from the working muscle were also recorded (at first slow potential, then a burst of high potentials with the frequency of 60—80 per sec., fig. 4, 5). The latency of these responses changed during the work period from about 90—120 msec. to about 10—30 msec. (see fig. 5).

## ВЛИЯНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ СВЕТОВОГО ПОТОКА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП НА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММУ ЧЕЛОВЕКА (В СВЯЗИ С РАЦИОНАЛЬНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ)

*И. М. Великсон и Ф. М. Черниловская*

Государственный научно-исследовательский институт гигиены труда  
и профзаболеваний, Ленинград

Люминесцентные лампы получают все более широкое применение для освещения промышленных предприятий, школьных и общественных зданий. Люминесцентное освещение создает лучшие условия по сравнению с лампами накаливания для правильной передачи цвета, способствует снижению утомления зрения, повышению производительности труда и улучшению качества выпускаемой продукции.

Однако люминесцентные лампы обладают и некоторыми недостатками. Люминесцентные лампы включаются в сеть переменного тока, а так как люминофор (тонкий слой люминесцирующих веществ, покрывающих стенку лампы) обладает недостаточным последствием, то периодические колебания (пульсации) светового потока ламп остаются довольно значительными. В зависимости от типа и мощности ламп глубина колебаний светового потока составляет 33—67%.<sup>1</sup>

Опыт эксплуатации люминесцентного освещения показал, что пульсирующий световой поток вызывает жалобы работающих на неприятные ощущения, головную боль и т. п.

Применение схемы включения трех ламп на разные фазы трехфазной сети позволяет значительно снизить колебания суммарного светового потока люминесцентных ламп до величин, не превышающих таковые у ламп накаливания. Однако необходимость снижения пульсаций светового потока люминесцентных ламп до последнего времени не была достаточно обоснована. Имеющиеся в литературе данные о влиянии пульсаций светового потока на организм человека недостаточно четки и зачастую противоречивы. Проведенное одним из авторов (Черниловская, 1958) изучение влияния пульсаций светового потока люминесцентных ламп на работоспособность человека при выполнении различного рода работ показало, что пульсирующий световой поток люминесцентных ламп вызывает удлинение величин оптической хронаксии, повышение длительности латентного периода условной двигательной реакции, повышение утомления зрения и снижение производительности труда.

Изучение действия пульсаций светового потока люминесцентных ламп на электроэнцефалограмму (ЭЭГ) дает возможность судить о влиянии пульсаций на функциональное состояние коры головного мозга и способствует пониманию механизма действия их на организм человека.

<sup>1</sup> Глубина колебаний — коэффициент, характеризующий наибольшее отклонение переменной составляющей светового потока от его среднего значения.

Как известно, функциональное состояние коры головного мозга можно оценить по характеру и особенностям ее биоэлектрической активности. Соответствие электрических и функциональных изменений в тканях показали уже первые электрофизиологические исследования (Введенский, 1884).

Ряд работ показал, что сдвиги биоэлектрической активности возникают в ответ на изменения как внутренней, так и внешней среды организма (Ливанов, 1934; Шпильберг, 1940; Воробьев и Дзидзишвили, 1943; Гершуни, Клаас и др., 1945; Лев, 1952; Голиков, 1956; Копылов, 1956, и др.).

Мы применили метод функциональной электроэнцефалографии, т. е. исследование реакций, возникающих при воздействии различных раздражителей на кору головного мозга. Наиболее удобным для изучения таких реакций является  $\alpha$ -ритм, поэтому в качестве наблюдаемых подбиралась лица с хорошо выраженным  $\alpha$ -ритмом.

Изменения частоты  $\alpha$ -ритма больше чем на 1 гц не наблюдались никогда. В основном изменения ЭЭГ-кривой касались амплитуд  $\alpha$ -ритма и  $\alpha$ -индекса (отношение времени, занятого  $\alpha$ -активностью, к общей длительности анализируемого участка кривой). При анализе полученных результатов были использованы только эти два показателя.

#### МЕТОДИКА

Наблюдаемый помещался в экранированную камеру. В потолке камеры над сеткой экрана был смонтирован светильник с тремя люминесцентными лампами типа ДС мощностью 15 вт.

Исследования были выполнены при 2 вариантах освещения: I — люминесцентные лампы включены на одну фазу сети переменного тока (глубина пульсаций светового потока 55%); II — люминесцентные лампы включены на разные фазы трехфазной сети (глубина пульсаций светового потока 5%). При обоих вариантах освещенность была равна 100 лк.

Биопотенциалы мозга регистрировались при помощи двухканальной усилительной установки со шлейфным осциллографом. Применялись лобно-затылочные отведения в обоих полушариях.

Сперва регистрировалась спонтанная ЭЭГ после пребывания наблюдаемого в камере в лежачем положении с закрытыми глазами в течение 15 мин.; следующая запись ЭЭГ производилась после 15-минутной адаптации к темноте при открытых глазах. Эта кривая являлась исходной для сравнения с кривой, полученной при световом раздражении.

Кратковременное действие светового потока осуществлялось путем включения света на 5 сек., во время которого записывалась ЭЭГ-кривая. Запись продолжалась и после выключения света до восстановления  $\alpha$ -активности.

Изучение длительного воздействия светового потока производилось при непрерывном освещении в течение 42 мин. При этом ЭЭГ записывалась после 1, 3, 6 и 11-й мин. от начала освещения. Вслед за тем наблюдаемым выполнялась работа в виде чтения книги с обычным шрифтом. ЭЭГ регистрировалась к концу 20-й мин. чтения, сразу после прекращения чтения и последовательно через 1, 3, 6 и 11 мин. после чтения. Запись продолжалась и после выключения света до восстановления ЭЭГ.

Исследованию подверглись 20 человек. У каждого из них ЭЭГ регистрировалась в течение 3 дней при обоих вариантах освещения.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что кратковременное воздействие светового потока люминесцентных ламп, включенных как на одну, так и на три фазы сети переменного тока, вызывало депрессию  $\alpha$ -активности: у всех испытуемых отмечалось снижение амплитуд и  $\alpha$ -индекса. Однако при включении ламп на три фазы сети депрессия  $\alpha$ -активности была выражена в значительно меньшей степени, чем при включении на одну фазу, когда глубина колебаний имеет большее значение (рис. 1).

Средние данные снижения величин ЭЭГ в процентах от исходных представлены на рис. 2. Пульсации светового потока люминесцентных

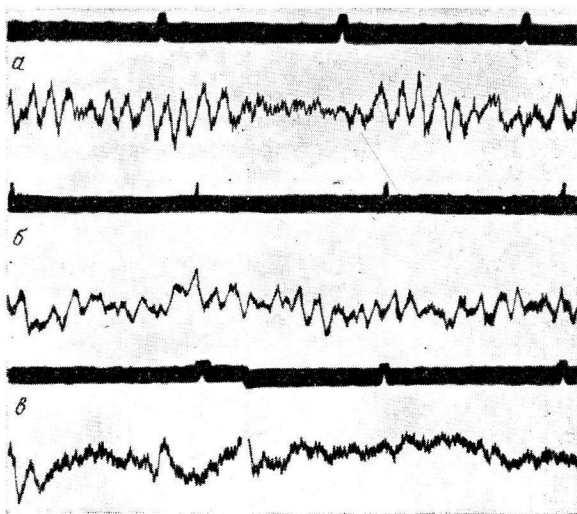


Рис. 1. Депрессия  $\alpha$ -активности при кратковременном воздействии люминесцентного света. Испытуемый Д—ч.  
 а — исходная ЭЭГ; б — ЭЭГ при включении ламп на три фазы сети, в — на одну фазу. Вверху — отметка времени (1 сек.).

ламп при включении ламп на одну фазу сети вызывали большее снижение как  $\alpha$ -индекса, так и амплитуд  $\alpha$ -ритма по сравнению с действием светового потока при трехфазном включении ламп. Эта разница в большей степени сказывалась на величинах  $\alpha$ -индекса. Статистическая обработка материала показала достоверность средних данных. Выключение света приводило к быстрому восстановлению  $\alpha$ -активности при обоих вариантах освещения.

Сдвиги в функциональном состоянии коры головного мозга, вызываемые кратковременным воздействием люминесцентного света, не отражают в полной мере тех изменений, которые возникают при более длительном его воздействии. В связи с этим были прослежены изменения показателей ЭЭГ при длительном включении люминесцентных ламп. Полученные данные приведены в таблице.

На рис. 3 приведены кривые, отражающие изменения  $\alpha$ -индекса и амплитуд  $\alpha$ -ритма при длительном воздействии светового потока люминесцентных ламп.

Так же как и при кратковременном воздействии света, глубокая депрессия  $\alpha$ -активности имела место в начале действия света в течение 1-й мин., при этом более выраженная депрессия отмечалась при люминесцентных лампах, включенных на одну фазу. Так, при воздействии ламп, включенных на три фазы, снижение амплитуд  $\alpha$ -ритма происходит к концу 1-й мин. в среднем на 39% от исходной, а при включении на одну

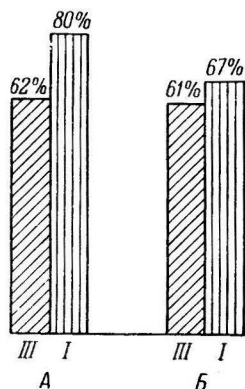


Рис. 2. Изменения  $\alpha$ -индекса (А) и амплитуды  $\alpha$ -ритма (Б) в зависимости от включения ламп на одну (I) или три (III) фазы сети.

Таблица

Изменение  $\alpha$ -активности при длительном воздействии люминесцентных ламп, включенных на одну и три фазы сети

Время регистрации ЭЭГ	$\alpha$ -Индекс				Амплитуды				
	лампы включены на одну фазу сети		лампы включены на три фазы сети		лампы включены на одну фазу сети		лампы включены на три фазы сети		
	$M \pm m$	$P$	$M \pm m$	$P$	$M \pm m$	$P$	$M \pm m$	$P$	
Исходное	69 $\pm$ 5.2	< 0.1	73 $\pm$ 4.2	< 0.1	46 $\pm$ 5.0	< 0.1	47 $\pm$ 5.4	< 0.1	
Свет	1 мин.	32 $\pm$ 5.2	< 0.1	40 $\pm$ 5.4	< 0.1	24 $\pm$ 2.8	< 0.1	29 $\pm$ 3.6	< 0.1
	3 мин.	25 $\pm$ 5.2	< 0.1	44 $\pm$ 5.0	< 0.1	24 $\pm$ 2.6	< 0.1	32 $\pm$ 4.2	< 0.1
	6 мин.	23 $\pm$ 5.3	< 0.1	36 $\pm$ 5.8	< 0.1	22 $\pm$ 4.3	< 0.1	28 $\pm$ 4.0	< 0.1
	11 мин.	25 $\pm$ 4.8	< 0.1	32 $\pm$ 6.5	< 0.1	21 $\pm$ 2.3	< 0.1	25 $\pm$ 4.5	< 0.1
	Чтение	15 $\pm$ 5.2	< 0.1	22 $\pm$ 5.5	< 0.1	16 $\pm$ 3.2	< 0.1	20 $\pm$ 3.2	< 0.1
		33 $\pm$ 5.7	< 0.1	42 $\pm$ 6.1	< 0.1	26 $\pm$ 2.8	< 0.1	31 $\pm$ 2.0	< 0.1
		33 $\pm$ 7.5	< 0.1	37 $\pm$ 8.2	< 0.1	24 $\pm$ 4.9	< 0.1	29 $\pm$ 5.8	< 0.1
		30 $\pm$ 6.5	< 0.1	37 $\pm$ 7.7	< 0.1	24 $\pm$ 4.9	< 0.1	28 $\pm$ 6.8	< 0.1
		30 $\pm$ 6.5	< 0.1	36 $\pm$ 8.1	< 0.1	23 $\pm$ 5.0	< 0.1	29 $\pm$ 6.5	< 0.1
	11 мин.	24 $\pm$ 6.0	< 0.1	41 $\pm$ 6.2	< 0.1	25 $\pm$ 4.2	< 0.1	32 $\pm$ 5.6	< 0.1

фазу — на 47%;  $\alpha$ -Индекс соответственно снижался при трехфазном включении ламп на 45%, а при однофазном — на 54%.

Разница в степени угнетения  $\alpha$ -активности при различной глубине колебаний светового потока сохранялась на протяжении всего отрезка

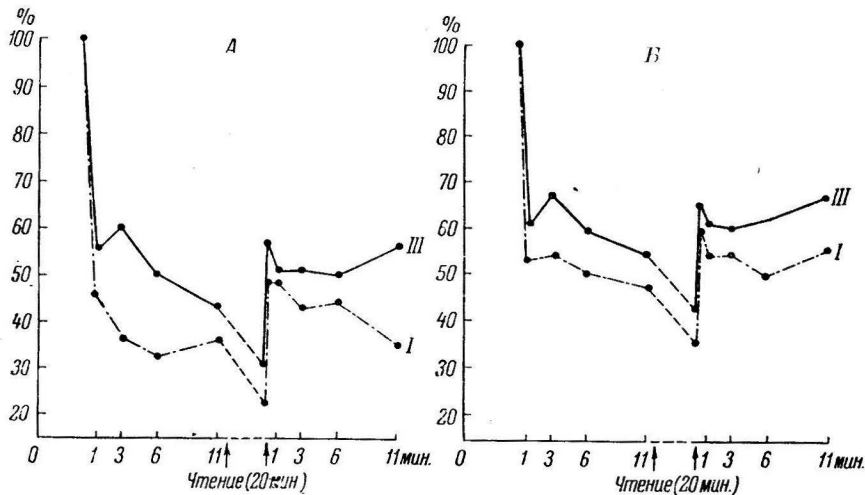


Рис. 3. Изменения  $\alpha$ -индекса (А) и амплитуды  $\alpha$ -ритма (Б) при длительном освещении люминесцентными лампами.

I — включение ламп на одну фазу, III — на три фазы.

кривой (11 мин.). Адаптации к люминесцентному свету независимо от глубины колебаний светового потока в течение этого времени не происходило.

Как известно, для более отчетливого выявления характера воздействия того или иного внешнего фактора на организм человека применяются функциональные пробы. Такой функциональной пробой на фоне



воздействия люминесцентного освещения было чтение испытуемым текста книги в течение 20 мин. Чтение вызывало значительное угнетение  $\alpha$ -активности при обоих вариантах освещения (рис. 3 и 4). Однако разница между воздействием светового потока люминесцентных ламп, включенных на три и одну фазу сети, сохранялась и здесь как в отношении амплитуд, так и  $\alpha$ -индекса.

Прекращение чтения при продолжающемся воздействии света приводило в первые 5 сек. к значительному усилению  $\alpha$ -активности независимо от варианта освещения, что можно рассматривать как эффект последовательной индукции. Через 1 мин. после прекращения чтения наступало снижение  $\alpha$ -активности (исчезновение последовательной индукции).

В дальнейшем при действии светового потока люминесцентных ламп, включенных на три фазы сети, кривая  $\alpha$ -индекса (рис. 3, А), начиная

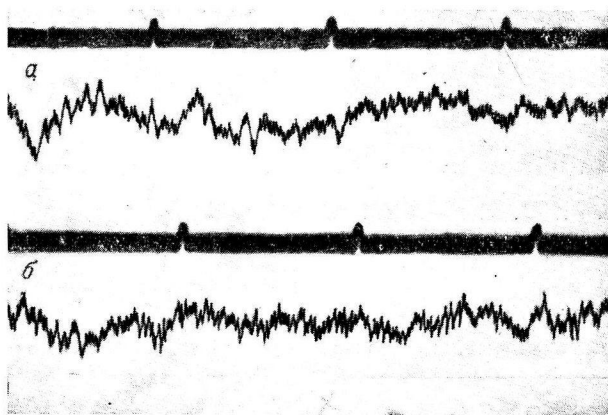


Рис. 4. Депрессия  $\alpha$ -активности к концу 20-й мин. чтения. Испытуемый Д—ч.

а — ЭЭГ при включении ламп на три фазы сети; б — на одну фазу.

с 6-й мин. после прекращения чтения, повышалась, в то время как при включении ламп на одну фазу с этого же времени начиналось резкое снижение кривой.

Кривая амплитуд  $\alpha$ -ритма (рис. 3, Б) при трехфазном включении ламп в основном повторяла кривую  $\alpha$ -индекса. Подъем кривой амплитуд с 6-й мин. отмечался также и при однофазном включении ламп. Однако в этом случае увеличение амплитуд по сравнению с 1-й мин. составляло 1%, в то время как при трехфазном включении оно было равно 6%.

Все сказанное дает нам право считать, что при трехфазном включении люминесцентных ламп, когда глубина колебаний светового потока имеет наименьшее значение, после 35-минутного воздействия света начинается адаптация к осветительным условиям, в то время как при однофазном включении ламп адаптации к этому времени почти не отмечается.

После прекращения действия люминесцентных ламп, включенных на три фазы сети, отмечалась также и меньшая длительность следовых явлений. Так, при включении ламп на три фазы сети восстановление  $\alpha$ -индекса и амплитуд  $\alpha$ -ритма до 95% от исходных величин наблюдалось через 2.4 сек., в то время как при однофазном включении ламп  $\alpha$ -индекс восстанавливался на 90%, а амплитуда на 87% через 3.4 сек.

## ВЫВОДЫ

1. Пульсирующий световой поток с глубиной колебаний в 55% (включение ламп на одну фазу сети) оказывает большее раздражающее действие на кору головного мозга, вызывая большие сдвиги в ЭЭГ, чем световой поток с глубиной колебаний в 5% (трехфазное включение ламп).

2. Действие пульсаций светового потока сказывается уже в первый момент и сохраняется на протяжении всего изучавшегося времени освещения (42 мин.).

3. Пульсации светового потока люминесцентных ламп вызывают замедление адаптации к световому раздражителю.

4. Пульсации светового потока люминесцентных ламп приводят к замедлению восстановления  $\alpha$ -активности после прекращения действия светового раздражителя.

5. При применении люминесцентных ламп в промышленности, учебных и общественных зданиях необходимо снижать пульсации светового потока.

## ЛИТЕРАТУРА

- Введенский Н. Е. (1884), Полн. собр. соч., 1, Изд. ЛГУ, 1951.  
 Воробьев А. В. и Н. Н. Дзидзишвили, Тр. Физиолог. инст. АН СССР, № 5, 268, 1943.  
 Гершун Г. В., Ю. А. Клас, М. Н. Ливанов, А. М. Марусева, Тр. Физиолог. инст. им. И. П. Павлова, 1, 115, 1945.  
 Голиков Н. В. В сб.: Вопросы теории и практики электроэнцефалографии. Л., 3, 1956.  
 Копылов А. Г. В сб.: Вопросы теории и практики электроэнцефалографии. Л., 96, 1956.  
 Лев А. А. Метод электроэнцефалографических кривых реактивности в оценке функционального состояния коры головного мозга животных и человека. Дисс. Л., 1952.  
 Ливанов М. Н., Сов. невропатол., психиатр. и психогиг., 3, 1934.  
 Черниловская Ф. М., Светотехника, № 12, 6, 1958.  
 Шпильберг П. И., Физиолог. журн. СССР, 28, № 2—3, 203, 1940.

INFLUENCE OF A PULSATING LIGHT FLOW  
 OF LUMINESCENT LAMPS ON THE EEG IN MAN

By *I. M. Velikson* and *F. M. Chernilovskaia*

From the Research Institute of Occupational Hygiene and Professional Diseases,  
 Moscow

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ В ПОКОЕ И ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ ПРИ МНОГОЧАСОВОМ ВДЫХАНИИ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ С БОЛЬШИМ СОДЕРЖАНИЕМ КИСЛОРОДА

С. А. Брандис, С. А. Исельсон и В. Н. Пиловицкая

Сталино, Донбасс

Современные каменноугольные и горнорудные шахты представляют собою крупные высокомеханизированные предприятия, подземные выработки которых все дальше и дальше уходят вглубь и в некоторых случаях располагаются на расстоянии многих километров от рудничного двора.

В связи с указанным весьма усложняются и задачи горноспасателей, так как длительность пребывания их в неблагоприятных условиях окружающей среды, в атмосфере, зачастую совершенно непригодной для дыхания, резко увеличивается. Поэтому возникает вопрос об увеличении срока защитного действия кислорододыхательных аппаратов. Конструирование изолирующих респираторов многочасового действия требует тщательного изучения влияния на человека высокого парциального давления кислорода и установления тех предельных его параметров, которые не будут вызывать в организме серьезных функциональных изменений.

Вопрос о влиянии больших концентраций кислорода на животный организм уже в прошлом веке привлек к себе внимание исследователей (Regnault et Reiset, 1849; Bert, 1878, и др.).

В отношении влияния вдыхания газовых смесей с повышенным содержанием кислорода в условиях нормального атмосферного давления Бенке, Джонсон, Поппен и Мотли (Behnke, Johnson, Poppen, Motley, 1936) обнаружили лейкоцитоз с эозинофилией, повышение кровяного давления, усиление дыхания и нарушение нервно-мышечной координации и скорости реакции на световой и звуковой раздражители.

Г. Н. Зилов (1953, 1956, 1959) обнаружил, что при вдыхании газовых смесей с содержанием кислорода до 35% никаких функциональных изменений в условнорефлекторной деятельности и газообмене различных животных (крысы, собаки) не наблюдалось: 2—3-часовая экспозиция к 35—55%-му кислороду вызывала повышение газообмена до 30% (по количеству выделенной углекислоты) и повышение условнорефлекторной деятельности; вдыхание высоких концентраций кислорода (от 55 до 96%) приводило к снижению газообмена, понижению условных рефлексов, а в ряде случаев к временному их угашению.

П. А. Сорокин (1958), исследуя влияние вдыхания кислорода, отметил, что у отдельных испытуемых после 5-часового вдыхания наблюдались изменения гемодинамики и некоторая слабость и утомление; у одного имелось ощущение онемения кистей рук.

Гейманн и соавторы (Heumann а. о., 1953) наблюдали у 48 здоровых лиц при вдыхании 85—100%-го кислорода уменьшение кровотока в мозговых сосудах и увеличение сопротивления в них. Вдыхание 50%-го кислорода вызывало такие же, но менее выраженные изменения. Аналогичный эффект наблюдали на сосудах сетчатки Франсуа, Вандерстретен и Нитенс (Francois, Vanderstraeten, Neetens, 1954).

И. М. Дедюлин (1949) при 6-часовом вдыхании кислорода обнаружил снижение активной щелочности крови, повышение общей суммы органических кислот в крови и другие изменения, давшие ему основание полагать, что в организме развивается состоя-

ние негазового ацидоза. Л. И. Грачев (1956) сообщает, что 3-часовое воздействие высокого парциального давления кислорода позволило ему обнаружить почти во всех исследованных органах экспериментальных животных значительное угнетение окислительно-восстановительных процессов, уменьшение содержания в них аскорбиновой кислоты и всех фракций тиамин, увеличение активности карбонангидразы, что трактуется автором как показатель нарушения обмена. Значительное уменьшение содержания аскорбиновой кислоты в надпочечниках белых крыс нашел также Ашан (Ashan, 1953).

Бин (Beap, 1945), З. С. Гершенович и А. А. Кричевская (1950, 1954, 1956) и ряд других авторов придерживаются той точки зрения, что кислород при повышенном давлении вызывает изменения в структуре и свойствах белковых молекул, что влияет на нарушение ферментативной активности и вызывает изменения во всем ходе обмена веществ.

Исходя из этих данных, мы считали необходимым при изучении влияния на функциональное состояние организма длительного вдыхания различных концентраций кислорода исследовать наряду с функциями дыхания, кровообращения, нервной системы также газовый обмен и состояние окислительно-восстановительных процессов в организме.

## МЕТОДИКА

Исследования проводились как в покое с 5 неадаптированными к систематическому вдыханию кислорода испытуемыми и 5 горноспасателями (27 опытов), так и при выполнении 6-часовой работы на велоэргометре в 20 000 кг/м в час — 6 горноспасателей (30 опытов).

В покое опыты проводились следующим образом. Испытуемые являлись натошак, освобождали мочевой пузырь, взвешивались, укладывались на кушетку и включались в дыхательную систему по открытой схеме; в контрольных опытах покой длился 4 часа, в опытах с кислородом после взятия исходных данных испытуемые переходили на вдыхание газовых смесей с содержанием кислорода в 50 и 96% в течение 4 часов. Температура тела и порог электрической чувствительности исследовались через 2 и 4 часа. Все остальные исследования проводились каждые 30—60 мин.

При исследовании с физической работой после прихода в лабораторию (через 1—1.5 часа после домашнего завтрака) испытуемые полчаса отдыхали сидя, после чего брались все исходные показатели, включая взвешивание и взятие крови и мочи. Затем испытуемый включался в дыхательную систему по закрытой схеме. Для регулирования условий дыхания (содержание кислорода, температура и влажность вдыхаемой газовой смеси, сопротивление дыханию и т. д.) инженером В. И. Романенко был сконструирован по заданию нашей лаборатории специальный «стенд-респиратор». Режим работы на велоэргометре составлялся из 10 мин. работы в темпе 60 оборотов педалей в 1 мин. при нагрузке 20 000 кг/м в час и средней мощности работы 500 кг/м в 1 мин. и 5 мин. отдыха. Каждые полчаса исследовались частота пульса и дыхания, легочная вентиляция и состав вдыхаемого и выдыхаемого воздуха. Каждый час, кроме того, исследовались кровяное давление, температура тела и кожи, возбудимость зрительного анализатора. По окончании 6-часовой работы снимались все физиологические показатели, а также брались кровь и моча, производилось взвешивание.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты физиологических исследований приведены в табл. 1.

Показатели, характеризующие состояние кровообращения; более или менее четко выявляют так называемый «кислородный эффект». Частота пульса как в покое, так и при работе с увеличением концентрации вдыхаемого кислорода уменьшается. Кровяное давление и в покое и во время работы выявляет выраженную тенденцию к повышению, причем во время работы несколько больше возрастает максимальное давление, а в покое — минимальное. Изменения максимального давления идут почти параллельно увеличению концентрации вдыхаемого кислорода, особенно во время работы.

Достаточно наглядны и изменения систолического и минутного объема крови. Последний при вдыхании кислорода закономерно уменьшается. Наши данные, следовательно, совпадают с данными П. А. Сорокина (1958), а также с данными Бачиери, Лотти и Васале (Baschieri, Lotti, Vasale, 1956).

Температура тела в покое при вдыхании кислорода снижается тем больше, чем выше концентрация вдыхаемого кислорода. Однако снижение

это в покое не превышает в среднем 0.2—0.3°. Во время работы температура почти не изменяется, колеблясь в пределах 0.1°. Электрическая возбудимость зрительного анализатора в пределах достоверности существенно не изменялась.

При исследовании дыхания оказалось, что во время работы наблюдается закономерное, хотя и небольшое, уменьшение объемов дыхания с увеличением концентрации вдыхаемого кислорода (табл. 1). Это уменьшение объема дыхания, как увидим далее, коррелировало с уменьшением газового обмена при выполнении физической работы.

В покое с увеличением концентрации вдыхаемого кислорода несколько возрастает объем легочной вентиляции, объем же выделяемой углекислоты у всех испытуемых остается практически неизменным. Процент потребления кислорода из вдыхаемых смесей также несколько увеличивается, а процент выделяемой углекислоты, наоборот, уменьшается. По-видимому, мы, с одной стороны, имеем дело с более интенсивной утилизацией кислорода из вдыхаемых газовых смесей, а с другой — с изменением характера окислительных процессов. Об этом свидетельствует, хотя и незначительно, снижение дыхательного коэффициента.

Иначе обстоит дело с потреблением кислорода и выделением углекислоты во время работы. Объем потребляемого кислорода и объем выделенной углекислоты с увеличением концентрации вдыхаемого кислорода прогрессивно падают, хотя уменьшение количества выделяемой углекислоты отстает от уменьшения количества потребляемого кислорода. Так, если принять величины потребления кислорода и выделения углекислоты во время работы при дыхании воздухом за 100, то для 40%-й концентрации они составят соответственно 90 и 98%, а для 80%-й уже 75 и 84%.

Как уже указывалось, объем легочной вентиляции во время работы при всех вариантах опытов оставался более или менее стабильным. Процент же потребления кислорода из газовых смесей с повышением концентрации его в них неуклонно снижался, достигая для 96%-го кислорода величины в 3.9 против 5.2 на воздухе. Выделение же углекислоты, наоборот, изменялось сравнительно мало: при небольшом увеличении концентрации вдыхаемого кислорода (40—60%) выделение ее даже несколько возросло — на 0.3%, а для высоких концентраций (80—96%) несколько уменьшилось — на 0.2%.

Наряду с этим наблюдался рост дыхательного коэффициента, который с 0.90 при работе на воздухе, неуклонно увеличиваясь с повышением концентрации кислорода во вдыхаемой газовой смеси, достигает 1.15 при 80%-й концентрации и 1.19 при 96%-й.

Полученный нами высокий дыхательный коэффициент свидетельствует о неблагоприятных изменениях в физиологическом состоянии испытуемых.

Биохимические сдвиги у испытуемых представлены в табл. 2.

Среднее содержание сахара в крови у неадаптированных к вдыханию кислорода испытуемых колеблется в пределах 92—98 мг%, у горноспасателей в пределах 77—90 мг%. Если учесть величины средних ошибок, то можно прийти к заключению, что ни вдыхание 50%-го, ни вдыхание 96%-го кислорода не вызывают достоверных изменений в содержании сахара в крови в покое.

Большинство авторов, занимавшихся изучением динамики содержания сахара в крови после длительной физической работы (Владимиров, 1926; Гольдберг и Лепская, 1928; Christensen, 1931, и др.), указывают на большее или меньшее его снижение. Как видно из данных табл. 2, при выполнении 6-часовой работы в обычных условиях снижение содержания сахара по отношению к исходному его количеству

Т а б л

Средние показатели кровообращения, температуры тела и кожи, возбудимости зрительных нервов с различным содержанием кислорода

Показатели	Покой — неадаптированные						Покой — горноспаса			
	воздух O <sub>2</sub> — 50%				O <sub>2</sub> — 96%		воздух		O <sub>2</sub> — 50%	
	ч. изм.	M ± m	ч. изм.	M ± m	ч. изм.	M ± m	ч. изм.	M ± m	ч. изм.	M ± m
Частота пульса (в уд./мин.) . . . . .	15	60.5 ± 2.27	20	53.3 ± 2.32	20	49.5 ± 2.10	21	59.7 ± 1.09	20	51.8 ± 1.25
Максимальное кровяное давление (в мм рт. ст.) . . . . .	15	111 ± 1.46	20	112.2 ± 2.39	20	114.5 ± 2.53	12	112.3 ± 0.81	20	109.7 ± 1.17
Минимальное кровяное давление (в мм рт. ст.) . . . . .	15	77.4 ± 1.00	20	79.3 ± 1.18	20	79.0 ± 1.41	12	74.5 ± 1.58	20	76.6 ± 0.96
Амплитуда кровяного давления (систолический объем) . . . . .		33.6		32.9		35.5		37.8		33.1
Минутный объем крови (расчетный) . . . . .		2.033		1.753		1.757		2.257		1.714
Температура тела (в °C) . . . . .	15	36.1 ± 0.06	10	36.0 ± 0.11	10	35.9 ± 0.10	12	36.4 ± 0.07	10	36.1 ± 0.10
Температура кожи лба (в °C) . . . . .	15	31.8 ± 0.11	18	31.7 ± 0.12	18	32.2 ± 0.13	12	31.8 ± 0.14	20	31.8 ± 0.08
Порог электрической чувствительности глаза (в в) . . . . .	15	6.4 ± 1.20	10	8.3 ± 1.94	10	11.2 ± 2.25	11	5.9 ± 0.92	10	5.1 ± 0.96
Потребление кислорода (в мл/мин.) . . . . .	15	224.4 ± 6.46	19	247.1 ± 9.98	18	260.0 ± 22.2	18	235.6 ± 7.56	20	267.6 ± 9.87
Выделение углекислоты (в мл/мин.) . . . . .	15	173.9 ± 6.61	20	172.9 ± 4.82	20	172.4 ± 4.72	18	190.2 ± 7.50	20	209.8 ± 4.79
Потребление кислорода (в %) . . . . .	20	3.7 ± 0.23	20	4.3 ± 0.31	20	3.9 ± 0.18	16	3.1 ± 0.13	20	3.5 ± 0.15
Выделение углекислоты (в %) . . . . .	20	3.1 ± 0.15	20	2.9 ± 0.15	20	2.5 ± 0.14	16	2.6 ± 0.07	20	2.7 ± 0.06
Дыхательный коэффициент . . . . .	15	0.77 ± 0.03	19	0.71 ± 0.02	20	0.71 ± 0.08	18	0.80 ± 0.01	20	0.80 ± 0.04
Легочная вентиляция (в л/мин.) . . . . .	15	6.76 ± 0.35	20	6.23 ± 0.35	20	7.08 ± 0.38	18	7.43 ± 0.32	20	7.74 ± 0.20
Частота дыхания (дых./мин.) . . . . .	15	15.6 ± 1.14	20	15.3 ± 1.35	20	14.7 ± 1.29	21	16.8 ± 0.70	20	15.8 ± 0.62
Средний объем одного дыхания (в мл) . . . . .		433		407		481		442		489

Примечание: ч. изм. — число измерений.

Т а б л

Некоторые биохимические показатели в покое и во время работы

Показатели	Покой — неадаптированные					
	воздух исходный	O <sub>2</sub> — 50%		O <sub>2</sub> — 96%		
		2 часа	4 часа	2 часа	4 часа	
Сахар крови в мг % (для работы пророст к исходному в %) . . . . .	92 ± 1.32	94 ± 3.63	96 ± 2.24	98 ± 2.41	96 ± 3.35	
Вакат-O <sub>2</sub> крови в мг % (для работы пророст к исходному в %) . . . . .	171.9 ± 6.74	178.2 ± 20.71	203 ± 24.94	212.6 ± 28.19	268.6 ± 25.67	
Потоотделение (в г/мин.) . . . . .	0.70	—	0.72	—	1.06	
Диурез (в мл/час.) . . . . .	115.8	—	98.2	—	66.5	
Выделение азота концентрация в моче (в мг/мл) . . . . .	6.75	—	5.80	—	8.40	
всего выделено в среднем за час (в мг) . . . . .	782.0	—	633.8	—	647.2	
В том числе Выделено с мочой (в мг) . . . . .	719.0	—	569.0	—	554.4	
Выделено потом (в мг) . . . . .	63.0	—	64.8	—	82.8	
Окислительный коэффициент мочи . . . . .	1.07	—	0.95	—	0.96	

ица 1

тельного анализатора и дыхания в покое и во время работы при вдыхании смеси  
нанием кислорода

сатели		Работа (20 000 кг/м в час) — горноспасатели									
O <sub>2</sub> — 96%		Воздух O <sub>2</sub> — 40%				O <sub>2</sub> — 60%		O <sub>2</sub> — 80%		O <sub>2</sub> — 96%	
ч. изм.	M ± m	ч. изм.	M ± m	ч. изм.	M ± m	ч. изм.	M ± m	ч. изм.	M ± m	ч. изм.	M ± m
20	51.4 ± 1.05	44	99.0 ± 1.47	36	86.1 ± 1.85	36	86.0 ± 1.70	36	83.3 ± 1.65	35	86.2 ± 2.16
20	113.8 ± 1.59	39	123.7 ± 1.17	36	123.6 ± 1.21	35	126.7 ± 1.53	36	126.3 ± 1.40	35	127.8 ± 1.52
20	77.4 ± 1.53	39	73.5 ± 0.76	36	75.1 ± 0.78	35	71.0 ± 0.66	36	73.0 ± 0.75	35	74.3 ± 0.78
	36.4		50.2		48.5		55.2		53.3		53.5
	1.871		4.970		4.176		4.790		4.440		4.612
10	36.1 ± 0.11	34	36.7 ± 0.05	36	36.6 ± 0.05	29	36.7 ± 0.06	36	36.6 ± 0.04	35	36.7 ± 0.06
19	31.9 ± 0.13	36	31.8 ± 0.13	37	30.2 ± 0.20	30	31.2 ± 0.19	36	30.5 ± 0.16	34	31.2 ± 0.16
10	6.3 ± 0.68	38	3.0 ± 0.35	36	5.9 ± 0.32	36	4.6 ± 0.31	36	4.2 ± 0.55	35	5.0 ± 0.44
20	296.9 ± 20.0	43	1376 ± 7.65	34	1249 ± 7.78	36	1157 ± 9.09	31	1029 ± 8.85	34	1047 ± 11.41
20	199.5 ± 4.58	43	1244 ± 6.55	34	1221 ± 6.11	36	1199 ± 6.54	32	1172 ± 6.54	35	1213 ± 6.48
20	3.7 ± 0.22	43	5.2 ± 0.07	35	4.9 ± 0.09	34	4.6 ± 0.10	32	4.0 ± 0.09	33	3.9 ± 0.14
20	2.4 ± 0.06	43	4.7 ± 0.06	35	4.8 ± 0.07	36	4.8 ± 0.05	33	4.5 ± 0.06	35	4.5 ± 0.05
20	0.73 ± 0.06	43	0.90 ± 0.09	34	0.97 ± 0.013	36	1.04 ± 0.020	31	1.15 ± 0.025	34	1.19 ± 0.38
20	8.18 ± 0.28	43	26.44 ± 0.49	35	25.97 ± 0.52	36	25.17 ± 0.47	33	26.01 ± 0.42	35	26.93 ± 0.84
20	18.0 ± 0.58	46	23.4 ± 0.65	36	23.4 ± 0.55	30	23.7 ± 0.76	36	23.7 ± 0.74	34	25.2 ± 0.54
	455		1130		1109		1062		1074		1070

ица 2

при вдыхании газовых смесей с различным содержанием кислорода

Покой — горноспасатели					Работа (20 000 кг/час) — горноспасатели			
воздух исходный	O <sub>2</sub> — 50%		O <sub>2</sub> — 96%		воздух 6 часов	O <sub>2</sub> — 40%	O <sub>2</sub> — 60%	O <sub>2</sub> — 80%
	2 часа	4 часа	2 часа	4 часа		6 часов		
89 ± 3.63	88 ± 6.23	90 ± 4.22	79 ± 2.52	77 ± 3.63	84.9	75.1	80.2	72.8
178.9 ± 9.27	153.7 ± 28.33	205.5 ± 19.13	165.6 ± 9.82	256.2 ± 12.65	16.1	25.8	34.0	60.7
—	—	0.99	—	0.99	3.27	3.92	3.63	4.17
124.5	—	138.6	—	122.5	63.8	55.1	52.7	51.8
—	—	—	—	—	10.50	10.60	12.00	10.00
—	—	—	—	—	966.3	936.8	961.7	896.3
—	—	—	—	—	672.0	584.0	635.0	521.0
—	—	—	—	—	294.3	352.8	326.7	375.3
1.07	—	1.05	—	1.17	1.00	0.94	0.92	1.31

составило в среднем 15%. Вдыхание кислорода увеличило это снижение до 20—27%. Следовательно, для состояния покоя мы не получили подтверждения данных Якоби (Jacoby, 1926) и некоторых других авторов о том, что вдыхание кислорода снижало концентрацию сахара в крови и его (кислорода) воздействие проявлялось лишь тогда, когда к организму были предъявлены повышенные требования, связанные с длительной физической работой.

Значительный интерес, на наш взгляд, представляет исследованный нами показатель уровня окислительных процессов так называемый вакат-кислорода. Последний для человека в покое, по данным Георгиевской, колеблется в пределах 119—208 мг%. Как видно из данных табл. 2, как средние исходные величины ваката-кислорода у всех наших испытуемых, так и величины его, обнаруженные при 4-часовом вдыхании 50%-го кислорода и даже при 2-часовом вдыхании 96%-го, не увеличили его за пределы колебаний, свойственных здоровому человеку в обычных условиях. Однако удлинение вдыхания 96%-го кислорода до 4 часов приводило как у неадаптированных, так и у горноспасателей к значительному увеличению ваката-кислорода крови — на 56 и 43% соответственно. Проверка убедила нас в полной достоверности разницы по сравнению с дыханием воздухом (показатели достоверности свыше 13—14). Следовательно, в состоянии полного покоя 4-часовое вдыхание 96%-го кислорода приводит к значительному накоплению в крови недоокисленных продуктов.

При выполнении физической работы количество недоокисленных продуктов может значительно увеличиваться в том случае, если организм поставлен в условия, затрудняющие как окислительно-восстановительные процессы, так и выведение недоокисленных продуктов. Необходимо подчеркнуть, что хотя применявшаяся нами работа на велоэргометре характеризовалась валовым расходом энергии в 6.5 ккал./мин., ее все же можно считать не очень тяжелой, так как работа все время чередовалась с перерывами на отдых, составлявшими  $\frac{1}{3}$  всего времени опыта. Это чередование работы с отдыхом создавало более или менее удовлетворительные условия для освобождения организма от продуктов промежуточного обмена. И действительно, при дыхании воздухом вакат-кислорода возрастал к концу 6-часовой работы всего на 16%. Вдыхание же кислорода увеличивало количество недоокисленных продуктов, прогрессивно нараставшее с увеличением концентрации, и уже для 80%-й концентрации вдыхаемого кислорода прирост ваката-кислорода составил 60%, а абсолютное его количество возросло до 368 мг%. Эти наши данные целиком совпадают с приведенными соображениями И. М. Дедюлина о том, что длительное вдыхание кислорода создает в организме состояние негазового ацидоза.

Небезынтересными являются и те показатели, которые могут характеризовать возможности выведения из организма недоокисленных продуктов и реализацию этих возможностей. Вдыхание больших концентраций кислорода как в покое, так и при работе вызывало значительное увеличение потоотделения (в покое на 51% в среднем, при работе на 27.5%). Параллельно этому шло снижение диуреза. Из сопоставления этих величин напрашивается представление о некоей тенденции к компенсаторному увеличению потоотделения, которое, возможно, связано с необходимостью выведения продуктов обмена при снижении выведения азота мочой. И действительно, если сопоставить, например, выведение азота с мочой при дыхании воздухом и кислородом в больших концентрациях, можно убедиться в том, что выведение азота с мочой и в покое, и при работе с увеличением концентрации вдыхаемого кислорода значительно уменьшается. Выведение азота с потом,



естественно, не может компенсировать недостаток выведения его с мочой. В нашем случае, в покое при высокой концентрации вдыхаемого кислорода, выведение азота с потом увеличилось на 20 мг в час, а при работе — на 81 мг в час, в то время как уменьшение его выведения с мочой в покое составило 165 мг/час., а при работе 151 мг/час.

Подводя итоги анализа полученных нами физиологических и биохимических изменений, происходящих в организме при вдыхании газовых смесей с различным содержанием кислорода, можно констатировать, что наиболее выраженные изменения наступают в обменных процессах. В согласии с имеющимися в литературе данными нам удалось установить, что длительное вдыхание кислорода нарушает окислительно-восстановительные процессы в организме, ведет к более или менее значительному накоплению продуктов интермедиарного обмена. Надо думать, что в основе этих изменений лежит, с одной стороны, как указывают очень многие исследователи (см. обзор Бина), вызываемое высоким парциальным давлением кислорода торможение активной деятельности основных ферментных систем организма, а с другой — столь важный фактор, как выключение из нормального функционирования такого «истинного щелочного резерва», каким является гемоглобин крови.

Последнее связано, надо полагать, с тем, что при гипероксии весь гемоглобин насыщается кислородом и циркулирует в организме в окисленной его форме, не редуцируясь, а потребление кислорода, идущего на окислительные нужды, происходит, как полагает Н. В. Лазарев (1941), за счет кислорода, насыщающего плазму и ткани. Этим, по-видимому, вполне можно объяснить и прогрессирующее со степенью гипероксии увеличение при работе дыхательного коэффициента, которое связано не столько с уменьшением потребления кислорода, сколько с относительным увеличением выделения углекислоты.

Надо думать, что именно эти обменные нарушения и лежат в основе ряда физиологических изменений, которые наблюдались нами при многочасовом вдыхании различных, особенно высоких концентраций кислорода.

В заключение следует указать, что длительное многочасовое вдыхание кислорода, особенно при высоких его концентрациях, неблагоприятно. Поэтому в основу конструирования кислорододыхательной аппаратуры, в частности изолирующих респираторов многочасового действия, должно быть положено обеспечение безопасного пользования ими при концентрации кислорода во вдыхаемой газовой смеси не более 40—50%. При необходимости пользования кислорододыхательной аппаратурой с высокими концентрациями вдыхаемого кислорода (более 60%) время пользования должно быть ограничено 3—4 часами.

Тренировка к любому виду деятельности, особенно сопровождающемуся интенсивным обменом и образованием большого количества промежуточных продуктов, не должна по возможности сочетаться с длительным вдыханием кислорода в больших концентрациях.

Исходя из того, что вдыхание кислорода, по-видимому, в связи с нарушением деятельности системы окислительных ферментов, а также в связи с ослаблением процессов анаэробного синтеза ослабляет эффект тренировки к физической деятельности (Яковлев и соавторы, 1957), следует максимально ограничить учебно-тренировочные занятия горноспасателей с включением в респираторы, кроме, конечно, тренировок, проводящихся в условиях атмосферы, несоместимой с безопасным дыханием человека.

Возможно, что и приспособление к пребыванию в условиях высокой окружающей температуры при тренировке горноспасателей в респираторах протекает более эффективно в состоянии покоя, чем при выполнении фи-

зической работы (Иосельсон, 1954, 1957, 1959) потому, что в данном случае меньшая эффективность адаптационных процессов связана с вызываемыми кислородом нарушениями метаболизма и выведением метаболитов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- В л а д и м и р о в Г. Е. В кн.: Вопросы физиологии военного труда и военного профподбора, в. 1, М., 1926.
- Г е р ш е н о в и ч З. С., А. А. К р и ч е в с к а я, Укр. Біохім. журн., 22, 3, 1950; ДАН СССР, 95, 4, 1954, 106, 3, 1956.
- Г е о р г и е в с к а я. Цит. по: М. Л. Петрунькин и А. М. Петрунькина. Практическая биохимия. М., 1956.
- Г о л ь д б е р г и Л е п с к а я, Организация труда, 4, 1928.
- Г р а ч е в Л. И., Тр. ВММА, 55, 1956.
- Д е д ь о л и н И. М. В сб.: Гипоксия. Киев, 1949.
- З и л о в Г. Н., XVI совещ. по пробл. в. н. д. Тез. и рефер. докл., Изд. АН СССР, 1953; Функциональное состояние высших отделов ц. н. с. и газовый обмен в условиях гипероксии. Дисс. М., 1956; IX съезд Всесоюзн. общ. физиолог., биохим., фармаколог., I, Тез. докл. (физиолог.), Изд. АН СССР, 1959.
- И о с е л ь с о н С. А., Тез. докл. научн. сессии, посв. 300-летию воссоединения Украины с Россией, Сталино, Донбасс, 1954; в сб.: Вопросы горноспасательного дела. Киев, 1957; Тр. Сталинск. мед. инст., 9, сообщ. I и II; Сталино, 1959; Физиологическое обоснование метода повышения выносливости горноспасателей к интенсивным тепловым воздействиям. Дисс. 1959.
- Л а з а р е в Н. В., Биологическое действие газов под давлением. Л., 1941.
- С о р о к и н П. А. В сб.: Функции организма в условиях измененной газовой среды, в. 2, Изд. АН СССР, 1958.
- Я к о в л е в Н. Н., Л. Г. Л е ш к е в и ч, В. И. Ш а п о ш н и к о в а, Укр. біохім. журн., 29, 3, 1957.
- A s h a n G. Цит. по: рефер. № 22189 в рефер. журн. «Биология», 9, 1955.
- V a s c h i e r i, L o t t i, V a s a l e, R a s s e g n a Fisiopatol., clin. e terap., 28, 5, 1956.
- B e a n e I. W., Physiol. Rev., 25, 1, 1945.
- B e h n k e, J o h n s o n, P o r p e n, M o t l e y, Am. Journ. Physiol., 114, 565, 1936.
- B e r t P. La pression barometrique. Paris, 1878.
- C h r i s t e n s e n, Arbeitsphysiologie, 4, 128, 1931.
- F r a n c o i s, V a n d e r s t r a e t e n, N e e t e n s, Ophthalmologica, 128, 2, 1954.
- H e y m a n n, P a t t e r s o n, D u k e, B a t t e y, New England Journ. med., 249, 6, 1953.
- J a c o b y H., Deutsche med. Wochenschr., 29, 1926.
- R e g n a u l t e t R e i s e t, Ann. chim., 26, 299, 1849.

Поступило 3 VII 1959

### FUNCTIONAL CHANGES IN THE ORGANISM AT REST AND DURING EXERCISE UNDER CONDITIONS OF A PROLONGED INSPIRATION OF GAS MIXTURES WITH A HIGH OXYGEN CONTENT

By *S. A. Brandis, S. A. Josselson and V. L. Pilovitzkaia*

From the Central Research Laboratory for the Mining Salvation Work, Stalino, Donbass

The construction of isolate respirators intended for many hours functioning for use in the mining salvation work requires physiological basis. Experiments were performed both at rest and during a 6 hour exercise on the veloergometre with a load of 20 000 kg/m per hour. The characteristics of the functional state of blood circulation and respiration were studied, as well as the gas exchange and a number of characteristics of the oxidation-reduction processes in tissues.

A prolonged inspiration of oxygen at a normal atmospheric pressure evokes quite a number of functional changes in the organism: slowing down

of pulse, in most cases rise of blood pressure, decrease of body and skin temperature, increase of sweating, decrease of electrical excitability of the visual analyser, increase of vakat-oxygen in blood and urine, decrease in the nitrogen excretion from the organism, etc.

A suggestion is advanced that all functional changes setting in during prolonged inspiration of gas mixtures with high oxygen content are based on the disturbances of gas and intermediary metabolism in the organism.

The results obtained permit to conclude that the oxygen content in the gas mixtures for respiration through the oxygen-respirators of many hours functioning should not exceed 40—50% and that in case the oxygen content exceeds 60% the time of using the apparatus should be limited to 3—4 hours.

## ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА ПРИ УТОМЛЕНИИ

*Р. С. Персон*

Лаборатория физиологии Центрального научно-исследовательского института экспертизы трудоспособности и организации труда инвалидов, Москва

В трактовке вопроса об утомлении при мышечной работе давно наметились две основные тенденции. Первая из них придает преимущественное значение в развитии утомления периферическим процессам, вторая, нашедшая яркое выражение в известной работе И. М. Сеченова (1903), — центральным.

В последние годы ряд авторов поддерживает теорию периферического утомления, аргументируя данными, полученными с помощью электромиографической методики (Лейник, 1951; Merton, 1954, 1956).

Электромиографическому исследованию утомления у человека посвящен ряд работ. Большинство исследователей применяло накожные электроды, регистрирующие суммарную электромиограмму (ЭМГ), представляющую собой результат интерференции токов действия многих двигательных единиц, находящихся в области отведения.

Пипер (Piper, 1909) еще 50 лет назад обнаружил, что при утомлении частота суммарной ЭМГ снижается при одновременном увеличении длительности каждого колебания. Что же касается общей величины электрической активности, то многими работами (Dempster a. Finerty, 1947; Looibourow, 1948; Lippold, 1952, и др.) показано, что амплитуда суммарной ЭМГ, а еще точнее — интегрированная электрическая активность прямо пропорциональна силе, развиваемой мышцей. Это связано с тем, что увеличение силы сокращения обеспечивается включением большего количества двигательных единиц (и отчасти — увеличением частоты их разрядов). Отсюда ясно, что количественная оценка ЭМГ возможна только при учете силы, развиваемой мышцей.

Регистрация ЭМГ мышц во время утомления при максимальном усилии, а также вообще без стандартизации усилия, проведенная многими авторами (Piper, 1909; Dittler u. Günther, 1914; Henriques a. Lindhard, 1920; Шпильберг, 1936; Лейник, 1940, 1951, и др.), естественно, установила снижение электрической активности, что является лишь отражением того очевидного факта, что сила сокращения при утомлении снижается. Само по себе это не дает ничего нового для понимания сущности процесса утомления, так как не открывает путей для анализа вопроса о причинах этого снижения.

Регистрация ЭМГ при постоянной нагрузке может вскрыть более тонкие соотношения. На важность такого подхода впервые указали Кобб и Форбс (Cobb a. Forbes, 1923), которые установили чрезвычайно интересный феномен: при постоянстве нагрузки по мере развития утомления, наряду со снижением частоты, наблюдается возрастание амплитуды суммарной ЭМГ.

Факт увеличения электрической активности мышцы при утомлении был затем подтвержден как для статической, так и для динамической работы рядом исследователей (Altenburger, 1924; Haas, 1928; Knolton, Bennett a. McClure, 1951; Scherrer, Samson et Soula, 1954; Edwards a. Lippold, 1956; Павлова, 1957; Либерман, 1957; Скрыбин, 1959).

Задача настоящей работы — выяснить роль некоторых факторов, обуславливающих изменение электрической активности мышцы при утомлении в условиях постоянной нагрузки.

#### МЕТОДИКА

Испытуемыми служили здоровые мужчины и женщины в возрасте 18—40 лет (12 человек). Колебания потенциала мышц отводились с поверхности кожи с помощью усилителя, пропускавшего без искажения частоты от 0.2 до 4000 гц, и регистрировались на шлейфном осциллографе. Записывалась ЭМГ при статической работе с постоянной нагрузкой. Работа продолжалась до того момента, когда вследствие развития утомления дальнейшее поддержание данного усилия оказывалось невозможным. ЭМГ регистрировалась в начале работы и перед ее прекращением. В ряде опытов регистрировалась механограмма. Всего поставлено 75 опытов. Часть ЭМГ обработана количественно. Измерялась величина каждого зубца и подсчитывались количество зубцов за 1 сек. и средняя амплитуда колебаний потенциала. Определялось процентное отношение этих величин при утомлении к исходному уровню их в начале работы.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Работа была начата с воспроизведения описанного в литературе феномена. Регистрировалась ЭМГ двуглавой мышцы плеча испытуемого, удерживающего согнутым под прямым углом предплечьем гирию, подве-

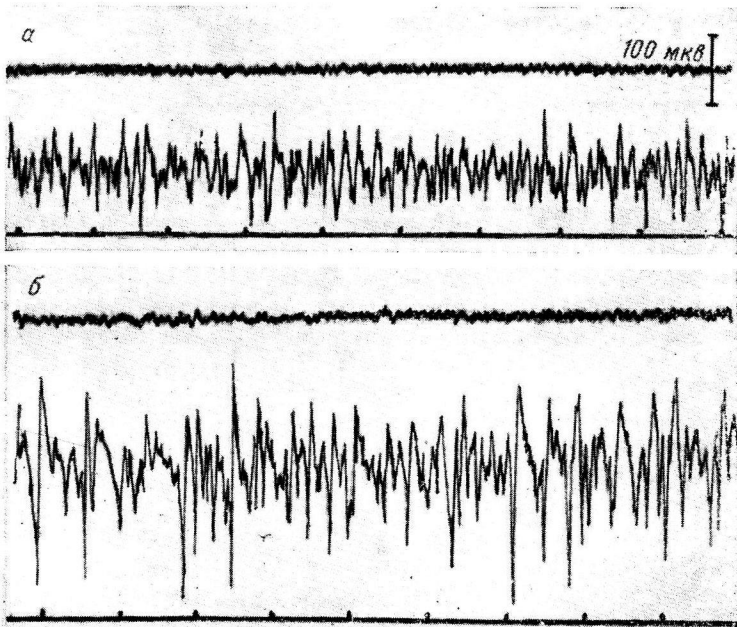


Рис. 1. Электрическая активность мышц при удержании груза в 5 кг в начале (а) и через 7 мин. работы (б).

Сверху вниз: ЭМГ mm. triceps, biceps; отметка времени (0.1 сек.).

шенную у запястья. Были поставлены опыты с грузом в 5 и 7 кг. В подавляющем большинстве случаев перед отказом от работы, который наступал обычно через 7—10 мин., наблюдалось увеличение амплитуды ЭМГ в 1.5—2 раза и более и снижение частоты на 10—30% (рис. 1).

Дальнейшие опыты были поставлены с целью выяснить зависимость изменений ЭМГ при утомлении от нагрузки. Большинство перечисленных выше авторов работало в диапазоне средних нагрузок. В отношении

малых нагрузок, при которых утомление развивается медленно, в литературе имеются разноречивые данные. Альтенбургер (Altenburger, 1924) и Хаас (Haas, 1928), регистрируя ЭМГ р. acromialis дельтовидной мышцы

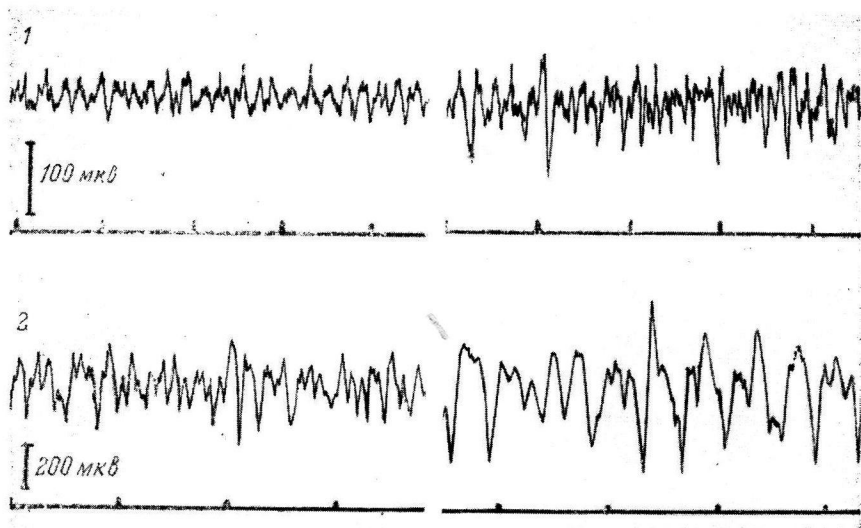


Рис. 2. Электрическая активность *m. biceps* при удержании: 1 — груза в 1 кг (слева — начало работы, справа — через 52 мин.) и 2 — груза в 10 кг (слева — начало работы, справа — через 70 сек.).

Внизу — отметка времени (0.1 сек.).

при длительном удержании вытянутой в сторону руки, наблюдали даже некоторое уменьшение амплитуды ЭМГ при утомлении. Л. П. Павлова (1957) считает, что изменения ЭМГ при медленном и быстром утомлении сходны.

Нами были проведены в описанных выше условиях опыты с грузом в 10 и 14 кг (удерживался около 1 мин.) и в 1 и 2 кг (удерживался до 2 часов). В обоих вариантах наблюдалось возрастание амплитуды суммарной ЭМГ при утомлении (рис. 2). Однако при этом количественная обработка ЭМГ позволила выявить, что уменьшение частоты не одинаково при разных нагрузках: при нагрузке 10–14 кг уменьшение частоты при утомлении выражено резко (до 50–70% исходной), при нагрузке 1–2 кг частота суммарной ЭМГ во время утомления практически не меняется (рис. 3).

Мы повторили эксперименты с удержанием вытянутой руки. Регистрация, кроме ЭМГ р. acromialis, также ЭМГ р. scapularis и р. clavicularis

дельтовидной мышцы позволила выявить, что и в этом случае при утомлении происходит увеличение электрической активности мышцы.

Какие же процессы обуславливают изменения суммарной ЭМГ мышцы при утомлении? В литературе можно встретить различные ответы на

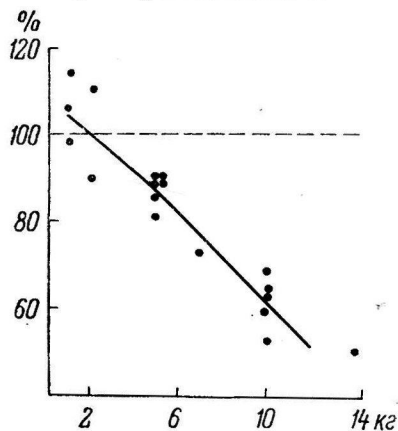


Рис. 3. Зависимость уменьшения частоты суммарной ЭМГ при утомлении от нагрузки.

По оси абсцисс — величина нагрузки (в кг); по оси ординат — частота ЭМГ при утомлении (в % к исходной).

этот вопрос, но в настоящее время все исследователи сходятся в одном: увеличение амплитуды суммарной ЭМГ и уменьшение ее частоты при утомлении отражают изменения центральной импульсации из мотонейронов, а не периферические процессы в мышце.

Противоположной точки зрения из упомянутых выше авторов держались лишь Кобб и Форбс, которые пытались объяснить увеличение амплитуды ЭМГ при утомлении нервно-мышечным блоком, основываясь при этом на старых, ныне отвергнутых, представлениях о том, что обычное мышечное сокращение, якобы, происходит в условиях трансформации ритма и потому является субнормальным.

Согласно всем современным представлениям и многочисленным прямым экспериментам, изменения в нервно-мышечной пластинке или мышечном волокне, связанные с утомлением, могут повести лишь к уменьшению амплитуды суммарной ЭМГ, а никак не к ее увеличению. Имеются соответствующие данные и в отношении человека: Линдсли (Lindsly, 1935), исследуя с помощью вкалывающихся электродов токи действия отдельной двигательной единицы, показал, что по мере развития утомления их амплитуда снижается (при неизменной частоте).

Что же касается частоты суммарной ЭМГ, то связывать ее уменьшение при утомлении с процессами трансформации ритма в нервно-мышечной пластинке также вряд ли возможно. Поскольку при постоянной нагрузке не происходит снижения напряжения мышцы, необходимо допустить либо отсутствие блока проведения в нервно-мышечных пластинках, либо при наличии его в утомленных волокнах — включение вместо них свежих мышечных волокон для поддержания прежнего усилия, что поведет и к восполнению выпавших токов действия в ЭМГ.

Известно, что обычно мышечное сокращение осуществляется при асинхронной деятельности мотонейронов (Buchthal a. Madsen, 1950). Лишь при очень сильных сокращениях наблюдается переход к синхронизированной деятельности мотонейронов. Хаас (Haas, 1928) с помощью накожных электродов, а Бухтал и Мадсен более точно с помощью вкалывающихся электродов показали, что при утомлении также наблюдается синхронизация разрядов мотонейронов. Следствием этого должны явиться уменьшение частоты суммарной ЭМГ и увеличение ее амплитуды. При этом увеличение длительности отдельных колебаний легко может быть объяснено тем, что при одновременном разряде мотонейронов импульсы достигают электродов не строго одновременно (Buchthal, 1957). Необходимо отметить, что синхронизация ведет, по существу, лишь к кажущемуся увеличению электрической активности в суммарной ЭМГ при неизменном количестве импульсов возбуждения в мышечных волокнах.

Наши данные показывают, что одной синхронизацией нельзя объяснить то увеличение амплитуды суммарной ЭМГ, которое наблюдается при утомлении. Это следует из того, что при сравнении данных отдельных опытов нам не удалось выявить зависимость между возрастанием амплитуды и уменьшением частоты. При малых нагрузках увеличение амплитуды происходит вообще без уменьшения частоты (рис. 2, 3). Поэтому мы стали искать другие механизмы увеличения амплитуды суммарной ЭМГ при утомлении.

При утомлении может происходить и истинное увеличение электрической активности мышцы за счет включения в возбуждение большего количества двигательных единиц вследствие того, что сила сокращения мышцы возрастает, несмотря на постоянство нагрузки. Так, по мнению Хааса, увеличение электрической активности мышцы при утомлении связано с иррадиацией возбуждения на антагонистическую мышцу, вследствие чего агонисту приходится затрачивать силу не только на удержание груза, но и на преодоление напряжения антагониста.

Для проверки этого положения мы провели серию экспериментов (совместно с К. Голубович) при одновременной регистрации ЭМГ антагонистов — двуглавой и трехглавой мышц плеча. В отдельных случаях, действительно, мы наблюдали заметное увеличение активности антагониста при утомлении (в этих опытах увеличение амплитуды ЭМГ антагониста было особенно велико). Однако большей частью возбуждение антагониста было или очень слабо выражено, или совсем не отмечалось (рис. 1). Полученные данные показывают, что и при отсутствии возбуждения антагониста электрическая активность работающей мышцы при утомлении возрастает.

Следующим фактором, значение которого мы подвергли экспериментальной проверке, является тремор, также могущий обусловить увеличе-

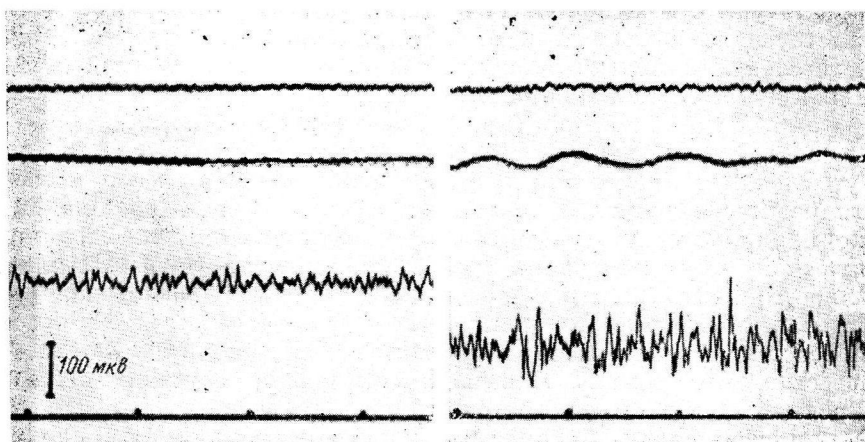


Рис. 4. Электрическая активность мышц и механограмма при удержании груза в 5 кг.

Слева — начало работы; справа — через 6 мин. Сверху вниз: ЭМГ *m. triceps*; механограмма; ЭМГ *m. biceps*; отметка времени (0.1 сек.).

ние силы сокращения мышцы при постоянстве нагрузки. При треморе статическая работа в значительной степени заменена динамической. Известно, что динамическая работа сопровождается большей электрической активностью, нежели статическая, так как мышца при этом развивает дополнительную силу для сообщения удерживаемому предмету ускорения.

Были проведены эксперименты с удержанием гири при одновременной регистрации ЭМГ и механограммы (с помощью тензодатчика, укрепленного на удерживающем гирию тросике). При утомлении тремор обычно выражен значительно (рис. 4). Опыты показали наличие известной зависимости между выраженностью тремора и увеличением электрической активности мышцы при утомлении. Часто можно видеть, что отдельные группы больших осцилляций соответствуют наиболее выраженным колебаниям на механограмме.

Для уменьшения влияния тремора мы заменили удержание гири сжиманием тензомерического динамометра в той же позе. При этом визуальный контроль за стрелкой прибора со стороны испытуемого снижал тремор (рис. 5). В той мере, в какой тремор все же имел место, он заключался в периодическом изменении силы сжатия динамометра, а не в перемещении груза. Динамический компонент тремора в этих условиях сохра-



няется только в отношении перемещения массы самой руки. Поэтому мы ожидали, что в этих условиях влияние тремора будет незначительным. С динамометром были проведены опыты при нагрузках 5, 7, 10 и 14 кг. В большей их части видимого на глаз увеличения амплитуды ЭМГ не наблюдалось (рис. 5) и лишь расчет показывал, наряду со снижением частоты, некоторое увеличение средней амплитуды.

Таким образом, происходящие при утомлении дискоординаторные явления, наряду с синхронизацией, по-видимому, играют роль в увеличении электрической активности мышцы за счет вовлечения в возбуждение большего количества двигательных единиц.

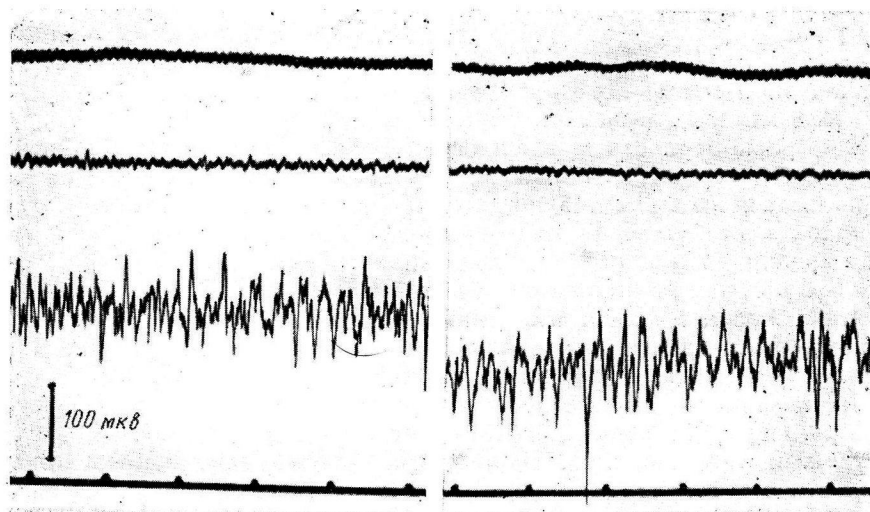


Рис. 5. Электрическая активность мышц и механограмма при сжимании динамометра с силой 5 кг.

Слева — начало работы; справа — через 6 мин. Сверху вниз: механограмма; ЭМГ mm. triceps и biceps; отметка времени (0.1 сек.).

Наконец, причиной возрастания электрической активности мышцы при постоянстве нагрузки может явиться и истинное изменение соотношения между развиваемой каждым мышечным волокном напряжением и его током действия. Эдвардс и Липпольд (Edwards a. Lippold, 1956) предположили, что возрастание электрической активности мышцы при утомлении связано с тем, что напряжение каждой двигательной единицы снижается, вследствие чего в возбуждение вовлекается большее количество двигательных единиц. Однако, очевидно, что увеличение электрической активности при этом будет наблюдаться только в том случае, если снизившие свое напряжение двигательные единицы будут продолжать давать значительные токи действия, которые будут суммироваться с токами действия вновь включенных единиц. И. С. Беритов (1924) на нервно-мышечном препарате действительно показал, что при утомлении напряжение снижается раньше, чем амплитуда тока действия. Хотя эти данные оспаривались Фултоном (Fulton, 1925), тем не менее исключить возможность независимого изменения механического и электрического ответа мышечных волокон нельзя (Loolbourow, 1948). Этот вопрос нуждается в дальнейшем исследовании.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные показывают, что как при быстром, так и при медленном утомлении характер импульсации мотонейронов изменяется, что может быть выявлено при регистрации ЭМГ в условиях постоянства нагрузки. Наблюдающиеся изменения ЭМГ отражают изменения режима работы спинальных моторных центров. Это — дискоординаторные процессы, ведущие к тому, что сокращение становится менее экономным. Другой особенностью работы спинальных центров при утомлении является переход к синхронизированному возбуждению мотонейронов (преимущественно при утомлении, вызванном большой нагрузкой). Трактовка этого явления очень сложна.

При синхронном раздражении мышцы человека двумя стимулами развиваемая сила несколько больше, чем при асинхронном (Merton, 19546). Однако, по мнению некоторых авторов (Sommer, 1941), асинхронность при нормальном мышечном сокращении обеспечивает его гладкость, а также равномерность кровоснабжения мышечных волокон. Максимальное усилие, осуществляемое в условиях синхронизации, не может удерживаться сколько-нибудь длительное время. Вопрос о том, даст ли синхронное возбуждение мышечных волокон при естественном ритмическом раздражении, особенно при гладком тетанусе, больший механический эффект, чем асинхронное, вызывает сомнение. Все эти соображения склоняют нас к мнению, что режим синхронизированного возбуждения мотонейронов — это чрезвычайный режим, свидетельствующий о нарушении нормальных условий их функционирования.

Мы говорим о спинальных моторных центрах только потому, что ЭМГ регистрирует электрические явления, непосредственно вызванные импульсами мотонейронов. Однако при произвольных сокращениях деятельность мотонейронов определяется главным образом импульсацией из двигательных зон коры. Есть все основания полагать, что при утомлении изменения именно этой импульсации в значительной мере определяют изменения работы спинальных центров (что не исключает участия связанных с утомлением процессов в самих мотонейронах и спинальных дугах проприоцептивных рефлексов).

Результаты нашего электромиографического исследования и их анализ свидетельствуют о значении центральных изменений при утомлении. Электромиографические данные в этом отношении согласуются с данными, полученными с помощью ряда других методов (обзор у Виноградова, 1958). В настоящее время имеется огромное количество экспериментальных исследований мышечной работы, в которых показано развитие процессов утомления в каком-либо из звеньев нейромоторного аппарата: в мышечных волокнах, нервно-мышечных пластинках, спинальном участке рефлекторной дуги, высших отделах ц. н. с. Нерешенной задачей первостепенной важности является определение места каждого из этих процессов в ходе естественного утомления, выяснение последовательности их развертывания и доли ответственности за снижение работоспособности.

## ВЫВОДЫ

1. Электромиографическое исследование при статической работе с постоянной умеренной нагрузкой показало увеличение амплитуды и уменьшение частоты суммарной ЭМГ работающей мышцы при утомлении, что соответствует литературным данным.

2. Сравнение утомления при разных нагрузках (утомление развивается в течение 1-й минуты, 7—10 мин. и 1—2 часов) выявило, что увеличение

амплитуды суммарной ЭМГ наблюдается во всех случаях. Уменьшение же частоты выражено пропорционально нагрузке.

3. Иррадиация возбуждения на антагонисты в некоторых случаях может явиться причиной возрастания электрической активности антагониста при утомлении. Однако и при отсутствии этого явления, что наблюдалось в большей части проведенных экспериментов, происходит увеличение амплитуды суммарной ЭМГ работающей мышцы.

4. Связанное с утомлением увеличение амплитуды суммарной ЭМГ при удержании груза сопровождается увеличением тремора. Уменьшение тремора путем замены удержания груза сжиманием динамометра с той же силой ведет к тому, что возрастание амплитуды при утомлении выражено значительно меньше.

5. Изменения ЭМГ, выявляемые при статической работе с постоянной нагрузкой, свидетельствуют об изменении режима работы нервных центров при утомлении, который становится менее экономным и более напряженным: возбуждение большего количества двигательных единиц вследствие дискоординаторных явлений, синхронизация разрядов мотонейронов. Эти данные не согласуются с представлением об утомлении как периферическом явлении, развиваемом на основе электромиографических исследований некоторыми авторами (Лейник, Мертон).

6. Количественная оценка ЭМГ правомерна только при учете силы, развиваемой мышцей, при анализе всех факторов, могущих повлиять на изменения этой силы даже при постоянстве нагрузки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- (Беритов И. С.) Veritoff J., *Zs. Biol.*, 82, 119, 1924.  
 Виноградов М. И. Физиология трудовых процессов. Л., 1958.  
 Лейник М. В., Медицинский журнал АН УРСР, 10, 1239, 1940; К учению о физиологических основах рационального режима труда и отдыха. Киев, 1951.  
 Либерман В. Б., Пленум комисс. по вопр. физиолог. спорта, Тез. докл., 79, Киев, 1957.  
 Павлова Л. П., Уч. зап. ЛГУ, № 222, 237, 1957.  
 Сеченов И. М. (1903), Избр. произв., 2, 845, Л., 1956.  
 Скрыбин В. В., IX съезд Всесоюзн. общества физиолог., биохим. и фармаколог., 1, Тез. докл., 353, 1959.  
 Шильберг П. И., Арх. биолог. наук, 42, 223, 1936.  
 Altenburger H., *Pflüg. Arch.*, 202, 645, 1924.  
 Buchthal F. An introduction to electromyography. Copenhag., 1957.  
 Buchthal A. A. Madsen, *EEG. a. clin. Neurophysiol.*, 2, 425, 1950.  
 Cobb S. a. A. Forbes, *Am. Journ. Physiol.*, 65, 234, 1923.  
 Dempster W. T. a. Y. C. Finerty, *Am. Journ. Physiol.*, 150, 596, 1947.  
 Dittler R. u. H. Günther, *Pflüg. Arch.*, 155, 251, 1914.  
 Edwards R. G. a. O. C. J. Lippold, *Journ. Physiol.*, 132, 677, 1956.  
 Fulton Y. F., *Am. Journ. Physiol.*, 75, 261, 1925.  
 Haas E., *Pflüg. Arch.*, 218, 386, 1928.  
 Henriques V. u. Lindhard J., *Pflüg. Arch.*, 183, 1, 1920.  
 Knolton G. C., R. L. Bennetta. B. McClure, *Arch. physic. med.*, 32, 1951.  
 Lindsly D. B., *Am. Journ. Physiol.*, 114, 90, 1935.  
 Lippold O. C. J., *Journ. Physiol.*, 117, 492, 1952.  
 Loofbourow G. N., *Journ. Neurophysiol.*, 11, 153, 1948.  
 Merton P. A., *Journ. Physiol.*, 123, 553, 1954a; 124, 311, 1954b; *Brit. Med. Bull.*, 12, 219, 1956.  
 Piper H., *Arch. Anat. u. Physiol.*, 491, 1909.  
 Scherrer J., M. Samson et C. Soula, *Journ. Physiol.*, P, 46, 517, 1954.  
 Sommer J., *Zs. ges. Neurol. u. Psychiatr.*, 172, 500, 1941.

Поступило 22 VII 1959



## THE ELECTROPHYSIOLOGICAL STUDY OF THE MOTOR APPARATUS ACTIVITY IN MAN, IN A STATE OF FATIGUE

By *R. S. Person*

From the laboratory of physiology of the Central Research Institute for the Work Capacity Expertise and the Invalid Labour organization, Moscow

An experimental analysis was made of certain factors causing changes in the electrical activity of a muscle in man, when fatigued. The EMG was recorded by means of electrodes on the skin under conditions of static work with a constant load. The data obtained show an alteration in the pattern of work of the nerve centres consisting in the excitation of a greater number of motoneurons and synchronization of their discharges.

---

## ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О НЕКОТОРЫХ МЕХАНИЗМАХ ПРЕОДОЛЕНИЯ УТОМЛЕНИЯ

*Е. К. Жуков и Ю. З. Захарьянц*

Институт физической культуры им. П. Ф. Лесгафта, Ленинград

Среди многочисленных вопросов, возникающих при изучении утомления, особый интерес представляет вопрос о физиологических механизмах волевого преодоления утомления. Каждый, занимающийся умственным или физическим трудом, знает, что несмотря на утомление работа может продолжаться на прежнем высоком уровне благодаря волевой мобилизации сил (известное время, конечно). Способность к мобилизации сил для преодоления утомления имеет большое значение и в достижении высоких спортивных результатов. Малая разработанность вопроса о физиологических механизмах преодоления утомления и большой его теоретический и практический интерес побудили нас заняться его исследованием.

### МЕТОДИКА

Опыты ставились на взрослых людях. Испытуемый сидел на стуле, опираясь локтем на край стола. Между локтем и столом помещалась мягкая прокладка. Плечо располагалось вертикально, предплечье под прямым углом к плечу. При статической работе испытуемый должен был максимально долго удерживать кистью руки гантель в 5, 10 и 20 кг, сохраняя исходный угол между плечом и предплечьем. При динамической работе ему давалось задание поднимать и опускать этот груз максимально большое число раз, сгибая руку в локте до 40–30° и выпрямляя ее. Испытуемые не имели специальной тренировки в этих видах работы.

С помощью четырехканального усилителя с симметричным входом и двух осциллографов МПО-2 регистрировались следующие процессы: 1) механограмма (посредством переменного сопротивления, ось которого совмещалась с осью вращения локтевого сустава); 2) электромиограмма двуглавой мышцы плеча работающей руки (посредством накожных металлических электродов диаметром 0.8 см); в некоторых опытах производилась регистрация биопотенциалов от нескольких пучков двуглавой мышцы одновременно и от трехглавой мышцы; 3) электрокардиограмма в грудном отведении; 4) пневмограмма (с помощью индуктивного датчика, вмонтированного в дыхательную маску). Производилось наблюдение за общим состоянием испытуемого, отмечались иррадиация возбуждения на другие мышечные группы, цвет лица, потение, характер дыхания. По окончании опыта протоколировался словесный отчет испытуемого о трудности выполнения работы в разные ее периоды. Для лучшей оценки тяжести работы, часть опытов была поставлена на авторах настоящего сообщения.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

В первых же опытах со статической работой отчетливо выявилось, что, несмотря на объективные и субъективные признаки утомления, работа может продолжаться, если испытуемый применит волевое усилие. На рис. 1 представлены результаты одного из таких экспериментов. На пленке при скорости движения 1 см/сек. зарегистрированы ЭМГ, пневмограмма и ЭКГ. Видно, что через 2 мин. поддержания 10 кг (рис. 1, б) дыхание становится аритмичным. Частота сердцебиений возрастает с 94

до 105 в 1 сек. Наблюдается иррадиация возбуждения на другие мышечные группы. По отчету испытуемого, работать становится тяжело, приходится прилагать большое усилие, чтобы удерживать груз в прежнем положении. Механограмма показывает, что это удается сделать — утомление преодолевается и груз удерживается на неизменной высоте. Вместе с тем, судя по величине биопотенциалов, мышца напрягается сильнее, чем в первые секунды работы.

Конец статической работы (рис. 1, в) почти весь идет на задержке дыхания. Происходят произвольные резкие толчкообразные движения руки, отображающиеся в виде искривлений ЭМГ. Иррадиация возбуждения становится очень сильной. И все же, «напрягая последние силы»,

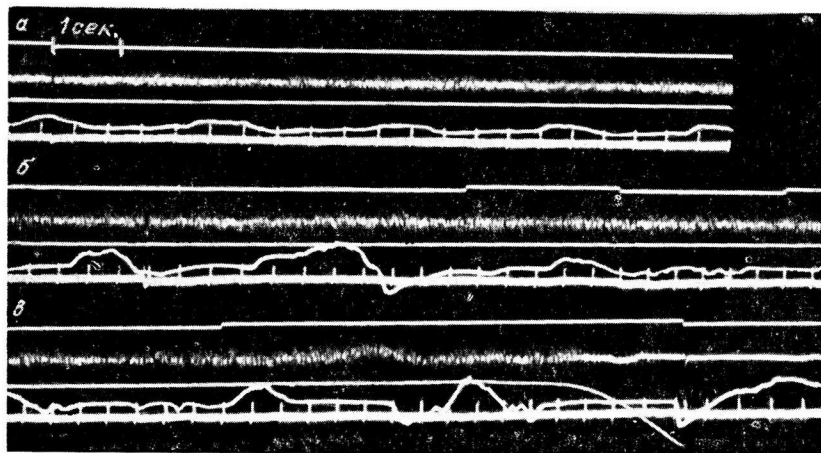


Рис. 1. Поддержание 10 кг согнутой рукой.

а — в начале; б — на 2-й мин.; в — в конце. *Сверху вниз*: отметка периода регистрации на втором осциллографе; ЭМГ двуглавой мышцы плеча; механограмма; пневмограмма; ЭКГ.

испытуемый продолжает поддерживать груз почти на прежней высоте. Лишь через 2 м. 30 с., несмотря на все усилия, поддерживать груз становится невозможным. Происходит относительно быстрое насильственное разгибание руки. Биопотенциалы двуглавой мышцы при этом оказываются уменьшенными.

Для более точного анализа биоэлектрической активности мы производили параллельную регистрацию потенциалов той же мышцы на другом осциллографе со скоростью движения пленки 10 см/сек. Период съемки вторым осциллографом отмечался на пленке первого в виде поднятия линии отметчика. Помимо ЭМГ производилась регистрация показаний интегратора биоэлектрической активности, построенного по схеме, предложенной В. А. Кожевниковым (1954). Величина суммарной активности под отводящими электродами за определенное время может быть выражена площадью между огибающей и ее основанием или количеством меток, подающихся от интегратора.

На рис. 2 представлены ЭМГ, записанные одновременно с теми, которые мы только что рассматривали. Отчетливо видно, что через 2 м. 10 с. после начала работы (рис. 2, б), т. е. когда по объективным и субъективным показателям человек уже утомлен и работа производится с большим усилием, амплитуда потенциалов действия двуглавой мышцы оказывается возросшей, их частота уменьшенной, а суммарная биоэлектрическая

активность значительно увеличенной. Лишь в тот период, когда поддерживать груз становится невозможным (рис. 2, *в*), потенциалы действия снижаются, становятся растянутыми и еще более редкими, происходит уменьшение суммарной биоэлектрической активности.

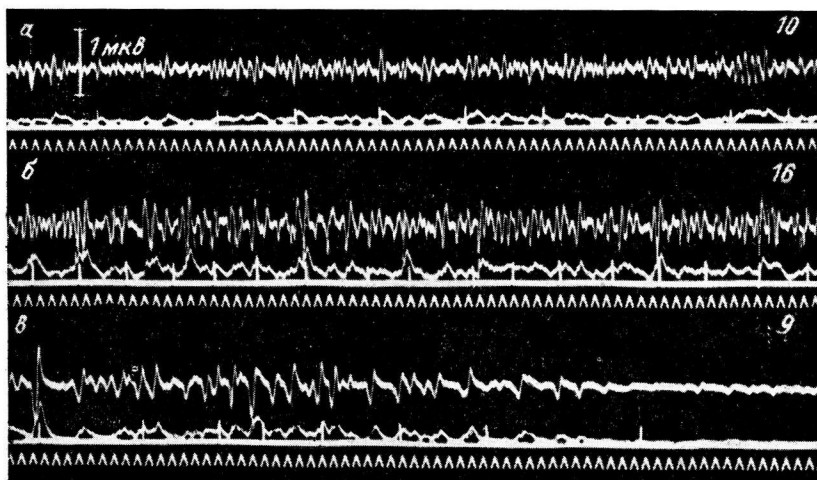


Рис. 2. Тот же опыт, что и на рис. 1; регистрация на втором осциллографе.

*а* — в начале; *б* — на 2-й мин.; *в* — в конце. Цифры справа — количество отметок интегратора на представленных отрезках осциллограммы. Сверху вниз: ЭМГ двуглавой мышцы плеча, огибающая суммарной биоэлектрической активности; отметка интегратора; отметка времени (0.02 сек.).

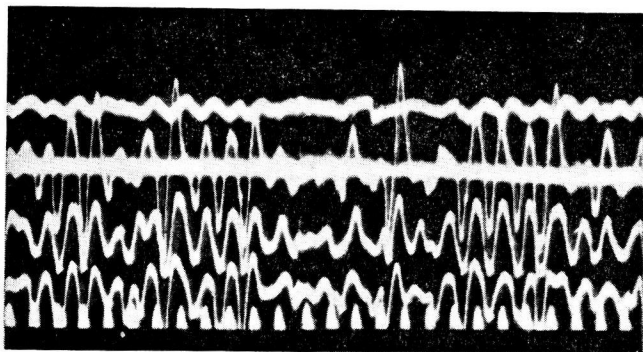


Рис. 3. Синхронизация биоэлектрических потенциалов во время поддержания 10 кг на фоне утомления.

Сверху вниз: ЭМГ трехглавой мышцы плеча; ЭМГ волокон длинной головки двуглавой мышцы плеча и механограмма; ЭМГ волокон из средней части короткой головки двуглавой мышцы; ЭМГ волокон из боковой части короткой головки; отметка времени (0.02 сек.).

Следует отметить еще одно важное обстоятельство. В фазу утомления потенциалы действия приобретают правильную форму почти синусоидальных колебаний. Ритм этих колебаний местами становится весьма постоянным. Получается впечатление, что мышечные волокна, расположенные под электродами, начинают возбуждаться синхронно. Для проверки этого предположения мы применили параллельную регистрацию

биопотенциалов от нескольких пучков двуглавой мышцы. Из ЭМГ, представленных на рис. 3, видно, что при больших усилиях утомленного человека поддержать груз все три пучка мышечных волокон (по-видимому, все волокна) возбуждаются одновременно; порождаемые ими потенциалы действия имеют почти одинаковую форму и как бы насаживаются друг на друга.

Аналогичные явления наблюдаются и при динамической работе. На рис. 4 видно, что при 1-м поднятии 10 кг (*a*) амплитуда потенциалов двуглавой мышцы невелика, суммарная электрическая активность за период

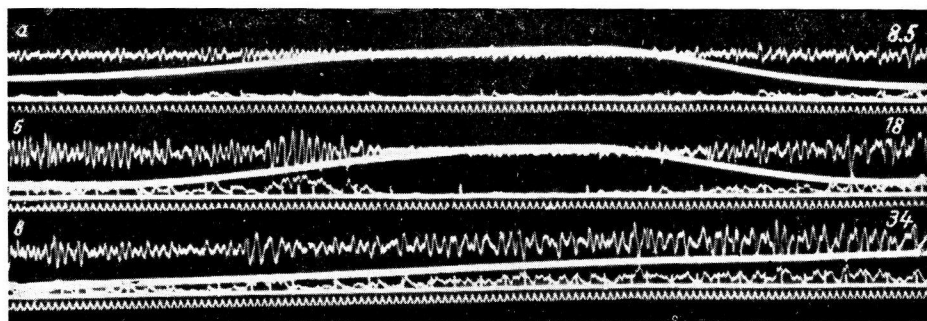


Рис. 4. ЭМГ двуглавой мышцы плеча и механограмма поднятия и опускания груза 10 кг.

*a* — 1-е поднятие; *б* — 23-е поднятие; *в* — 34-е (последнее) поднятие. Цифры справа указывают относительную величину интегрированной электрической активности за время от начала поднятия до достижения его максимума.

Сверху вниз: ЭМГ; механограмма.

Остальные обозначения те же, что и на рис. 2.

от начала подъема до его максимума составляет только 8.5 единиц интегратора. При 23-м поднятии (*б*) производимая работа почти не меняется. Однако амплитуда биопотенциалов и суммарная электрическая активность значительно возрастают; за время от начала подъема до максимума интегратор отсчитывает 18 единиц. Вместе с тем по объективным и субъективным признакам испытуемый уже сильно утомлен. Отмечаются непривольные движения в других мышечных группах, аритмия дыхания, периодическое натуживание, учащение пульса, покраснение лица, пототделение. Поднимать гантель становится трудно. Для того чтобы продолжать работу, требуется значительное волевое усилие. И тем не менее, как это видно из сравнения миограмм *a* и *б*, груз поднимается на такую же высоту и с такой же скоростью, как и при первом движении.

На рис. 4, *в* представлено начало последнего, 34-го поднятия груза. Движение здесь уже замедленно — почти в 2 раза. За время достижения максимума интегратор отсчитывает 34 единицы электрической активности. Биопотенциалы все еще велики, хотя частота их становится несколько меньше.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представляет интерес рассмотреть полученные факты в следующих трех направлениях.

1. Объективные и субъективные данные показывают, что через несколько минут поддержания груза или его поднимания и опускания у лиц, не тренированных в этом виде работы, развивается утомление.



При отягощении кисти грузом 10 кг явные признаки утомления обнаруживаются через 1½—2 мин. Эти признаки таковы. Появляется иррадиация возбуждения на мышечные группы, не имеющие прямого отношения к выполняемой работе. В некоторых случаях возбуждение распространяется и на мышцы антагонисты, что создает дополнительное отягощение. При динамической работе отмечается изменение рисунка иннервации, свидетельствующее о нарушении концентрации мышечной силы. Все эти признаки говорят о начинающейся дискоординации деятельности двигательного аппарата. Отмечается дискоординация и некоторых вегетативных функций. Так, дыхание становится прерывистым и нерегулярным; при динамической работе нарушается согласование между дыхательными движениями и поднятиями груза. Выполнять работу становится трудно, руку «ломит», хочется бросить груз.

Однако, как показывают многочисленные механограммы, человек, находящийся в этом состоянии, применив волевое усилие, может продолжать работу на прежнем высоком уровне. В некоторых случаях на фоне утомления может быть выполнено свыше половины общей статической или динамической работы. Лишь через более или менее значительное время после появления признаков утомления выполнять работу становится действительно невозможно; несмотря на все усилия, рука не может поднять или поддержать груз и сила тяжести непреодолимо разгибает руку.

Из сказанного следует, что широко распространенное определение утомления как снижения работоспособности в результате работы не является точным. Как мы видели, утомление может быть уже налицо, а уменьшения работы, т. е. снижения работоспособности, может еще не быть. По-видимому, основным показателем утомления следует считать нарушение координации функций. Выполнение определенных рабочих заданий на фоне утомления представляет собою сложный, развивающийся во времени процесс своеобразной борьбы между углубляющейся дискоординацией функций и мобилизацией сил организма для выполнения работы в этих трудных условиях. Этот процесс протекает в две фазы. Первая может быть названа «**ф а з о й п р е о д о л е н и я у т о м л е н и я**», вторая — когда человек, несмотря на все усилия продолжать работу, не может ее выполнять — «**ф а з о й и з н е м о ж е н и я**». Обнаружение начальной фазы утомления, когда уменьшения работы может и не быть, представляет, как нам кажется, определенный теоретический и практический интерес.

2. Электромиографические данные показывают, что по мере развития утомления происходят увеличение амплитуды потенциалов действия мышцы, некоторое уменьшение их частоты, увеличение суммарной биоэлектрической активности и упорядочение ритма биопотенциалов. Эти факты были обнаружены и многими другими исследователями. Увеличение амплитуды и уменьшение частоты мышечных потенциалов действия отмечали Пипер (Piper, 1912), Кобб и Форбс (Cobb a. Forbs, 1923), Альтенбургер (Altenburger, 1924), Ваххольдер (Wachholder, 1928), Хаас (Haas, 1928), М. А. Киселев и М. Е. Маршак (1935), П. И. Шпильберг (1936), Л. П. Павлова (1957), В. Д. Моногаров (1958), В. В. Скрябин (1959); Фишер и Мерхаутова (Fischer u. Merhautova, 1959) и др. Увеличение суммарной биоэлектрической активности было обнаружено Липпольдом (Lippold, 1952), Бигландом, Хюттером и Липпольдом (Bigland, Hutter a. Lippold, 1953), Эдвардсом и Липпольдом (Edwards a. Lippold, 1956), Л. П. Павловой (1957), Фишером и Мерхаутовой (Fischer u. Merhautova, 1959). В ЭМГ, приводимых многими из этих авторов, можно видеть и упорядочение ритма биопотенциалов (см., например, Моногаров, 1958). Таким образом, положение о том, что при утомлении происходит увели-

чение и упорядочение биоэлектрической активности мышцы в настоящее время можно считать вполне достоверным.

Увеличение суммарной электрической активности может быть следствием трех причин. 1) Оно могло бы произойти, если бы при утомлении потенциалы действия мышечных волокон увеличивались. Однако специальные исследования Бухтала, Пинелли и Розенфалька (Buchthal, Pinelli a. Rosentalck, 1954) показали, что потенциалы действия одиночных мышечных волокон при утомлении практически не изменяются. 2) Оно могло бы произойти, если бы увеличилась частота возбуждений мышечных волокон. Это предположение также несостоятельно, так как при утомлении отмечается уменьшение частоты биопотенциалов. 3) Оно может быть следствием вовлечения в деятельность новых нейромоторных единиц. Это предположение нам кажется наиболее вероятным. Такую точку зрения высказывали Ноултон, Беннет и Мак Клар (Knowlton, Bennet a. McClure, 1951), Липпольд (Lippold, 1952), В. Д. Моногаров (1958), К. Голубович, Л. П. Дорина и Р. С. Персон (1959), Фишер и Мерхаутова (Fischer u. Merhautova, 1959). Что же касается упорядочения ритма биопотенциалов, то по всем данным оно является следствием синхронизации деятельности нейромоторных единиц.

Трудно расценивать мобилизацию нейромоторных единиц и синхронизирование их деятельности как признак утомления. По нашему мнению, вовлечение в работу все новых и новых нейромоторных единиц и синхронизация их деятельности является одним из физиологических механизмов преодоления утомления. Этот механизм, очевидно, играет важную роль в осуществлении волевых стимулов к работе.

По-видимому, существенным побуждающим фактором для процессов мобилизации и синхронизации являются афферентные сигналы с механорецепторов мышц и суставов и с органов зрения.

Положение о том, что мобилизация и синхронизация являются механизмом преодоления утомления, находит подтверждение в наших прежних исследованиях (Жуков и Захарьяни, 1959). В условиях лабораторного эксперимента и при изучении спортивных физических упражнений нами было показано, что мобилизация и синхронизация деятельности нейромоторных единиц могут иметь место и вне утомления. Они проявляются тогда, когда спортсмен производит значительное мышечное усилие. Аналогичные данные были получены А. С. Степановым (1959).

3. Как показывают ЭМГ, во время развития утомления, и даже при снижении работоспособности мышцы, электрическая активность мышцы оказывается не пониженной, а повышенной. Это важное обстоятельство отчетливо демонстрирует рис. 5. Видно, что последний подъем груза происходит на значительно меньшую высоту и более замедленно, чем 1-й, что говорит о большом утомлении. Вместе с тем подъем груза и удержание его на достигнутой высоте сопровождается высокими синхронизируемыми потенциалами действия мышцы. Лишь в самом конце «фазы изнеможения» мышечные потенциалы резко ослабевают, урежаются и десинхронизируются. Одновременно происходит непреодолимое растяжение мышцы грузом.

По нашему мнению, эти факты указывают, что при определенных видах физической работы утомление может зависеть в первую очередь от изменений, происходящих в самой мышце (см. также Merton, 1954). В случае, представленном на рис. 5, б дело, очевидно, происходит так. Утомленные мышечные волокна не в состоянии сколько-нибудь значительно поднять груз, что сигнализируется в нервные центры. В ответ на эти сигналы происходит мобилизация мотоневронов, иннервирующих

данную мышцу, и синхронизирование их деятельности. Вовлекаются в работу новые мышечные волокна, происходит синхронизирование их работы, что и отображается в виде увеличения и синхронизирования мышечных биопотенциалов. Однако сократительные силы мышечных волокон ослаблены, и увеличение биоэлектрической активности мышцы уже не сопровождается сколько-нибудь значительным усилением сокращения.

Снижение амплитуды биопотенциалов и все большая их десинхронизация при последующем поддержании груза свидетельствуют уже о раз-

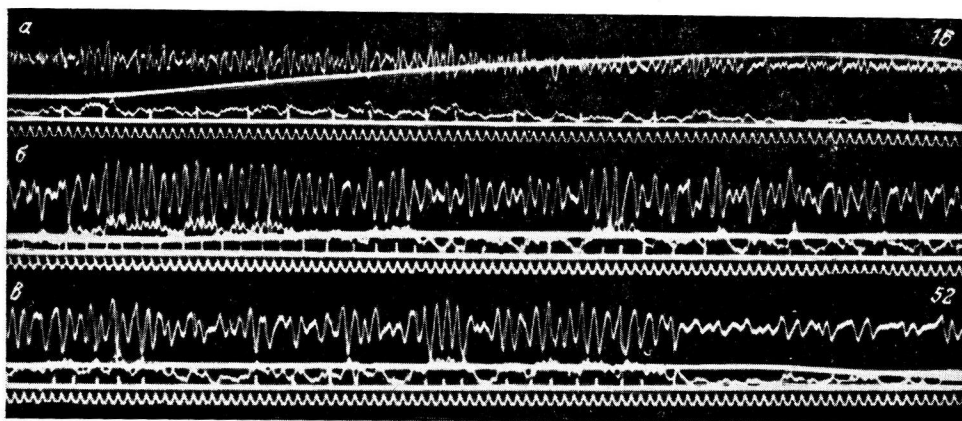


Рис. 5. ЭМГ двуглавой мышцы плеча и механограмма поднятия и опускания груза 10 кг.  
 а — 1-е поднятие; б — начало 20-го (последнего) поднятия; в — конец его.  
 Остальные обозначения те же, что и на рис. 4.

вивающемся нарушении деятельности нервных центров, иннервирующих мышцу. В конце концов (рис. 5, в) это приводит к уменьшению количества возбужденных мышечных волокон, к нарушению согласованности их работы и к полной невозможности противостоять растягивающему действию груза.

## ВЫВОДЫ

1. На определенной стадии развития утомления поддержание или поднятие груза субъективно начинает восприниматься как большая трудность. Вместе с тем наблюдается изменение характера дыхания, покраснение кожи, выделение пота, иррадиация возбуждения на посторонние мышцы. Однако благодаря волевому усилию работа может выполняться на прежнем высоком уровне еще долгое время. Вместе с тем в ЭМГ появляются характерные изменения: величина потенциалов действия возрастает, увеличивается суммарная биоэлектрическая активность, возникает синхронизация деятельности мышечных волокон. Очевидно, выполнение работы на прежнем высоком уровне, несмотря на развивающееся утомление, достигается посредством вовлечения все большего количества нейромоторных единиц и синхронизирования их деятельности.

2. Для понимания физиологической природы утомления необходимо это состояние изучать в его постепенном развитии. При этом следует учитывать, что при развитии утомления могут наблюдаться две фазы. Первая, когда объективные и субъективные признаки утомления уже

налицо, но работа может продолжаться на высоком уровне благодаря волевому усилию, может быть названа «фазой преодоления утомления». Вторая, когда, несмотря на максимальные волевые усилия, работа падает и становится невозможной, может быть названа «фазой изнеможения». Различие этих фаз необходимо как при анализе тех функциональных сдвигов, которые возникают в организме человека в связи с развитием утомления, так и при практической оценке степени утомления.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Голубович К., Л. П. Дорина и Р. С. Персон, IX съезд Всесоюзн. общ. физиолог., биохим. и фармаколог., Тез. докл., 1, 159, 1959.  
 Жуков Е. К. и Ю. З. Захарьянц, Физиолог. журн. СССР, 45, № 9, 1053, 1959.  
 Киселев М. А. и М. Е. Маршак, Физиолог. журн. СССР, 18, № 2, 180, 1935.  
 Кожевников В. А., Физиолог. журн. СССР, 40, № 4, 487, 1954.  
 Моногаров В. Д., Пробл. физиолог. спорта, в. 1, 78, 1958.  
 Павлова Л. П., Уч. зап. ЛГУ, № 222, 237, 1957.  
 Скрябин В. В., IX съезд Всесоюзн. общ. физиолог., биохим., и фармакол., Тез. докл., 1, 353, 1959.  
 Степанов А. С., Физиолог. журн. СССР, 45, № 2, 129, 1959.  
 Шпилльберг П. И., Арх. биол. наук, 42, 223, 1936.  
 Altenburger H., Pfl. Arch., 202, 645, 1924.  
 Bigland V., O. F. Hutter a. O. C. Lippold., Journ. Physiol., 121, 55P, 1953.  
 Buchthal F., P. Pinelli a. P. Rosenfalck, Acta physiol. scand., 32, 219, 1954.  
 Cobb S. a. A. Forbs, Am. Journ. Physiol., 65, 234, 1923.  
 Edwards R. C. a. O. C. J. Lippold, Journ. Physiol., 132, 677, 1956.  
 Fischer A. u. I. Merhautova, Theorie u. Praxis Körperkultur, 5, 447, 1959.  
 Haas E., Pfl. Arch., 218, 386, 1928.  
 Knowlton G. C., R. L. Bennet a. R. McClure, Arch. Phys. Med., 32, 648, 1951.  
 Lippold O. C. J., Journ. Physiol., 117, 492, 1952.  
 Merton P. A., Journ. Physiol., 123, 553, 1954.  
 Piper H. Elektrophysiologie menschlicher Muskeln. Berlin, 1912.  
 Wachholder. K. Erg. d. Physiol. 26, 568, 1928.

Поступило 25 VI 1959

## THE ELECTROPHYSIOLOGICAL DATA CONCERNING CERTAIN MECHANISMS OF OVERCOMING FATIGUE

By E. K. Zhukov and J. Z. Zaharianz

From the Lesgaft Institute of Physical Culture, Leningrad

By means of the electromiographic technique changes in the activity of the biceps and triceps brachii, as well as alterations in their innervation were studied in the process of a developing fatigue. Fatigue resulted from a prolonged supporting of a load (from 2 to 30 kg) on the arm bent in the elbow or from a number of liftings and lowerings of this load by means of bending and extending the arm in the elbow joint. Simultaneously a mechnogram was recorded and observations made of the respiration of the subject and of his cutaneous autonomic reactions. Reports of the subject himself were also recorded as to the difficulty of work performed. In order to improve subjective evaluation of the developing fatigue certain part of the experiments were performed on the authors of this paper.

At a certain stage of fatigue the supporting or lifting of the load appears subjectively to be a great difficulty. At the same time changes in the cha-

racter of respiration, reddening of skin, sweating, irradiation of excitation on some of the other muscles are observed. However, due to the effort of will the former high standart of work may be still maintained for a long time. Along with this there appear typical changes in the EMG: the value of action potentials grows, summary bioelectric activity increases, synchronization of the activity of muscle fibres develops. It is evident that the maintenance of the initial high standard of performance in spite of the developing fatigue is achieved with the aid of a growing quantity of the neuromotor units involved and the synchronization of their activity.

---

## НОВОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО РАЗДЕЛЬНОСТИ ФАЗНЫХ И ТОНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ

Хуан И-мин

Физиологический институт Ленинградского государственного университета

Вопросы о физиологических механизмах тонического сокращения, о сходстве и различиях между тонусом и фазной деятельностью имеют давнюю историю. Спорные положения сводятся к тому, существуют ли у позвоночных животных приборы, специализированные на функции

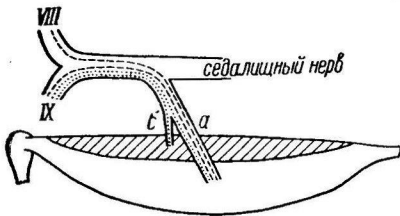


Рис. 1. Схема иннервации подвздошно-малоберцовой мышцы травяной лягушки.

а — толстая веточка, б — тонкая. Зашифрованы тонический пучок. VIII и IX — спинномозговые корешки.

быстрых фазных сокращений, и приборы, специализированные на функции медленных тонических сокращений, или же обе формы двигательной деятельности осуществляются одними и теми же сократительными приборами. Последней точки зрения придерживаются П. О. Макаров (1934, 1945, 1947), С. М. Свердлов (1934), Ф. Н. Серков (1948, 1950) и другие. Однако за последнее время работами Е. К. Жукова и его сотрудников (1947, 1948, 1949, 1950, 1956), Крюгера (Kruger, 1952), Кафлера и Джерарда (Kuttler a. Gerard, 1947), Кафлера и Вильямса (Kuttler

a. Williams, 1953), Г. Л. Бекая (1959) и других установлено наличие специализированных тетанических и тонических нейромоторных единиц.

По ходу работы над выяснением физиологических особенностей «тетанических» и «тонических» нервных волокон мы обнаружили, что нервный ствол, иннервирующий подвздошно-малоберцовую мышцу лягушки, разделяется близ мышцы на две веточки — более толстую и более тонкую (рис. 1). При раздражении толстой и тонкой веточек мы обнаружили различные сокращения мышцы — тетаническое и тоническое сокращение. В настоящем сообщении излагаются факты, полученные при этих исследованиях.

### МЕТОДИКА

Опыты ставились на лягушках (*Rana temporaria*). Сначала из подвздошно-малоберцовой мышцы (m. ileofibularis) с соответствующим нервом (n. ischiadicus) готовился обычный нервно-мышечный препарат. Затем под бинокулярной лупой иглой производилась перерезка тонкой или толстой веточки (рис. 1). После этого препарат помещался во влажную камеру. Нерв располагался на серебряных электродах. Мышца с помощью нити соединялась с легким миографом. Сокращения регистрировались на кимографе в условиях изотонического режима.

Раздражение подавалось с помощью электронного стимулятора; частота импульсов изменялась от 2 до 500 в 1 сек. Амплитуда, частота и длительность стимулов могли варьироваться независимо друг от друга.

Регистрация потенциалов действия мышцы производилась посредством катодного осциллографа в условиях биполярного отведения. Для отведения служили тонкие серебряные проволоочки; одна из них вкалывалась в брюшко мышцы, другая — в ахиллово сухожилие.

Температура в лаборатории поддерживалась в пределах 18—22°.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

При раздражении седалищного нерва до перерезки толстой или тонкой веточки подвздошно-малоберцовая мышца дает быстрые фазные сокращения, сопровождающиеся более или менее выраженным тоническим хвостом (рис. 2, А и Г). После перерезки тонкой веточки, т. е. при сохранении иннервации мышцы только через толстую ветвь, характер сокращения остается неизменным. Как видно из рис. 2, Б, при раздражении волокон, проходящих в толстой нервной веточке, наблюдаются такие же тетанические сокращения мышцы, как при раздражении целого нервного ствола.

Совсем другое происходит после перерезки толстой веточки, т. е. при сохранении иннервации мышцы только через тонкую ветвь. После такой операции мышца теряет способность отвечать сокращением на одиночные или кратковременные тетанизирующие раздражения нервного ствола. На длительную ритмическую стимуляцию мышца реагирует медленно развивающимся стойким сокращением — тонусом (рис. 2, Г).

Сравнивая миограммы тетанических и тонических

нервно-мышечных препаратов (НМП), полученные при раздражениях различной силы и частоты, мы видим следующие интересные явления. Тетанический НМП реагирует и на одиночное и на ритмическое раздражение нерва, тонический же НМП на одиночное раздражение не отвечает. Тоническое сокращение обнаруживается лишь при ритмическом длительном раздражении с частотой не меньше 8—10 гц. Если частота остается постоянной, то для вызова тонуса требуется большая сила раздражения, чем для вызова тетануса. Для кривой сокращения тетанического НМП весьма харак-

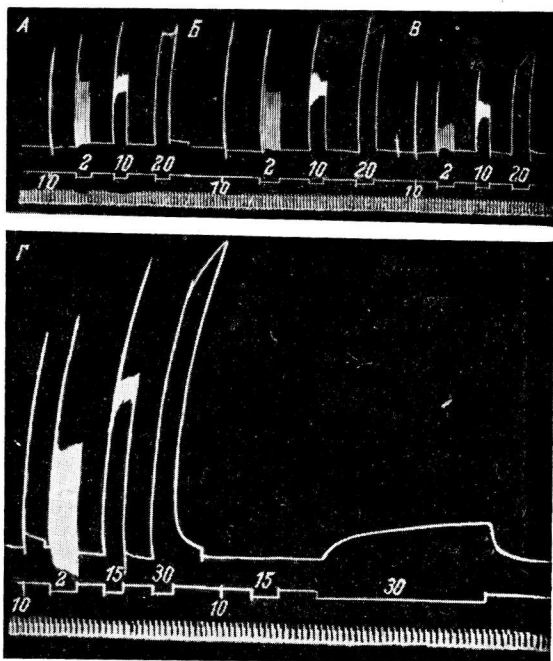


Рис. 2. Сокращения подвздошно-малоберцовой мышцы после перерезки тонкой или толстой нервной веточки.

А — при наличии обеих веточек; Б — после перерезки тонкой нервной веточки (тот же препарат); В — при раздражении пучка нескольких нервных волокон толстой веточки; Г — при наличии обеих веточек (слева) и после перерезки толстой веточки (справа). Сверху вниз: миограмма; отметка раздражения; отметка времени (в сек.). Цифры около отметки раздражения: верхние — частота раздражения (в сек.); нижние — сила раздражения (в единицах шкалы потенциометра).

терен пессимум силы и частоты раздражения. В миограмме тонического НМП пессимум выражен слабо или совсем отсутствует (рис. 3).

Изучая ответы тетанических и тонических НМП на длительные ритмические раздражения в одних и тех же условиях, мы обнаружили, что

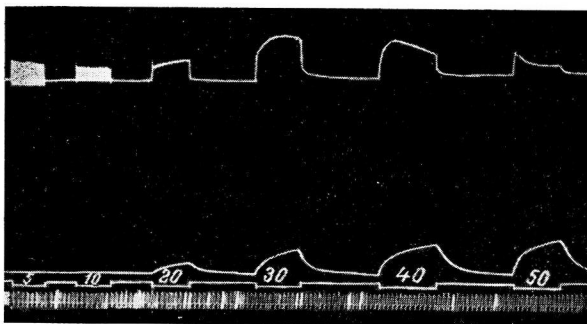


Рис. 3. Фазные (*сверху*) и тонические (*внизу*) сокращения при различной частоте раздражения волокон толстой и тонкой нервной веточки. Сила раздражения 6 в.

Остальные обозначения те же, что и на рис. 2.

тетаническое сокращение начинает снижаться на 10—15-й сек., тогда как тоническое может продолжаться полчаса и более без каких-либо признаков снижения (рис. 4). Эти факты позволяют считать, что тонический НМП обладает большей неустойчивостью, чем тетанический.

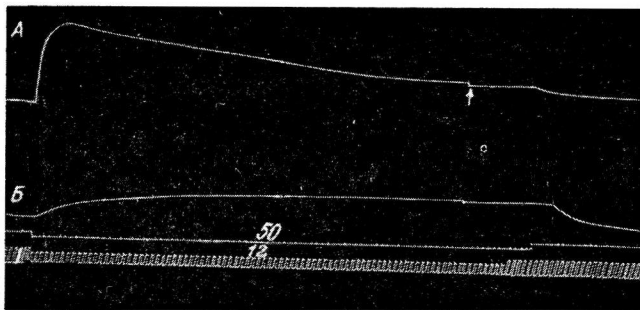


Рис. 4. Утомление тетанического сокращения, вызванного раздражением толстой веточки (А), и неустойчивость тонического сокращения, вызванного раздражением тонкой веточки (Б).

Стрелка — момент остановки на 30 мин.

Остальные обозначения те же, что и на рис. 2.

Прозерин уменьшает «пик» и увеличивает «хвост» сокращения тетанического НМП и увеличивает сокращение тонического НМП. Напротив, атропин раньше подавляет сократительную деятельность тонического прибора.

При тетанических сокращениях мышцы, вызванных раздражением толстой нервной веточки, наблюдаются обычные двухфазные потенциалы



действия, величина которых часто достигает 2 мв, в длительность 6 мсек. (рис. 5, А). В течение формирования тетанического сокращения форма этих двухфазных потенциалов действия почти не изменяется. Во время же тонических сокращений мышцы, возникающих при раздражении тонкой нервной веточки, обнаруживаются однофазные потенциалы действия

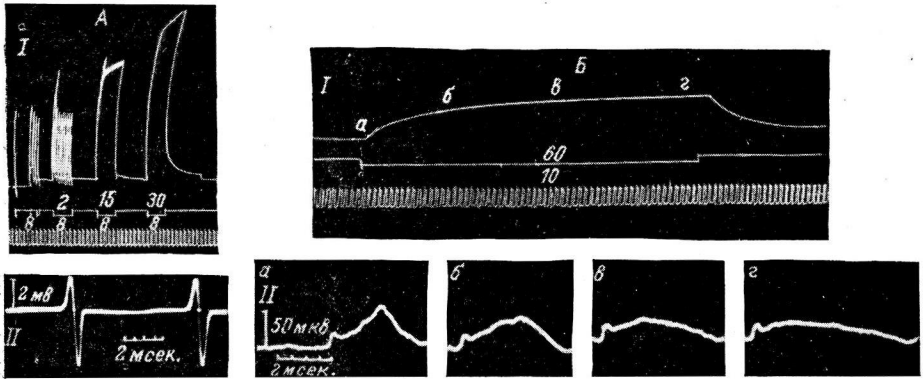


Рис. 5. Потенциалы действия мышцы после перерезки тонкой или толстой нервной веточки.

А — после перерезки тонкой веточки. На А: I — миограмма тетанического сокращения, вызванного раздражением толстой нервной веточки; II — осциллограмма, зарегистрированная при вышеуказанном тетаническом сокращении. Б — после перерезки толстой веточки. На Б: I — миограмма тонического сокращения, вызванного раздражением тонкой нервной веточки; II — осциллограмма, зарегистрированная при вышеуказанном тоническом сокращении. На Б, II: а, б, в и г соответствуют участкам а, б, в и г на миограмме тонического сокращения.

Остальные обозначения те же, что и на рис. 2.

(рис. 5, Б). Эти потенциалы относительно очень медленны и слабы; длительность их достигает 12 мсек.; величина же обычно не превышает 60 мкв. Регистрируя потенциалы действия во время длительного тонического сокращения, можно наблюдать, что на фоне развития поддержания тонуса величина этих потенциалов действия прогрессивно уменьшается (от 60 до 20 мкв), а длительность постепенно увеличивается (от 10 до 20 мсек., рис. 5). При длительном поддержании тонического сокращения однофазные потенциалы действия очень ослабевают, но не исчезают полностью.

Работами Е. К. Жукова, С. М. Верещагина, Т. П. Ивановой и Л. И. Леушиной (1947) было доказано, что через VIII передний корешок лягушки к икроножной мышце выходят нервные волокна, связанные с функцией тетануса, а через IX, кроме них, еще особые нервные волокна, связанные с функцией тонуса. Встает вопрос, через какие спинномозговые корешки выходят нервные волокна, вступающие затем в толстую и тонкую веточки, иннервирующие подвздошно-малоберцовую мышцу? Оказалось, что при сохранении только тонкой веточки раздражение VIII корешка не вызывает сокращения мышцы; на раздражение же IX корешка мышца отвечает тоническим сокращением. При наличии одной толстой веточки на кратковременные раздражения VIII корешка мышца отвечает однокомпонентным тетаническим сокращением; тонический «хвост» отсутствует; напротив, кратковременная стимуляция IX корешка вызывает двухкомпонентное сокращение, которое состоит из тетанического пика и тонического «хвоста». Эти данные указывают, что двигательные волокна толстой веточки выходят из спинного мозга через VIII и IX передние корешки; первые вызывают чистое тетаническое сокращение,

вторые же — смешанный эффект, состоящий из тетанического и тонического компонента. Нервные волокна тонкой веточки выходят из спинного мозга только через IX корешок и вызывают только тоническое сокращение (рис. 1).

Пользуясь бинокулярной лупой, мы могли непосредственно наблюдать за сокращением подвздошно-малоберцовой мышцы, раздражая тонкую и толстую нервную веточки. При ритмическом раздражении тонкой нервной веточки наблюдается медленное слабое сокращение центрального тонического пучка. При раздражении толстой веточки сокращается вся боковая часть мышцы; эти сокращения представляют собою сильные быстрые подергивания отдельных волокон. Сходные явления можно видеть также в момент перерезки нервных веточек. В том случае, когда перерезается толстая веточка, возникает быстрое подергивание мышцы. И наоборот, при перерезке тонкой веточки происходит медленное и очень слабое сокращение мышцы.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Описанные выше опыты показали, что в нервном стволе, иннервирующем подвздошно-малоберцовую мышцу лягушки, существуют различные нервные волокна. При раздражении волокон толстой веточки этого нерва мы получаем главным образом тетанические сокращения, а при раздражении волокон тонкой веточки — чистые тонические. Для получения чистого тетанического сокращения необходимо производить раздражение VIII переднего спинномозгового корешка или VIII спинального нерва.

Эти данные представляют, как нам кажется, определенный интерес как в теоретическом отношении, так и в практическом. Во-первых, они являются новым доказательством раздельности фазных и тонических приборов скелетных мышц лягушки. Во-вторых, они дают возможность легкого получения чистых фазных и чистых тонических сокращений одной и той же скелетной мышцы, что открывает новые методические возможности для физиологического и биохимического изучения мышечного тонуса.

#### ВЫВОДЫ

1. Подвздошно-малоберцовая мышца лягушки иннервируется двумя различными веточками седалищного нерва. При раздражении толстой веточки возникают фазные сокращения мышцы, а при раздражении тонкой веточки — тонические.

2. Нервные волокна толстой веточки, связанные с функцией тетануса, выходят через VIII и IX передние спинномозговые корешки, а волокна тонкой веточки, связанные с функцией тонуса, — через IX передний корешок.

3. Полученные факты являются новым доказательством раздельности фазных и тонических приборов в скелетных мышцах лягушки.

4. Предлагаемый простой способ приготовления фазного и тонического нервно-мышечных препаратов дает новые методические возможности для физиологического и биохимического изучения фазной и тонической деятельности скелетных мышц.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Б е к а я Г. Л. О функциональных особенностях тетанических и тонических нейромоторных единиц. Дисс. Тбилиси, 1959.  
 В е р е щ а г и н С. М., Физиолог. журн. СССР, 34, № 1, 73, 1948а; 34, № 1, 81, 1948б; Материалы о природе тонуса скелетных мышц, Дисс., Л., 1950.  
 В е р е щ а г и н С. М. и Е. К. Ж у к о в, Физиолог. журн. СССР, 33, № 3, 335, 1947; 35, № 1, 64, 1949.

- Верещагин С. М., Е. К. Жуков и Т. П. Иванова, VII Всесоюзн. съезд физиолог., биохим. и фармаколог., Тез. докл., 52, 1947.
- Жуков Е. К., Физиолог. журн. СССР, 34, № 4, 485, 1948; Исследование о тонусе скелетных мышц. Медгиз, Л., 1956.
- Жуков Е. К. и Т. П. Богомолова. Физиолог. журн. СССР, 35, № 1, 73, 1949.
- Жуков Е. К., С. М. Верещагин, Т. П. Иванова и Л. И. Леушина, ДАН СССР, 58, 1227, 1947.
- Жуков Е. К. и Л. И. Леушина, ДАН СССР, 62, 425, 1948.
- Макаров П. О., Матер. к V Всесоюзн. съезду физиолог., биохим. и фармаколог., 40, 1934; Научн. бюлл. ЛГУ, № 4, 6, 1945; Проблемы микрофизиологии нервной системы. Медгиз, 1947.
- Свердлов С. М., Уч. зап. Казанск. унив., 5, в. 3, 76, 1934.
- Серков Ф. Н., Физиолог. журн. СССР, 34, № 2, 243, 1948; 36, № 6, 679, 1950.
- Krüger P., Tetanus u. Tonus d. quergest. Musk. d. Wirbelt. u. d. Menschen Leipzig, Akad. Verlag, 1952.
- Kuffler S. W. a. R. W. Gerard, Journ. Neurophysiol., 10, 383, 1947.
- Kuffler S. W. a. E. M. Williams, Journ. Physiol., 121, 289, 1953.

Поступило 9 II 1960 г.

---

## A NEW PROOF OF THE EXISTENCE OF TWO SEPARATE APPARATUS PHASIC AND TONIC IN THE SKELETAL MUSCLE

By *Huan I-min*

From the Uchtomsky Physiological Institute of the State University,  
Leningrad

In this work different nerve branches were investigated innervating the ilio-tibular muscle of a frog. It appeared that stimulation of the thick nerve branch evoked tetanic contractions, whereas in stimulating the thin branch tonic contractions were produced. The nerve fibres of the thick branch giving the tetanus response pass through the VIII and IX ventral spinal roots; the nerve fibres of the thin branches specialized for the tonus response pass through the IX ventral spinal root and innervate the central bundle of the muscle.

It was found that at tetanic contractions evoked by stimulating the thick nerve branch, usual high and rapidly passing two-phase action potentials were recorded. Tonic contractions evoked by stimulating the thin nerve branch elicited weak, protracted one-phase action potentials. The data obtained confirm the correctness of the assumption concerning the double motor innervation of skeletal muscle in the amphibia.

---

## ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА НА ВЫПОЛНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ

*Н. Н. Яковлев, Л. Г. Лешкевич, А. Ф. Макарова, Н. К. Попова,  
В. А. Рогозкин и Н. Р. Чаговец*

Научно-исследовательский институт физической культуры, Ленинград

Возрастные особенности реакции организма на физические нагрузки исследовались многими авторами (Mori, 1936; Robinson, 1939; Nöcker, 1957; P. Åstrand, 1958; I. Åstrand, 1958; Бакулин, 1959; Балуашвили с сотрудниками, 1959; Эголинский, 1959, и др.), однако в этих работах изучались, как правило, стандартные и строго дозированные нагрузки. Эти исследования показали ряд особенностей реакции лиц различного возраста на мышечную деятельность, но все же они не могут быть в полной мере использованы для физиологического обоснования физической культуры в детском и пожилом возрасте, так как в них не изучались возрастные особенности реакции организма на спортивные упражнения.

Следует также иметь в виду, что в большинстве этих исследований объектом служили либо дети, либо лица старших возрастов, и только в единичных работах (Mori, 1936; Robinson, 1939) одновременно были исследованы и те и другие.

В связи с этим мы поставили своей задачей изучить возрастные особенности реакции подростков, взрослых и лиц среднего и старшего возраста на стандартную работу и различные спортивные упражнения.

### МЕТОДИКА

Исследования проводились в различных физкультурных коллективах школ, промышленных предприятий и высших учебных заведений. Под наблюдением находилось 327 человек, распределение которых по возрастам видно из табл. 1. Результаты медицинского обследования показали, что с учетом их возраста все испытуемые являлись практически здоровыми людьми.

Исследования заключались в многократном определении реакции организма на равно доступную для всех возрастов стандартную нагрузку (20 приседаний за 30 сек.) и на различные типы физкультурных занятий, включающих те или иные спортивные упражнения: лыжные прогулки, кроссы, народную греблю, спортивные игры (волейбол, баскетбол), легкоатлетические упражнения (бег на короткие дистанции 20—30 м, метание, прыжки), гимнастические упражнения, плавание. Все занятия начинались с 10—15 мин. разминки и длились от 45 до 60 мин.

Естественно, что при выполнении ряда перечисленных физических упражнений в различных возрастных группах имелись некоторые отличия. Так, подростки совершали лыжную прогулку на 3 км, а остальные — на 10 км; подростки бежали кросс на 500 м, юноши и взрослые на 5 км, а у лиц среднего и старшего возраста кросс на 5 км носил характер прогулки, в которой ускоренная ходьба чередовалась с бегом. Интенсивность выполнения легкоатлетических упражнений и игр у юношей и лиц в возрасте 20—25 лет была выше, чем у остальных возрастных групп.

Перед началом и сразу по окончании занятия определялись частота пульса, высота артериального давления и содержание в крови сахара (по Хагедорну и Иенсену), молочной кислоты (по Баркеру и Саммерсону) и холестерина (по Раппопорту и Энгельбергу в модификации Левченко).

Т а б л и ц а 1

Уровень функциональных и биохимических показателей у лиц различного возраста в состоянии покоя (средние данные)

Возраст (в годах)	Число лиц *	Частота пульса (в ударах в 1 мин.)	Артериаль- ное давле- ние (в мм рт. ст.)	Сахар крови (в мг%)	Молочная кислота крови (в мг%)	Холестерин крови (в мг%)
12—14	80	78 ± 2.1	$\frac{105 \pm 2.0}{60 \pm 1.7}$	99 ± 6.8	16 ± 3.5	124 ± 5.0
16—19	53	64 ± 3.0	$\frac{112 \pm 4.0}{60 \pm 1.8}$	93 ± 4.0	14 ± 2.0	160 ± 4.6
20—25	100	64 ± 1.2	$\frac{110 \pm 3.0}{63 \pm 1.1}$	89 ± 0.5	12 ± 1.0	181 ± 4.0
30—40	31	68 ± 3.0	$\frac{113 \pm 0.7}{72 \pm 1.0}$	88 ± 2.3	14 ± 2.0	230 ± 11.0
41—50	41	72 ± 2.2	$\frac{115 \pm 1.3}{75 \pm 2.3}$	89 ± 3.4	15 ± 2.0	262 ± 3.7
51—60	22	72 ± 4.1	$\frac{125 \pm 5.0}{82 \pm 4.1}$	96 ± 5.0	13 ± 1.7	295 ± 7.0

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как видно из данных табл. 1, исходный уровень исследованных функциональных и биохимических показателей у лиц различных возрастных групп отличается незначительно. Отчетливая разница имеет место только в отношении содержания холестерина в крови, которое повышается с возрастом, что вполне согласуется с литературными данными (Сморозинцев, 1929; Солнцев, 1938; Попова, 1960). Частота пульса у подростков и лиц старше 40 лет несколько выше, чем в остальных возрастных группах. Максимальное и минимальное артериальное давление у подростков несколько ниже, а у лиц старше 50 лет выше, чем у остальных. Все прочие различия — статистически не достоверны.

Однако в реакции на физические упражнения между возрастными группами наблюдаются существенные отличия (табл. 2). По гемодинамическим показателям у подростков наблюдается более значительное учащение пульса, причем оно сопровождается меньшим, чем у взрослых, повышением максимального артериального давления и большим понижением минимального. У лиц старше 30 лет пульсовая реакция с возрастом снова увеличивается при уменьшении реакции артериального давления, причем у лиц старше 50 лет исследованные физические упражнения нередко приводили к понижению максимального артериального давления. Иначе говоря, усиление сердечной деятельности у подростков и лиц среднего и старшего возраста происходит в большей степени за счет учащения ритма, а не за счет увеличения силы сердечных сокращений. Минимальное артериальное давление у лиц до 25 лет всегда понижается, а у лиц среднего и старшего возраста нередко повышается. В результате этого у первых пульсовое давление является большим, чем у вторых, а у лиц старше 50 лет может иметь место даже уменьшение его под влиянием мышечной деятельности.

Второй возрастной особенностью реакции организма на физические упражнения является большее увеличение уровня молочной кислоты

\* У каждого испытуемого исследования в покое производились не менее 3—4 раз.

Таблица 2

Изменения функциональных и биохимических показателей у лиц различного возраста при выполнении физических упражнений (средние величины)

Возраст (в годах)	Виды упражнений	Пульс (в ударах в 1 мин.)	Артериальное давле- ние (в мм рт. ст.)	Сахар крови (в мг%)	Молочная кислота крови (в мг%)	Холестерин крови (в мг%)
12—14	Лыжи	+20 ± 0.4	+2 ± 2.0 -20 ± 0.6	-12 ± 0.7	+25 ± 2.1	—
	Кросс	+50 ± 4.0	+12 ± 0.5 -10 ± 0.3	-13 ± 1.5	+36 ± 3.0	-3 ± 1.2
	Легкая атлети- ка и баскет- бол	+54 ± 2.0	+15 ± 2.0 -12 ± 0.1	+5 ± 0.4	+69 ± 4.0	+8 ± 1.4
	Гимнастика	+36 ± 4.0	+5 ± 1.0 -15 ± 2.0	-6 ± 0.1	+35 ± 3.0	+24 ± 2.0
16—19	Лыжи	+14 ± 0.5	+5 ± 1.0 -8 ± 0.4	+10 ± 3.1	+10 ± 1.5	+7 ± 0.5
	Кросс	+26 ± 2.0	+20 ± 2.0 -10 ± 2.0	-7 ± 2.3	+17 ± 3.0	+2 ± 2.5
	Гребля	+5 ± 0.5	+3 ± 0.4 -5 ± 0.2	+5 ± 0.5	+5 ± 2.0	—
	Легкая атлети- ка и баскет- бол	+35 ± 2.5	+20 ± 2.6 -10 ± 2.0	+30 ± 5.0	+38 ± 2.0	+10 ± 4.0
20—25	Гимнастика	+14 ± 1.2	+5 ± 0.5 -5 ± 0.7	+8 ± 1.0	+10 ± 2.0	+5 ± 1.5
	Лыжи	+15 ± 2.0	+4 ± 0.2 -4 ± 0.5	+17 ± 0.6	+12 ± 1.0	+19 ± 2.3
	Кросс	+24 ± 1.5	+18 ± 1.3 -10 ± 1.0	+12 ± 1.0	+12 ± 0.4	+8 ± 1.2
	Гребля	+6 ± 0.6	+5 ± 0.5 -5 ± 0.1	+10 ± 0.4	+2 ± 0.5	+3 ± 1.0
31—40	Легкая атлети- ка и баскет- бол	+30 ± 2.3	+20 ± 2.0 -10 ± 0.4	+23 ± 2.0	+35 ± 0.2	+10 ± 2.1
	Гимнастика	+12 ± 0.8	+8 ± 1.0 -5 ± 0.3	+15 ± 0.3	+9 ± 0.2	+5 ± 0.9
	Лыжи	+24 ± 1.0	+5 ± 1.0 -2 ± 0.6	+15 ± 0.4	+16 ± 0.8	+32 ± 4.7
	Кросс	+30 ± 3.0	+8 ± 2.0 +6 ± 0.5	+3 ± 0.2	+15 ± 1.1	+6 ± 1.0
41—50	Гребля	+12 ± 1.1	+6 ± 1.1 -1 ± 2.0	+30 ± 1.7	+7 ± 0.3	-9 ± 2.3
	Плавание	+12 ± 0.5	+10 ± 0.5 -3 ± 1.0	+8 ± 1.0	+10 ± 0.5	-36 ± 5.0
	Легкая атлети- ка и баскет- бол	+54 ± 5.0	+19 ± 0.3 -4 ± 0.3	+14 ± 0.5	+33 ± 1.0	+14 ± 1.4
	Гимнастика	+28 ± 3.3	+3 ± 1.1 0 ± 2.5	+6 ± 0.5	+15 ± 0.6	+1 ± 2.4
41—50	Лыжи	+24 ± 2.0	+10 ± 0.4 +5 ± 0.2	+11 ± 1.0	+15 ± 0.6	+13 ± 2.1
	Кросс	+36 ± 2.5	+9 ± 0.7 -1 ± 0.3	-2 ± 0.2	+24 ± 0.7	+6 ± 1.1
	Гребля	+24 ± 1.3	+7 ± 1.0 -1 ± 0.5	-4 ± 1.0	+8 ± 0.2	-7 ± 2.3

Продолжение

Возраст (в годах)	Виды упражнений	Пульс (в ударах в 1 мин.)	Артериаль- ное давлени- е (в мм рт. ст.)	Сахар крови (в мг%)	Молочная кислота крови (в мг%)	Холестерин крови (в мг%)
41—50	Плавание	+30 ± 2.0	+14 ± 0.5 +4 ± 0.2	+8 ± 2.0	+16 ± 0.6	-4 ± 1.4
	Легкая атлети- ка и баскет- бол	+54 ± 4.7	+21 ± 1.0 -2 ± 0.6	+13 ± 2.0	+26 ± 0.6	+20 ± 2.3
	Гимнастика	+44 ± 4.1	+5 ± 0.4 -1 ± 1.0	-7 ± 0.4	+16 ± 0.5	+6 ± 1.4
	Лыжи	+36 ± 1.2	-25 ± 2.5 +5 ± 0.4	-20 ± 1.3	+16 ± 0.1	-48 ± 5.6
51—60	Кросс	+42 ± 2.3	-7 ± 1.0 +6 ± 1.0	-15 ± 0.7	+24 ± 0.5	+37 ± 4.3
	Гребля	+30 ± 0.7	+8 ± 0.3 -4 ± 0.5	-2 ± 0.3	+20 ± 0.5	+16 ± 1.2
	Плавание	+24 ± 0.4	-3 ± 0.2 +5 ± 1.4	+7 ± 1.0	+26 ± 0.4	-12 ± 1.4
	Легкая атлети- ка и баскет- бол	+48 ± 3.7	+20 ± 1.0 -2 ± 0.6	+9 ± 2.5	+42 ± 1.2	+5 ± 0.5
	Гимнастика	+30 ± 0.5	-4 ± 1.0 -1 ± 1.0	-11 ± 1.0	+19 ± 0.3	-1 ± 2.0

в крови у подростков и у лиц старшего возраста. Это остается справедливым даже в том случае, когда работа одинаковой интенсивности имеет различную длительность (лыжи, кросс) и когда при одинаковой длительности она отличается по интенсивности (легкоатлетические упражнения, игры). Следовательно, у подростков и лиц старшего возраста гликолитические процессы имеют больший удельный вес в энергетическом обеспечении работы, чем у взрослых в возрасте до 40—50 лет.

У лиц старшего возраста это может быть поставлено в связь с тем, что потребление кислорода в единицу времени на 1 кг веса (или м<sup>2</sup> поверхности тела) с возрастом уменьшается (Robinson, J. Åstrand, P. Åstrand). У подростков же, по данным Робинсона, потребление кислорода на 1 кг веса, наоборот, наиболее велико. Однако, по данным С. А. Бакулина, величина максимального потребления кислорода и возможность удержания его во времени у подростков значительно ниже, чем у взрослых. На основании этого можно предположить меньшее совершенство регуляции функций и соотношения анаэробных и аэробных окислительных процессов у подростков.

Третьей возрастной особенностью является худшая мобилизация внутренних энергетических ресурсов у подростков и лиц старше 40 лет, что выражается в меньшем увеличении уровня сахара в крови и даже снижении его при выполнении физических упражнений, особенно — длительных и мало эмоциональных.

Что касается уровня холестерина в крови, то его динамика не дает вполне четких возрастных отличий. Однако у подростков и более молодых взрослых чаще наблюдается повышение, а у лиц среднего и старшего возраста — понижение. Это, может быть, связано с различным исходным уровнем холестерина в крови, так как, согласно данным Н. К. Поповой при низком уровне холестерина мышечная деятельность чаще приводит к повышению его, а при более высоком — к понижению.

Обращаясь к реакции на отдельные виды физических упражнений, мы можем отметить как общие черты, характерные для всех возрастных групп, так и возрастные отличия.

Общим для всех групп является то, что занятия с использованием легкоатлетических упражнений и игр вызывают наибольшую реакцию со стороны сердечно-сосудистой системы, наибольшее увеличение молочной кислоты в крови и приводят к увеличению содержания сахара и холестерина в крови, правда, выраженному в разных возрастных группах в различной степени. Следует отметить, что даже у лиц старше 50 лет реакция на этот тип нагрузки является хотя и весьма значительной, но всегда благоприятной.

Наименьшую реакцию вызывали во всех группах народная гребля и спокойное (не спортивное) плавание,<sup>1</sup> причем эта реакция тоже является вполне благоприятной. Однако у ряда лиц старше 50 лет плавание вызывает некоторое понижение максимального и повышение минимального давления, что нашло отражение и в средних цифрах.

Реакции на лыжную прогулку и кросс у подростков и у лиц молодого и среднего возраста характеризуются вполне благоприятными гемодинамическими сдвигами, а у лиц старшего возраста — снижением максимального и повышением минимального артериального давления (реакция явно не благоприятная). Кроме того, у подростков и лиц старшего возраста выполнение этих упражнений приводит к значительному снижению уровня сахара в крови.

Наконец, гимнастический урок, по характеру вызываемой им реакции у всех возрастов занимает промежуточное положение между разобранными выше первой и второй группами упражнений.

Представленные данные показывают, что, несмотря на возрастные различия, для лиц в возрасте до 50 лет все исследованные физические упражнения являются вполне доступными. Что касается лиц старше 50 лет, то адекватными для их организма могут рассматриваться лишь легкоатлетические занятия с включением игр, народная гребля и спокойное (не спортивное) плавание, а кроссы и длительные лыжные прогулки нередко приводят к неблагоприятной реакции организма. Следовательно, использовать эти упражнения для лиц старшего возраста следует весьма осмотрительно.

В заключение следует остановиться на реакции различных возрастных групп на стандартную, равно доступную для всех работу и на изменениях этой реакции под влиянием сезона занятий общей физической подготовкой.

Как видно из данных табл. 3, реакция на стандартную работу полностью подтверждает разобранные выше возрастные особенности реакции организма на мышечную деятельность. Во-вторых, мы видим, что 4—6-месячные занятия общей физической подготовкой у всех возрастных групп приводят в той или иной степени к улучшению реакции на стандартную работу. При этом степень улучшения реакции с возрастом уменьшается; у лиц старше 50 лет она является наименьшей.

Так как общая длительность периода занятий у лиц старших возрастов была даже больше (6 месяцев), чем у подростков и юношей (4 месяца), можно предположить, что тренируемость организма, т. е. способность организма адаптироваться к повышенной мышечной деятельности, с возрастом понижается. Это предположение согласуется с данными А. А. Балугавили с сотрудниками (1959) о том, что положительные сдвиги в физическом развитии и состоянии здоровья у лиц в возрасте от 40 до 60 лет при систематических занятиях физической культурой развиваются

<sup>1</sup> Влияние гребли у подростков и влияние плавания у лиц до 25 лет не исследовано.



Таблица 3

Изменение реакции на стандартную нагрузку у лиц различного возраста под влиянием систематических занятий физическими упражнениями (средние величины)

Возраст (в годах)	Реакция на нагрузку в начале сезона					Реакция на нагрузку в конце сезона						
	пульс (в ударах в 1 мин.)	артериальное давление (в мм рт. ст.)	сахар крови (в мг-%)	молочная кислота крови (в мг-%)	пульс (в ударах в 1 мин.)	артериальное давление (в мм рт. ст.)	сахар крови (в мг-%)	молочная кислота крови (в мг-%)	пульс (в ударах в 1 мин.)	артериальное давление (в мм рт. ст.)	сахар крови (в мг-%)	молочная кислота крови (в мг-%)
12—14	+54 ± 5	$\frac{+10 \pm 1.0}{-15 \pm 0.5}$	-5 ± 0.5	+22 ± 4.0	+34 ± 1	$\frac{+12 \pm 2.0}{-7 \pm 1.0}$	+3 ± 0.4	+12 ± 3.0				
16—19	+36 ± 3.0	$\frac{+24 \pm 4.1}{-10 \pm 1.0}$	+5 ± 0.4	+18 ± 2.1	+24 ± 2.0	$\frac{+25 \pm 2.1}{-12 \pm 2.0}$	+7 ± 2.0	+9 ± 3.0				
20—25	+30 ± 2.5	$\frac{+20 \pm 1.2}{-8 \pm 0.5}$	+7 ± 1.0	15 ± 0.5	+20 ± 0.6	$\frac{+23 \pm 0.7}{-10 \pm 0.5}$	+5 ± 0.7	+5 ± 0.7				
30—40	+42 ± 3.0	$\frac{+13 \pm 1.0}{-11 \pm 0.5}$	-8 ± 1.2	+17 ± 0.5	+32 ± 1.5	$\frac{+23 \pm 3.2}{-11 \pm 1.0}$	+10 ± 0.5	+6 ± 0.3				
41—50	+48 ± 2.5	$\frac{+10 \pm 1.2}{-1 \pm 2.4}$	-14 ± 2.3	+16 ± 0.3	+36 ± 2.0	$\frac{+23 \pm 2.8}{-6 \pm 1.7}$	+4 ± 2.7	+9 ± 0.8				
51—60	+48 ± 1.4	$\frac{+16 \pm 1.7}{0 \pm 3.7}$	-7 ± 0.4	+18 ± 1.0	+42 ± 0.7	$\frac{+9 \pm 0.4}{-8 \pm 3.0}$	+2 ± 2.5	+14 ± 1.2				

очень медленно. Следует отметить, что согласно нашим данным (Яковлев, Ашмарин, Лешкевич, Тюрин и Федорова, 1959), быстрота акклиматизации спортсменов к горным условиям с возрастом также понижается. Учитывая, что физиологические и биохимические механизмы акклиматизации к высокогорью и адаптации к более интенсивной мышечной деятельности имеют много общего, о понижении тренируемости организма с возрастом можно говорить уже более определенно.

#### ВЫВОДЫ

1. У подростков и лиц среднего и старшего возраста усиление сердечной деятельности при выполнении физических нагрузок происходит в большей степени за счет увеличения ритма, чем за счет силы сердечных сокращений.

2. Характерным для подростков является сравнительно небольшое повышение максимального и значительное понижение минимального артериального давления. У лиц старше 50 лет нередко наблюдается понижение максимального артериального давления при повышении минимального.

3. У подростков и лиц старшего возраста физические упражнения вызывают большее повышение уровня молочной кислоты и чаще сопровождаются понижением уровня сахара в крови, чем у лиц в возрасте от 16 до 40 л.

4. Длительные лыжные прогулки и кроссы у лиц старше 50 лет нередко приводят к неблагоприятной реакции организма и должны использоваться весьма осмотрительно.

5. Тренируемость, т. е. способность организма адаптироваться к повышенной мышечной деятельности, с возрастом понижается.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бакулин С. А., Физиол. журн. СССР, 45, № 9, 1136, 1959.  
 Балашвили А. А., И. И. Габашвили, З. А. Телия и Ц. В. Какабидзе, Теор. и практ. физ. культ., 22, № 8, 524, 1959.  
 Попова Н. К., Укр. биох. журн., 32, № 3, 352, 1960.  
 Смородицв И. А., Усп. сов. биол., 7, № 1, 105, 1929.  
 Солнцев В. И., Тр. конфер. «Старость», 395, Медгиз, 1938.  
 Эголинский Я. А., Теор. и практ. физ. культ., 22, № 9, 664, 1959.  
 Яковлев Н. Н., Б. А. Ашмарин, Л. Г. Лешкевич, А. М. Тюрин и Н. Г. Федорова, Теор. и практ. физ. культ., 22, № 10, 755, 1959.  
 Åstrand I. Acta physiol. Scand., 42, № 1, 73, 1958.  
 Åstrand P. O. Sport, Alter und Geschlecht. Bern, 1958.  
 Mori Z. Japan. Journ. Med. Sc., III, Biophysics, 3, № 4, 309, 1936.  
 Nöcker I. Jugend und Sport. Sonder Heft, Theor. u. Prax. d. Körperkult., 29, 1957.  
 Robinson S., Arbeitsphysiol., 10, № 3, 251, 1939.

Поступило 26 X 1959

#### AGE PECULIARITIES OF THE HUMAN ORGANISM RESPONSE TO PHYSICAL EXERCISES

By N. N. Yakovlev, L. G. Leshkevich, A. F. Makarova, N. K. Popova, V. A. Ragozkin and N. R. Chagoretz

From the Research Institute of Physical Culture, Leningrad

Investigation of the human organism response to a standard load and various physical exercises accomplished on 327 men from 12 to 60 years old

proved that in youths, as well as in persons of advanced age increase in the heart activity during physical exercise accounts rather for the hightening of rhythm than for the increase of strength of the heart contractions. In persons after 50 the decrease of maximum and the increase of minimum arterial pressure are often observed. Physical exercises in youths and in elderly persons lead to a more marked increase of lactic acid and are more often accompanied with the decrease of blood sugar, as compared with persons between 16 and 40 years of age. Data are also obtained proving the decrease with age of the training capacity (i. e. the capacity of the organism to adapt itself to an increased muscular activity).

---

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗООБМЕНА, ОКСИГЕНАЦИИ КРОВИ И ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ ПРИ ИНТЕНСИВНОЙ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

*В. В. Васильева, Э. Б. Коссовская, В. П. Правосудов и И. Н. Сальченко*

Кафедра физиологии Института физической культуры им. П. Ф. Лесгафта,  
Ленинград

Изучению функций дыхания и кровообращения посвящено много работ (Liljestrand u. Stenström, 1920; Бейнбридж, 1927; Хилл, 1929; Christensen, Krogh u. Lindnard, 1934; Nielsen u. Hansen, 1937; Холден и Пристли, 1937; Баркрофт, 1937; Крестовников, 1939, 1951, и др.). Эти работы послужили основой для последующего развития физиологии спорта. В настоящее время проблема дыхания и кровообращения в физиологии спорта разрабатывается многими отечественными и зарубежными исследователями (Ефремов, 1949; Лантош, Фарфель, Фрейдберг, 1949; Bolt u. a., 1954; Reindell u. a., 1954; Schlumm, 1954; Рэйтбак, Таварткиладзе и Гоциридзе, 1955; Böhlau u. Nöcker, 1956; Гончаров, Михайлов и Сорокин, 1956; Кудрявцев, 1956; Фомичев, 1956; Борисов, 1957, 1958; Немова, 1958; Аруцев, 1959; Марковская, 1959). Однако, несмотря на большое количество исследований в этом направлении, механизм адаптации дыхания и кровообращения к трудным условиям, возникающим при мышечной деятельности, освещен еще недостаточно. Многие установленные ранее факты получены при относительно небольших физических нагрузках. Значительное увеличение объема работы, выполняемой в процессе современной спортивной тренировки, делает изучение этих вопросов особенно важным и актуальным.

### МЕТОДИКА

Исследование механизмов повышения доставки кислорода тканям при мышечной деятельности является более перспективным лишь при одновременной регистрации ряда показателей кровообращения и дыхания. Воспользовавшись газоанализаторным прибором Белау, оксигемометром О-38 и электрокардиографом ЭКП-5, мы проводили одновременную регистрацию показателей газообмена (легочной вентиляции, поглощения кислорода, выведения углекислоты, дыхательного коэффициента), степени насыщения крови кислородом и частоты сердечных сокращений при выполнении интенсивной работы в лабораторных условиях. Полученные данные позволяли, кроме того, вычислить для разных моментов работы и восстановления так называемый кислородный пульс

(потребление кислорода в мл за 1 мин.)  
(число сердечных сокращений в 1 мин.)

Исследования проводились в состоянии покоя, при работе и в течение 20 мин. после ее окончания. В качестве экспериментальной нагрузки применялся 5-минутный бег на месте (первые 2 мин. — в произвольном, постепенно нарастающем темпе, последние 3 мин. — в темпе, максимально возможном для данного испытуемого). Испытуемыми служили 3 спортсмена-бегуна на средние дистанции и 3 лица, не занимающиеся физическими упражнениями. Возраст испытуемых — 22—25 лет. Всего проведено 53 опыта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Легочная вентиляция (л. в.) в состоянии покоя у разных испытуемых в разные дни исследований колеблется в пределах 7—10 л. Нарастание л. в. во время работы происходит более стремительно у тренированных лиц. Максимальных величин л. в. достигала на последней (пятой) минуте работы. В 38% опытов (главным образом у лиц, не занимающихся спортом) л. в. равна 50—70 л, в 62% она колебалась в пределах 70—90 л. При расчете на 1 кг веса л. в. на последней минуте работы у тренированных достигала 1200 мл, у не занимающихся спортом — 950 мл

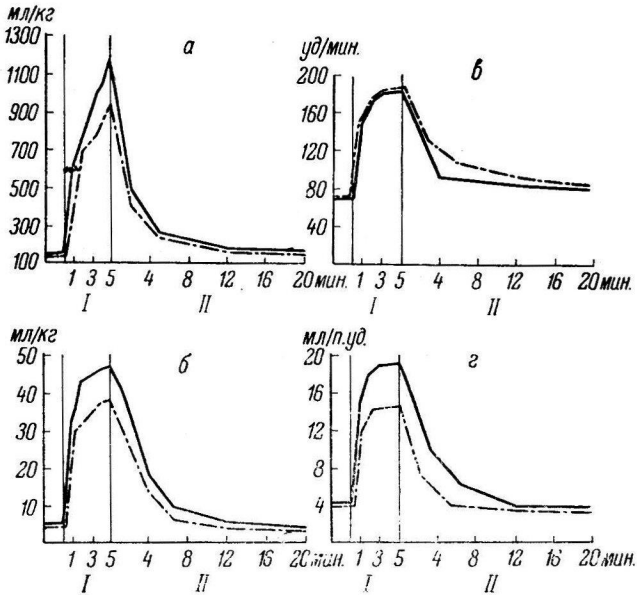


Рис. 1. Средние величины легочной вентиляции (а), потребления кислорода (б), частоты сердечных сокращений (в) и кислородного пульса (г) при работе (I) и в процессе восстановления (II) у тренированных (сплошная линия) и нетренированных (штрих пунктир) испытуемых.

(рис. 1, а). Восстановление л. в. после окончания работы в обеих группах испытуемых в большинстве случаев заканчивается в течение 15—16 мин.

Потребление кислорода, так же как и л. в., нарастало более круто в первые минуты работы у тренированных бегунов. Оно достигало максимума в большинстве случаев на 5-й мин. и в среднем составляло 47 мл на 1 кг веса у тренированных и 38 мл — у не занимающихся спортом (рис. 1, б). Суммарный кислородный запрос на выполнение экспериментального бега у тренированных достигал 17—25 л, а у не занимающихся спортом — 11—15 л. Кислородный долг у первых составлял около 30—40% кислородного запроса, у последних — около 24—32%. Величина кислородного запроса на 1 мин. работы, а также отношение кислородного долга к суммарному запросу показывают, что применявшаяся нами экспериментальная нагрузка была близка к работе, называемой в физиологии спорта динамической работой большой интенсивности (Фарфель, 1948; Крестовников, 1951).

Величина кислородного запроса у тренированных и нетренированных испытуемых показывала, что при задании работать последние 3 минуты «на пределе» первые выполняли значительно больший объем работы

(до 54 000 кг/м), чем последние (до 34 000 кг/м). Эти различия обусловлены более широкими функциональными возможностями аппаратов кровообращения и дыхания у тренированных лиц, способностью к более быстрой и полной мобилизации этих функций.

Выведение углекислоты в состоянии покоя у всех испытуемых несколько меньше потребления кислорода. Дыхательный коэффициент (д. к.) в связи с этим колеблется около 0.9. На 1-й мин. работы выведение углекислоты резко отстает от потребления кислорода. Д. к. в этом периоде работы в среднем снижается до 0.85 (в отдельных случаях уменьшение его очень значительно — до 0.72). Начиная со 2-й мин. работы д. к. постепенно возрастает и достигает единицы. В дальнейшем, при работе и особенно в первые 2—3 мин. восстановления, количество выделяемой углекислоты значительно превышает количество потребляемого кислорода. Д. к. у тренированных продолжает возрастать до 3-й мин. восстановления. В среднем в этот момент он равен 1.6, в отдельных случаях достигает 1.7. Только на 8-й мин. восстановления д. к. снижается до 1.0 и затем постепенно возвращается к исходному уровню. Динамика д. к. у лиц, не занимающихся спортом, аналогична, но максимальная его величина несколько ниже.

В литературе (Хилл, 1929; Nielsen u. Hansen, 1937) имеются указания на значительное увеличение д. к. после скоростной работы (до 2.2). После продолжительной работы такого увеличения д. к. не наблюдалось. По-видимому, условия нашей экспериментальной нагрузки (работа «до отказа» на последней минуте) вызывают процессы, подобные тем, которые характерны для кратковременной скоростной работы. Д. к. возрастает значительно выше единицы за счет углекислоты, вытесняемой из бикарбонатов крови молочной кислотой. Последняя, как известно, поступает в кровь из мышц особенно интенсивно в восстановительном периоде.

Частота сердечных сокращений в состоянии покоя почти одинакова в обеих группах испытуемых (около 70 ударов в 1 мин.). При работе частота сердечных сокращений постепенно нарастала и к концу 5-й мин. бега у тренированных в среднем достигала 180 ударов в 1 мин., у нетренированных — 185 (рис. 1, в). Лишь в отдельных случаях частота сердечных сокращений превышала 200 ударов в 1 мин. (максимальная величина в наших опытах — 212).

Восстановление частоты сердечных сокращений в обеих группах испытуемых происходило медленнее, чем восстановление легочной вентиляции. Особенно медленно возвращался этот показатель к исходному уровню у лиц, не занимающихся спортом. В этой группе на 20-й мин. восстановления частота сердечных сокращений превышала исходный уровень в среднем на 40%, тогда как у тренированных это превышение составляло в среднем всего 18%. По-видимому, после окончания работы, когда тонкие и наиболее лабильные механизмы адаптации выключаются, погашение кислородной задолженности происходит главным образом путем поддержания высокой частоты сердцебиений при относительно сниженном систолическом объеме. Особенно резко этот «примитивный» механизм адаптации выражен у лиц, не подготовленных к мышечной деятельности.

При сопоставлении кривых восстановления различных показателей у тренированных и нетренированных испытуемых можно отметить, что градиент восстановления у первых выше (легочная вентиляция и потребление кислорода снижаются более круто). Тем не менее кривые восстановления этих функций у тренированных расположены выше, чем у нетренированных, поскольку у первых максимальные величины этих показателей во время работы значительно выше. Исключение составляет кривая пульса. Полное восстановление этого показателя через 20 мин. после ра-

боты у тренированных лиц не наблюдалось, но, начиная уже со 2-й мин., кривая пульса у них круто спускалась вниз, отрываясь от кривой нетренированных и оказываясь значительно ниже ее.

**К и с л о р о д н ы й п у л ь с** (количество поглощенного кислорода в миллилитрах, соответствующее одному сокращению сердца) является важным показателем ряда процессов. Большой кислородный пульс характеризует высокую эффективность адаптации к работе.

В состоянии покоя кислородный пульс был несколько выше у тренированных. Уже на 1-й мин. работы у этой группы испытуемых он быстро нарастает, достигая максимума в большинстве случаев на 3-й мин. (рис. 2). В дальнейшем он либо поддерживается на постоянном уровне, либо

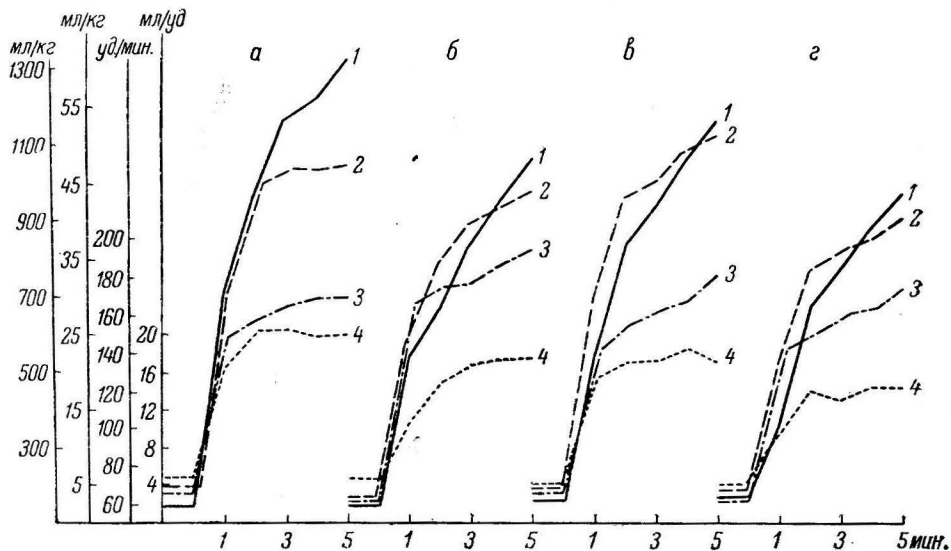


Рис. 2. Средние величины легочной вентиляции (1), потребления кислорода (2), частоты сердечных сокращений (3) и кислородного пульса (4) при работе у тренированных В. К. (а), В. Н. (б), Р. Е. (в) и нетренированного В. Д. (г).

несколько повышается. Лишь в отдельных случаях на последней минуте работы превосходит его некоторое понижение. У нетренированных этот показатель при работе увеличивался в меньшей степени. Восстановление исходной величины кислородного пульса происходило у нетренированных уже через 7—8 мин. после окончания работы, а у тренированных лишь на 13—15-й мин. Это единственный из показателей, восстановление которого у тренированных происходило медленнее. Замедленное восстановление кислородного пульса, сочетающееся с ускоренным восстановлением частоты сердечных сокращений, указывает на более эффективное протекание процессов, обеспечивающих доставку кислорода, у тренированных лиц не только во время работы, но и в период восстановления.

**О к с и г е н а ц и я к р о в и** в процессе работы изменяется по-разному. На 1-й мин. работы в 30% случаев оксигенация крови не изменялась, в 43% она колебалась в диапазоне 95—90%, в 4% оказалась ниже 90% и в 23% (исключительно у тренированных) становилась выше исходного уровня. В дальнейшем эти соотношения изменялись; увеличилось количество случаев снижения оксигенации крови (табл. 1).

В первые минуты после окончания работы оксигенация крови почти во всех случаях оставалась пониженной. Восстановление этого показателя происходит очень медленно. Через 20 мин. исходное насыщение крови кислородом отмечается лишь в 20% случаев.

Таблица 1  
Динамика оксигенации крови в процессе работы  
(в % к числу опытов)

Оксигенация крови (в %)	Работа (продолжительность в мин.)				
	1	2	3	4	5
96	30	28	12	8	2
95—90	43	49	53	50	43
Меньше 90 . . . . .	4	8	12	22	40
Больше 96 . . . . .	23	15	23	20	15

Как указывают М. Е. Маршак (1953), Е. М. Крепс (1959) и другие, оксигенация крови при работе зависит от многих факторов. Особое значение имеет при этом степень корреляции между вентиляцией и кровоснабжением легких. Если минутный объем крови при работе нарастает относительно быстрее, чем увеличивается легочная вентиляция, то оксигенация крови падает.

На значение легочной вентиляции для артериализации крови при работе показывают и наши данные. При относительно малой легочной вентиляции оксигенация крови в среднем ниже 90%; случаев с высокой оксигенацией при этом вовсе не наблюдается (табл. 2). При большой легочной вентиляции насыщение крови кислородом снижается в меньшей степени, однако и в этих условиях имеются единичные случаи значительного снижения оксигенации крови.

Таблица 2  
Оксигенация крови (в %) на 5-й мин. работы  
при различной легочной вентиляции

	Легочная вентиляция (в л)		
	40—60	61—80	81—100
Процент $\text{HbO}_2$ (средние величины) . . . . .	87.9	91.8	93.2
Пределы колебаний процента $\text{HbO}_2$ . . . . .	81—90	84—99	82—98

Еще более закономерные отношения наблюдаются между динамикой оксигенации крови и величинами кислородного пульса. Сопоставление этих показателей представляет интерес для выяснения вопроса о зависимости их от степени корреляции процессов внешнего дыхания и кровообращения. Кислородный пульс находится в прямой зависимости от систолического объема сердца, от кислородной емкости крови, от величины артерио-венозной разности по кислороду и от степени корреляции между процессами легочного кровообращения и дыхания. Процент же  $\text{HbO}_2$  в крови находится в прямой зависимости от последнего фактора и в обратной — от первых трех. Так, например, если повышению систолического объема и кислородной емкости крови не будут соответствовать изменения дыхания, то неминуемо наступит понижение оксигенации крови. Параллелизм в динамике кислородного пульса и оксигенации крови мог бы, таким образом, косвенно указывать на преимущественное значение для обоих этих показателей общего для них фактора — степени корреляции между процессами легочного дыхания и кровообращения. В наших данных и наблюдаются такие соотношения. Из данных табл. 3 видно, что вы-



Таблица 3

Оксигенация крови (в %) на 5-й мин. работы при различной величине кислородного пульса

	Кислородный пульс (в мл)				
	12—14	14.1—16	16.1—18	18.1—20	20
Процент НbO <sub>2</sub> (средние величины) . . . . .	88	91	94.1	94.8	96
Пределы колебаний процента НbO <sub>2</sub> . . . . .	81—92	87—95	91—99	92—99	95—99

сокий кислородный пульс совпадает с относительно высоким уровнем оксигенации крови и, наоборот, случаям значительного снижения оксигенации крови соответствуют менее высокие величины кислородного пульса.

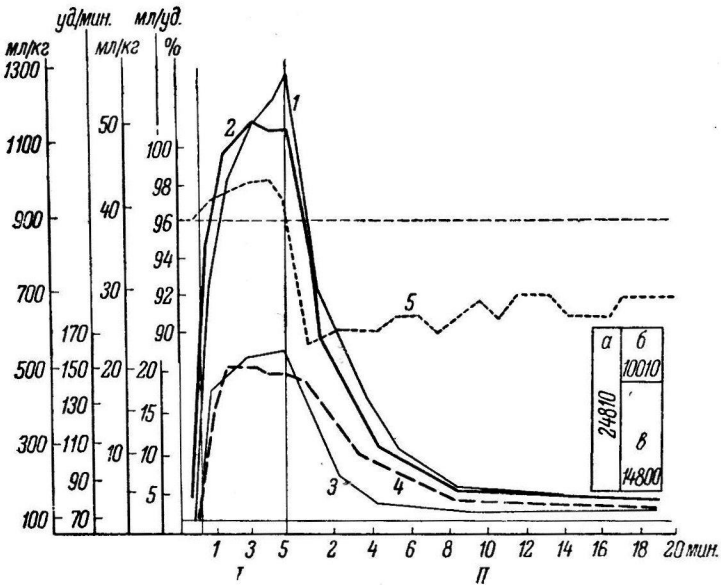


Рис. 3. Легочная вентиляция (1), потребление кислорода (2), частота сердечных сокращений (3), кислородный пульс (4) и оксигенация крови (5) у испытуемого В. К. в опыте от 26 VI 1959.

Справа: а — кислородный запрос; б — кислородный долг; в — потребление кислорода во время работы. I — работа; II — восстановление.

Важные детали процесса приспособления к напряженной мышечной деятельности выясняются при сопоставлении индивидуальных данных разных испытуемых. На рис. 2 нанесены средние данные каждого из 3 исследованных нами спортсменов и одного из нетренированных. В группе тренированных выделяется В. К. (рис. 2 и 3). Поглощение кислорода достигает у него во время работы наиболее высоких величин в наиболее короткие сроки. Такой же величины поглощение кислорода достигает и у Р. Е., но значительно медленнее. Высокая эффективность в снабжении организма кислородом обеспечивается у В. К. за счет быстро и круто возрастающей легочной вентиляции и соответствующего ей, как можно предполагать, повышения минутного объема сердца. При этом частота сердечных сокращений у него возрастает медленнее и оказывается более низкой, чем у других. Увеличение минутного объема сердца обеспечивается у В. К.

за счет большего, чем у других, повышения систолического объема. Об этом косвенно свидетельствует и наиболее высокий у него кислородный пульс.

Такой механизм адаптации к мышечной деятельности типа нашей экспериментальной нагрузки является наиболее совершенным. Помимо широких функциональных возможностей дыхательного аппарата, здесь имеется, по-видимому, высокая лабильность регулирующих дыхание и кровообращение нервных механизмов, обеспечивающая быструю и хорошо согласованную перестройку этих функций. Однако эффективная корреляция в деятельности исследованных систем наблюдается у В. К. до известного предела. Работа «в долг» вызывает прогрессирующий рост

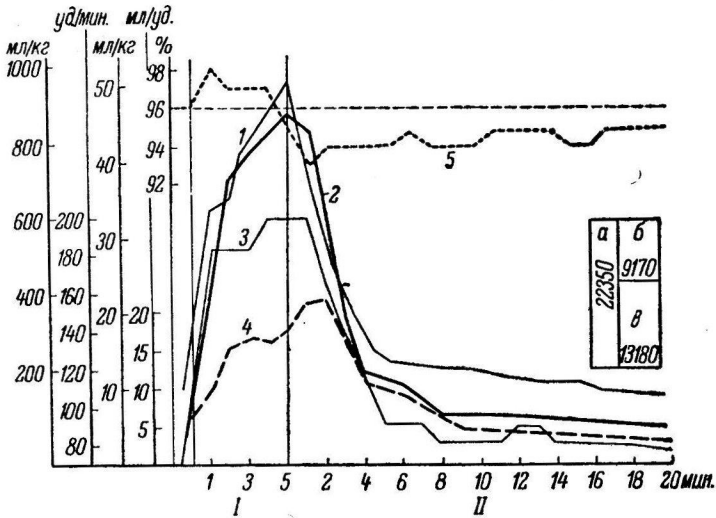


Рис. 4. Легочная вентиляция, потребление кислорода, частота сердечных сокращений, кислородный пульс и оксигенация крови у испытуемого В. Н. в опыте от 22 VI 1959.

Обозначения те же, что и на рис. 3.

легочной вентиляции, но поглощение кислорода при этом уже не повышается больше, а в некоторых опытах даже несколько снижается (рис. 3), что зависит, по-видимому, от ограниченных возможностей аппарата кровообращения. Повышение частоты сердечных сокращений выше 165 в 1 мин. является для В. К. неэффективным. Возможно, что при этом уже несколько снижается систолический объем; возможно, что менее благоприятной для легочного газообмена оказывается повышенная скорость кровотока. Во всяком случае растущая легочная вентиляция обеспечивает лишь поддержание поглощения кислорода на достигнутом ранее высоком уровне.

Иной, чем у В. К., тип адаптации к мышечной деятельности наблюдается у В. Н. (рис. 2 и 4). У него быстро растет частота сердечных сокращений, в некоторых опытах она достигает 200—212 ударов в 1 мин.; медленнее, чем у В. К., и в меньшей степени возрастает легочная вентиляция; меньших величин достигает кислородный пульс и поглощение кислорода в 1 мин. У В. Н. менее развиты функциональные возможности дыхательного аппарата и ниже лабильность регулирующих его нервных механизмов. В увеличении минутного объема сердца большее, чем у В. К., значение имеет компонент частоты. Это менее совершенный тип адаптации, отличающийся от реакций нетренированного В. Д. (рис. 2) не принци-

пиально, а лишь по количественным характеристикам функций и скорости их развертывания. Однако, в отличие от В. К., высокая частота сердечных сокращений не нарушает, по-видимому, у В. Н. эффективную корреляцию функций дыхания и кровообращения. Об этом можно судить по продолжающемуся увеличению потребления кислорода, которое идет почти параллельно росту частоты сердечных сокращений и легочной вентиляции.

### ВЫВОДЫ

1. В соответствии с данными более ранних работ многих авторов исследования показали, что у тренированных лиц при напряженной мышечной деятельности происходят более значительные изменения газообмена, чем у нетренированных. Это обеспечивает возможность выполнения работы значительно большей мощности.

2. Одновременная и непрерывная на протяжении опыта регистрация газообмена, оксигенации крови и частоты сердечных сокращений позволяют выявить некоторые детали адаптации кровообращения и дыхания к напряженной мышечной деятельности. Особое значение имеет при этом кислородный пульс и его сопоставление с данными оксигенации крови. Динамика именно этих показателей наиболее ярко отличает тренированных от нетренированных. Наблюдающееся у тренированных большее возрастание кислородного пульса, менее быстрое его восстановление после работы и меньшее снижение оксигенации крови указывает на более совершенную корреляцию процессов дыхания и кровообращения при мышечной деятельности.

3. У тренированных лиц можно отметить индивидуальные варианты приспособления к работе. У одних быстрее всего возрастает легочная вентиляция и, как можно судить по кислородному пульсу, систолический объем сердца, частота сердечбиений повышается в меньшей степени. В этих условиях устанавливается наиболее эффективная корреляция процессов дыхания и кровообращения. У других быстрее возрастает частота сердечных сокращений, и этот фактор становится одним из ведущих в обеспечении кислородной потребности организма. При этом, в отличие от первого варианта, даже очень высокие частоты сердечных сокращений оказываются эффективными, о чем свидетельствует продолжающееся увеличение потребления кислорода.

4. Важным, по-видимому, фактором адаптации организма к выполнению значительных физических напряжений является повышение функциональной подвижности вегетативных систем. Быстрое переключение их на рабочий уровень, быстрое сонастраивание функций дыхания и кровообращения, высокий градиент восстановления отличают наиболее совершенный тип адаптации тренированного организма в период работы и восстановления.

### ЛИТЕРАТУРА

- А р у ц е в А. А., Теор. и практ. физ. культ., 22, 12, 930, 1959.  
Б а р к р о ф т Дж. Основные черты архитектуры физиологических функций. М.—Л., 1937.  
Б е й н б р и д ж Ф. Физиология мышечной деятельности. М.—Л., 1927.  
Б о р и с о в А. П., Теор. и практ. физ. культ., 20, 8, 611, 1957; в сб.: Научные основы физического воспитания и спорта, 29, М., 1958.  
Г о н ч а р о в Н. Н., В. В. М и х а й л о в и В. Ф. С о р о к и н, Тез. докл. пленума Комиссии по вопр. физиолог. спорта, 31, М., 1956.  
Е ф р е м о в Г. О. В сб.: Исследования по физиологии выносливости, 125. М.—Л., 1949.  
К р е п с Е. М. Оксигеометрия. Л., 1959.

- Крестовников А. Н. Физиология спорта. М.—Л., 1939; Очерки по физиологии физических упражнений. М., 1951.
- Кудрявцев Е. В., Тез. докл. пленума Комиссии по вопр. физиолог. спорта, 58, М., 1956.
- Лантош А. Д., В. С. Фарфель и И. М. Фрейдберг. В сб.: Исследования по физиологии выносливости, 38. М.—Л., 1949.
- Марковская Г. И. В сб.: Научные основы физического воспитания и спорта, 43, М., 1958.
- Маршак М. Е., Усп. совр. биолог., 36, 209, 1953.
- Немова Е. Е. В сб.: Проблемы врачебного контроля, 4, 123. М., 1958.
- Ройтбак А. И., Б. В. Таварткиладзе и И. К. Гоциридзе, Тез. докл. Конференции по вопр. физиолог. спорта, 96, Л., 1955.
- Фарфель В. С., Теор. и практ. физ. культ., 8, 4-5, 23, 1945; Курс физиологии человека. М., 1948; в сб.: Исследования по физиологии выносливости, 237. М.—Л., 1949.
- Фомичев А. В., Тез. докл. пленума Комиссии по вопр. физиолог. спорта, 109, М., 1956.
- Хилл А. Работа мышц. М.—Л., 1929.
- Холден Дж. и Дж. Пристли. Дыхание. М., 1937.
- Böhlau V. u. J. Nöcker, Theor. u. Prax. Körperkult. Sonderheft, 122, 1956.
- Bolt W., H. W. Knipping, H. Valentin, H. Venrat, Sportärzte Tagung, 81, Berlin, 1954.
- Christensen E. H., A. Krogh, I. Lindhard, Quart. Bull. Health Organ. League of Nations, 3, 13, 1934.
- Liljestrand G. u. N. Stenström, Scand. Arch. Physiol., 39, 54, 1920.
- Nielsen J. u. E. Hansen, Scand. Arch. Physiol., 78, 85, 1937.
- Reindell H., R. Weyland, H. Klepzig u. K. Mutzhoff, Sportärzte Tagung, 74, Berlin, 1954.
- Schlumm H. E., Sportärzte Tagung, 94, Berlin, 1954.

Поступило 16 II 1960

---

INVESTIGATION OF GAS EXCHANGE, BLOOD OXYGENATION  
AND FREQUENCY OF HEART CONTRACTIONS DURING  
INTENSIVE WORK IN THE LABORATORY  
CONDITIONS

By *V. V. Vasilieva, E. B. Kossowskaia, V. P. Pravosudov* and  
*I. N. Salchenko*

From the P. F. Lesshaft Institute of Physical Culture, Leningrad

---

## АДАПТАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА К ГИПОКСЕМИИ ПРИ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*А. Б. Гандельсман, Р. П. Грачева и Н. Б. Прокопович*

Кафедра физиологии Института физической культуры им. П. Ф. Лесгафта,  
Ленинград

Приспособление организма человека и животных к недостатку кислорода в крови привлекает внимание многих исследователей. Некоторые из них обратили внимание на единичные факты кратковременной гипоксемии при мышечной деятельности (Mattes, 1935; Montgomery а. о., 1948; Маршак, 1951, 1953; Vuxlman, 1951; Грачева, 1952, 1955; Войткевич, 1952, 1955; Крепс, 1952, 1959; Грачева, Поляков, 1958, и др.). Гипоксемия при двигательной деятельности, наблюдавшаяся этими авторами лишь в некоторых опытах, трактуется как показатель плохой тренированности организма человека и обычно объясняется нарушением координации дыхательной и сердечно-сосудистой систем.

В процессе развития тренированности совершенствуются временные связи между нервными центрами двигательного аппарата и вегетативных органов. В результате двигательная деятельность сопровождается компенсаторным усилением дыхательной функции и кровообращения, препятствующим развитию гипоксемии. Всегда ли достаточен такой механизм развития тренированности? Этот вопрос возник перед нами с особой остротой в процессе наблюдений за тренировками и соревнованиями сильнейших спортсменов в марафонском беге (42 км 195 м), бегунов на 5000 и 10 000 м, велосипедистов и др. Ведь, действительно, протекающая на высоком уровне окислительных реакций двигательная деятельность при достижении рекордных результатов осуществляется в постоянной борьбе со снижением скорости движения на дистанции. Спортсмены стремятся не снизить мощность работы при продвижении по сильно пересеченной местности, изобилующей крутыми подъемами, иногда против ветра и в сильную жару. Борьба со спортивными противниками за лучшие достижения требует применения длительных ускорений со старта, по ходу всей дистанции и при финишировании. Физические нагрузки, применяемые спортсменами, исключительно велики. Так, например, находившиеся под нашим наблюдением сильнейшие бегуны-марафонцы И. Филин и С. Попов в апреле—мае 1958—1959 гг. из 28 занятий в 5 ежедневно пробегали с переменной скоростью больше 40 км, а в остальных занятиях — от 15 до 38 км в день! При этом бег проводился по сильно пересеченной местности и иногда против ветра (Никифоров, 1959). Подобные наблюдения за тренировкой спортсменов высокой квалификации позволили предположить возможность существования наряду с развитием компенсаторных механизмов, выравнивающих гипоксемию, приспособления к высокопроизводительной двигательной деятельности в процессе развития гипоксемии. Такая возможная форма адаптации организма представлялась нам отличной от общеизвестной адаптации к гипоксемии хотя бы потому,

что она предполагалась у здоровых и тренированных людей в условиях нормального барометрического давления атмосферного воздуха на уровне моря.

Для решения поставленного вопроса на протяжении 5 лет (1955—1960 гг.) нами поставлены исследования в двух направлениях: 1) в направлении оценки степени адаптации спортсменов к гипоксемии, вызываемой произвольной задержкой дыхания или при дыхании в замкнутом пространстве, и 2) в направлении изучения уровня насыщения крови кислородом у спортсменов в процессе как лабораторных двигательных нагрузок, так и при некоторых упражнениях в естественных условиях спортивной тренировки.

Оценивая показатели работоспособности спортсменов, электрическую активность скелетных и сердечной мышц, легочную вентиляцию, сопоставляя эти данные с оксигемограммами, мы стремились установить возможность развития адаптации к гипоксемии при двигательной деятельности. Последние 3 года, убедившись в том, что такая форма адаптации действительно возникает при систематической, многолетней, большой по объему и высокой интенсивности мышечной деятельности спортсменов, мы стремились составить суждение о ее сущности. Краткая сводка результатов этих исследований представлена в настоящей статье.

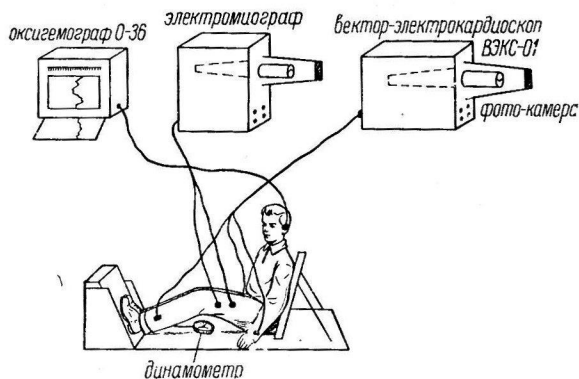


Рис. 1. Схема опыта.

## МЕТОДИКА

Для исследования гипоксемии у более чем 250 испытуемых спортсменов и не спортсменов различного возраста применялся метод бескровной непрерывной регистрации изменений насыщения крови кислородом (Крепс и соавторы, 1951; Крепс, 1959). В первой группе опытов изучались гипоксемические сдвиги тренированных спортсменов — бегунов на длинные и сверхдлинные дистанции, велосипедистов и др., нетренированных людей и детей в ответ на предельные произвольные задержки дыхания, производимые испытуемыми на полном вдохе, полном выдохе и после предварительного вдыхания азота. Получаемые оксигемограммы при задержке дыхания анализировались нами по времени и глубине гипоксемического сдвига, а также по времени и полноте восстановления уровня насыщения крови кислородом после окончания задержки дыхания (Гандельсман и соавторы, 1955; Тихвицкий, 1955; Гандельсман и соавторы, 1956; Дембо, 1956; Гандельсман, 1957; Васильева, Жуков, Коссовская, Правосудов, 1957; Гандельсман, Попов, Тесленко, 1958).

В некоторых опытах вместо задержки дыхания испытуемые дышали в замкнутом пространстве как при поглощении избытка  $\text{CO}_2$ , так и с накоплением  $\text{CO}_2$  до «предела» индивидуальной переносимости. В последнем случае процент  $\text{CO}_2$  в конце таких опытов определялся по Фридериха.

Во второй группе опытов гипоксемические сдвиги исследовались при различных нагрузках — во время бега на месте, при фазовых и нефазовых усилиях на специальном динамометре для ног, при езде на велосипеде на тренировочном станке, а также небольшое число опытов проведено в условиях обычных нагрузок при езде на велосипеде и во время бега.

Лабораторные опыты ставились по схеме, представленной на рис. 1. Испытуемый выполнял ритмические или непрерывные напряжения мышц ног на специальном динамометре. При этом регистрировалось насыщение крови кислородом на оксигемографе О-36 и на оксигеометре О-38, электрическая активность мышц ног — на электромиографической установке с регистрирующей частью МПО-2 и электрическая активность мышцы сердца — на векторэлектрокардиоскопе ВЭКС-01. В некоторых опытах определялись величина легочной вентиляции и другие показатели дыхательной функции.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение оксигемограмм при задержке испытуемыми дыхания показало их большое разнообразие. Однако можно было отметить у испытуемых 7—18 лет некоторую зависимость от возраста и степени тренированности. С возрастом способность подростков и юношей переносить более значительные гипоксемические сдвиги увеличивается (Гандельсман, Грачева, Прокопович, 1959а и б; Гандельсман, 1959а и б; Саснаускайте, 1959).

Повторные исследования спортсменов согласовано показали, что двигательная тренировка, даже на сравнительно коротких отрезках времени (до 1 месяца), способна резко повысить адаптацию к гипоксемии (Попов, 1957). Однако это зависит от особенностей тренировки. В наибольшей степени адаптация к гипоксемии достигается на тренировке в беге на длинные и сверхдлинные дистанции, при длительной езде на велосипеде и лыжных гонках, и в меньшей степени — при тренировке на средние дистанции, спортивной ходьбе и еще в меньшей степени — при тренировке в коротких дистанциях, метаниях и прыжках (Гандельсман и Васильева, 1957; Попов, 1957; Гандельсман, 1958, 1959а и б).

Следует отметить, что длительность задержки дыхания сама по себе не может характеризовать степень адаптации к гипоксемии. Нами было отмечено, что при большом разнообразии оксигемографической картины при задержке дыхания она может приближаться к двум различным типам реакций: 1) с длительной устойчивой фазой оксигенации крови после начала задержки дыхания и относительно меньшим временем и степенью гипоксемии и 2) с относительно длительным временем развития гипоксемии со снижением оксигенации крови нередко до предела прибора (ниже 60%).

Первый тип реакций условно был назван нами «компенсаторным», второй — «гипоксемическим» (Гандельсман, Попов, Тесленко, 1958; Гандельсман, 1958, 1959а и б). Адаптация к гипоксемии оказалась гораздо более возможной при гипоксемическом типе реакции.

Характерный пример приспособления спортсмена к гипоксемии приводится на рис. 2. На рис. 2 дана оксигемограмма высокотренированного лыжника-гонщика, мастера спорта на 50-километровой лыжной гонке (в процессе задержки дыхания в течение 4 м. 40 с. на вдохе и около 2 мин. при задержке дыхания на полном выдохе после трехкратного вдыхания азота. Записанная одновременно ЭКГ показала лишь небольшое и временное снижение величины зубцов и небольшое изменение ритма.

Резкое различие обнаружено при сопоставлении сдвигов электрической активности сердца у тренированных и нетренированных лиц (рис. 3). Если у тренированных спортсменов наблюдалось лишь временное уменьшение величины зубцов ЭКГ, что даже при значительной ги-

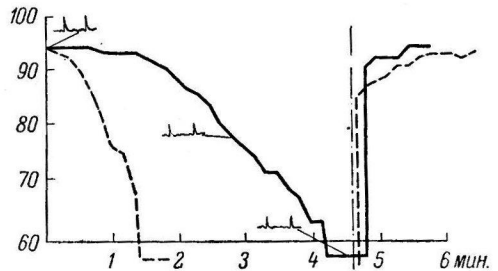


Рис. 2. Изменения насыщения крови кислородом при задержке дыхания у мастера спорта М—ва.

Сплошная линия — копия с оксигемограммы в процессе задержки дыхания в течение 4 м. 40 с. Прерывистая линия — копия с оксигемограммы в процессе задержки дыхания около 2 мин. на выдохе после трехкратного вдыхания азота. В рисунок включены копии с электрокардиограмм (II отведение), снятых во время развития гипоксемического сдвига. Правая половина рисунка — кривые восстановления оксигенации крови после задержки дыхания.

По оси ординат — процент насыщения крови  $O_2$ ; по оси абсцисс — время (в мин.).

поксемии выравнивалось, то у нетренированных даже при небольшой гипоксемии уменьшение электрической активности мышцы сердца было значительным. Электромиографические исследования тренированных спортсменов при снижении насыщения крови  $O_2$  ниже 60% во время бега на месте с задержкой дыхания показали исключительную устойчивость величины и частоты электрических потенциалов действия. У нетренированных даже небольшое уменьшение оксигенации крови (до 86—88%) вызывало резкое уменьшение электрической активности мышц во время бега на месте. Опыты при дыхании в замкнутом пространстве представляли

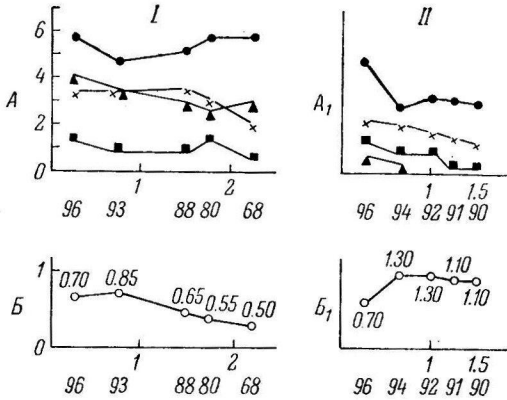


Рис. 3. Изменение величины потенциалов действия мышцы сердца ( $A$  и  $A_1$ ) и длительности сердечного цикла ( $B$  и  $B_1$ ) у тренированного спортсмена ( $I$ ) и нетренированного испытуемого ( $II$ ) в процессе развития гипоксемии при задержке дыхания.

Для  $A$  и  $A_1$ : по оси ординат — величина зубцов (в мм); по оси абсцисс — время в мин. (верхний ряд цифр) и процент насыщения  $O_2$  (нижний ряд цифр). Кружки — величины зубца  $R$ ; крестики — зубца  $T$ ; треугольники — зубца  $S$ ; квадратики — зубца  $P$ . Для  $B$  и  $B_1$ : по оси ординат — время (в сек.), по оси абсцисс — время в мин. (верхний ряд цифр) и процент насыщения  $O_2$  (нижний ряд цифр). Кривая отображает изменение интервала  $R-P$ .

копроизводительную и длительную мышечную работу в условиях чрезвычайно выраженной гипоксемии и гиперкапнии (Васильева и соавторы, 1959; Гандельсман, Грачева, Прокопович, 1959а и б, Гандельсман, 1959 а и б).

При постановке разнообразных серий опытов мы стремились выяснить особенности гипоксемии при мышечной деятельности. Возник вопрос: не является ли гипоксемия и в этих случаях выражением дискоординации дыхания и кровообращения и прежде всего следствием недостаточности внешнего дыхания? Однако величины легочной вентиляции в процессе развития гипоксемического сдвига у велосипедистов, работавших на велостанке и в условиях обычной тренировки, не превышали 60 л (далеко до возможных пределов). Форсированное произвольное дыхание, значительно увеличивающее величину легочной вентиляции (выше 90 л), не уменьшало степени гипоксемии, а иногда ее увеличивало. Следовательно, гипоксемия в наших исследованиях не зависела от нарушения координации произвольного дыхания и кровообращения, не могла быть объяснена недостаточностью внешнего дыхания.

Опыты на велосипедистах высокого класса в процессе выполнения весьма напряженной работы на велостанке показали, что они могут дли-

интерес в той части, где гипоксемия развивалась вместе с гиперкапнией. Оказалось, что высокотренированные бегуны-марафонцы способны переносить не только резко выраженную гипоксемию, но и выраженную гиперкапнию. Если нетренированные заканчивали опыт с дыханием в замкнутом пространстве без поглощения  $CO_2$  при сравнительно небольших изменениях газового состава крови (снижение насыщения крови  $O_2$  на 8—12% и накопление  $CO_2$  в воздухе замкнутого пространства до 3.5—5.0%  $CO_2$ ), то высокотренированные заканчивали опыт при резком гипоксемическом сдвиге (до 60%) и при высоком содержании  $CO_2$  воздуха замкнутого пространства (до 10.2%  $CO_2$ ).

Прямые исследования гипоксемических сдвигов при мышечной деятельности тренированных спортсменов показали их способность выполнять высоко-



тельно (в опытах до 30 мин.) совершать работу высокой мощности, не снижая частоту вращений педалей, даже при выраженном гипоксемическом сдвиге. В процессе исследования велосипедиста при ускорениях езды (рывках) на дистанции (опыт Грачевой) гипоксемия оказывалась весьма выраженной (до 80% насыщения крови кислородом). При работе мастеров спорта на велостанке снижение оксигенации крови на 10—12% наблюдалось нами на протяжении всех 30 мин. При ускорениях можно было отметить весьма глубокое (до 60%) снижение оксигенации крови, продуктивность же мышечной деятельности была постоянно весьма высокой. Продолжать такую работу спортсмены могли значительное время.

Наблюдаемые нами гипоксемические сдвиги всегда сопровождались гиперкапнией. Это отчетливо выяснилось при оценке результатов опытов,

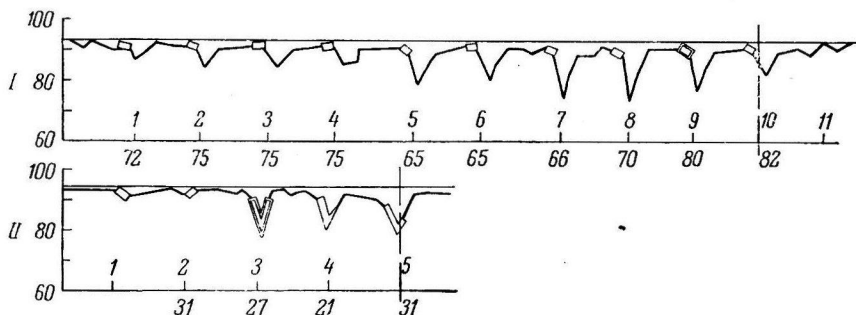


Рис. 4. Двигательная деятельность человека во время гипоксемических сдвигов в связи с тренированностью.

I — копия с оксигеграммы высокоотренированного спортсмена в процессе 10-минутной напряженной двигательной деятельности на динамометре для ног. II — копия с оксигеграммы здорового, нетренированного человека в процессе 5-минутной работы на динамометре для ног (до изнеможения). По оси ординат — процент насыщения крови  $O_2$ ; по оси абсцисс — время работы (в мин.). Второй ряд цифр по оси абсцисс — темп усилий за 1 мин.

Отрезки кривой, изображенные двойной линией, означают 10 сек. задержки дыхания.

в которых тренированные показали исключительную способность переносить гиперкапнию при дыхании в замкнутом пространстве без поглощения  $CO_2$ , т. е. с накоплением углекислого газа в дыхательном воздухе и в крови. Не является ли такое сочетание гипоксемии с гиперкапнией содействующим лучшей утилизации кислорода тканями при его недостатке в крови? Способность скелетных мышц тренированных спортсменов выполнять большую работу в этих условиях говорит прежде всего о большой устойчивости нервных центров к трудным условиям внутренней среды организма. Об этом отчетливо говорят и серии опытов, в которых характер иннервации (по электромиографической картине) не изменялся у высокоотренированных бегунов, несмотря на снижение уровня насыщения крови кислородом до 60%.

Пример подобной адаптации приводится на рис. 4, на котором представлены оксигеграммы тренированного и нетренированного человека, выполнявших ритмические усилия на динамометре для ног в течение нескольких минут. Для выяснения степени приспособления к двигательной деятельности в условиях гипоксемии в конце каждой минуты работы испытуемые задерживали дыхание на 10 сек. Несмотря на временное снижение уровня оксигенации крови до 72%, тренированный спортсмен выполнил до 82 усилий мышц ног в течение 1 сек., каждое из которых равнялось 250—300 кг. Нетренированный испытуемый смог выполнить лишь не более 35 усилий в 1 сек., при снижении оксигенации крови лишь в небольшой степени (до 80%). Если тренированный мог продолжать и дальше

работу (после 10 сек.), то нетренированный к концу 5-й сек. вынужден был ее прервать.

При исследовании потенциалов действия мышцы сердца во время фазовой и нефазовой мышечной деятельности при гипоксемических изменениях (рис. 5) выяснилось, что у тренированных спортсменов временное снижение высоты зубцов сменяется их возвращением к исходной величине или их увеличением. У нетренированных людей наблюдалось выраженное и непрерывно нарастающее уменьшение зубцов ЭКГ при значительно меньшей выраженности гипоксемии (рис. 5).

Следовательно, гипоксемия и гиперкапния у высокоотренированных спортсменов при двигательной деятельности

должны рассматриваться как проявление адапционных механизмов, развившихся в процессе многолетнего приспособления спортсменов к трудной, длительной двигательной тренировке.

Выравнивание гипоксемических изменений при двигательной деятельности было отмечено и в наших опытах при небольших напряжениях спортсменов. Однако гипоксемия, возникающая при длительных и напряженных видах двигательной деятельности, не может быть объяснена недостаточностью внешнего дыхания, поскольку усиленная вентиляция легких не ведет к ее устранению. Очевидно, в данном случае можно думать о первостепенном значении циркуляторных перестроек в связи с приспособлением к тяжелой мышечной работе. Малая выраженность компенсаторного усиления дыхания, а также высокая работоспособность скелетных мышц, устойчивость величин электрической активности мышц конечностей и мышцы сердца при развитии выраженной гипоксемии и гиперкапнии

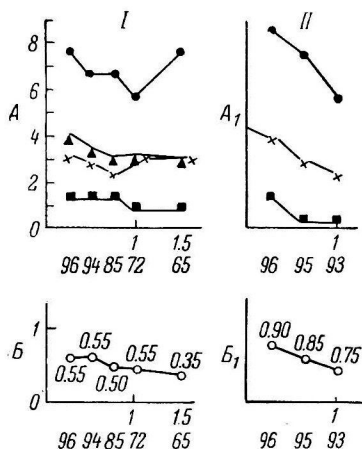


Рис. 5. Изменение величины потенциалов действия мышцы сердца ( $A$  и  $A_1$ ) и длительности сердечного цикла ( $B$  и  $B_1$ ) у тренированного ( $I$ ) и нетренированного ( $II$ ) испытуемых при статической работе (100 кг по динамометру) с одновременной задержкой дыхания на вдохе.

Обозначения те же, что и на рис. 3.

заставляют нас предположить повышенную устойчивость нервных центров, а может быть и мышечной ткани к гипоксемии. Эти адапционные явления сходны с теми, которые обнаружены А. Г. Гинецинским и З. И. Барбашевой при исследовании горных овец. У гиссарских овец, прекрасно приспособляющихся к высоте, в противоположность обычной реакции равнинных овец была обнаружена своеобразная легкая приспособляемость к стремительному падению насыщения артериальной крови  $O_2$  и парциального напряжения  $O_2$  в капиллярах (Барбашева, 1958). Подобный тип реакции у высокоотренированных спортсменов, очевидно, связан с многолетним приспособлением к двигательной деятельности в трудных условиях внешней и внутренней среды организма.

Очевидно, важное значение имеют рефлекторные перестройки кровообращения в малом и большом кругах.

В процессе напряженной двигательной деятельности имеет место увеличение сосудистого капиллярного русла не только в мышцах, что увеличивает время соприкосновения работающих мышечных волокон с кровью, облегчая утилизацию кислорода крови, но и в легких, где, по-видимому, широко раскрываются артерио-венозные анастомозы. Последнее может быть понято как облегчение работы правого сердца и может объяснить неустра-

нимость гипоксемических сдвигов путем усиления внешнего дыхания при тяжелой работе у тренированных людей.

Важной особенностью двигательной гипоксемии следует признать одновременную и выраженную гиперкапнию. Этим можно объяснить усиленную диссоциацию оксигемоглобина при удержании низкого уровня насыщения крови кислородом во время напряженной работы. Возможно, что большое накопление  $\text{CO}_2$  в крови не только свидетельствует об адаптации организма к гиперкапнии, но и сказывается на состоянии нервных центров, понижая их возбудимость к гипоксемии. Таким образом, оказывается возможным в физиологических условиях двигательной тренировки развить высокую степень адаптации организма человека к гипоксемии и гиперкапнии.

## ВЫВОДЫ

1. Адаптация к гипоксемии возникает в связи с развитием тренированности спортсменов, в течение многих лет упражняющихся в длительных и напряженных двигательных нагрузках (в марафонском беге, в беге на длинные дистанции, в лыжных гонках, в велосипедной езде и т. д.).

2. Адаптация к гипоксемии спортсменов выражается в поразительной способности выполнять длительную двигательную деятельность в условиях резкого снижения и выраженных колебаний уровня насыщения крови кислородом.

3. У тренированных спортсменов, в отличие от нетренированных испытуемых, амплитуда и частота потенциалов действия скелетных мышц при напряженной мышечной деятельности во время развития выраженной гипоксемии не изменяется. Мало изменяется и амплитуда зубцов ЭКГ. Эти данные можно объяснить развитием у спортсменов в процессе тренировки высокой устойчивости к гипоксемии нервных центров, а может быть и мышечной ткани.

4. Существенной особенностью адаптации к гипоксемии при двигательной деятельности является одновременная адаптация к гиперкапнии. Можно предполагать приспособительное значение такого сочетания, повышающего устойчивость нервных центров к недостатку кислорода и усиливающего утилизацию кислорода тканями.

5. Гипоксемия во время напряженной и длительной двигательной деятельности у тренированных спортсменов не является следствием недостаточности внешнего дыхания. В наших исследованиях компенсаторное увеличение легочной вентиляции во время двигательной деятельности было выражено в малой степени и произвольное усиление дыхания не вело к устранению гипоксемии. Очевидно, в основе приспособления к недостатку кислорода у спортсменов лежат циркуляционные функциональные перестройки.

6. Адаптация к гипоксемии при одновременной гиперкапнии составляет важную особенность длительной и напряженной двигательной тренировки людей.

## ЛИТЕРАТУРА

- Барабашева З. И., Проблемы эволюции физиологических функций. Сб., посвящ. 75-летию акад. Л. А. Орбели, 116, 1958.
- Васильева В. В., А. Б. Гандельсман, Р. П. Грачева, С. Н. Попов, Н. Б. Прокопович, Ж. А. Тесленко, Ю. З. Захарьянц, Н. Н. Саладичская, Тез. докл. IX съезда Всесоюз. общ. физиолог., биохим. и фармаколог., 1, 122, 1959.
- Васильева В. В., Е. К. Жуков, Э. Б. Коссовская, В. П. Правосудов, Пленум Ком. по вопр. физиолог. спорта, Тез. докл., 21, Киев, 1957.
- Войткевич В. И., Оксигеметрические исследования насыщения

- артериальной крови в здоровом и больном организме. Дисс. Л., 1952; Физиолог журн. СССР, 41, № 2, 219, 1955.
- Гандельсман А. Б., Пленум Ком. по вопр. физиолог. спорта, Тез. докл., Киев, 1957; Проблемы физиологии спорта, Сб. тр. инст. физ. культ., в. 1, 193, 1958а; Рефер. сообщ. на XII юбилейном Междун. конгр. спорт. мед., 52, М., 1958б; в сб.: Спортивная медицина, Тр. XII юбилейного Междун. конгр. спорт. мед., 164, Медгиз, М., 1959а; Тез. докл. конфер. ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта, кафедра легкой атлетики, 24, 1959б.
- Гандельсман А. Б., В. В. Васильева, Легкая атлетика, № 5, 24, 1957.
- Гандельсман А. Б., В. В. Васильева, А. Ф. Корякина, Э. Б. Коссовская, Р. П. Грачева, Ю. З. Захарьянц, Е. Г. Котельникова, А. В. Дариданова, А. И. Макарова, Г. П. Мануковская, И. Н. Сальченко, А. С. Степанов, В. А. Табунов, Д. А. Алинов, Ж. А. Тесленко, Тез. докл. на итог. научн. конфер. ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта, 6, Л., 1955.
- Гандельсман А. Б., В. В. Васильева, А. Ф. Корякина, Э. Б. Коссовская, Р. П. Грачева, Ю. З. Захарьянц, А. В. Дариданова, Тез. докл. на н.-метод. совете Комит. по физ. культ. и спорту, 35, М., 1956.
- Гандельсман А. Б., Р. П. Грачева, Н. Б. Прокопович, Тез. докл. на IV научн. конф. по вопр. возрастн. морфолог., физиолог. и биохим., 82, М., 1959а; Тез. докл. конфер. ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта, 9, 1959б.
- Гандельсман А. Б., С. Н. Попов, Ж. А. Тесленко, Проблемы физиологии спорта, Сб. тр. инст. физ. культ., в. 1, 184, М., 1958.
- Грачева Р. П., Тез. докл. на пленуме секции по пробл. павловского физиолог. учения в области физ. воспитания, 58, Л.—М., 1952; Тез. конфер. по вопросам физиолог. спорта, 37, 1955.
- Грачева Р. П., Д. П. Поляков, Теор. и практ. физ. культ., 21, № 8, 591, 1958.
- Дембо А. Г., Тез. докл. на н.-метод. совете Комит. физ. культ. и спорта, 45, М., 1956.
- Крепс Е. М., Природа, № 3, 75, 1952; Оксигеметрия. Медгиз, Л., 1959.
- Крепс Е. М., М. С. Шипалов, А. А. Болотинский. Бюлл. экспер. биолог. и мед., 32, № 7, 60, 1951.
- Маршак М. Е. Нервная регуляция кровообращения и дыхания, Тез. докл. объедин. сесс. отд. медико-биолог. наук и отд. клинич. мед. АМН СССР в г. Рязани в 1951 г., Изд. АМН СССР, 28, М., 1951; Бюлл. экспер., биолог. и мед., 8, 4, 1953.
- Никифоров Г. И., Тез. конфер. ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта, 14, 1959.
- Попов С. Н., Легкая атлетика, № 10, 22, 1957.
- Саснаускайте Е. П. Дисс. Л., 1959.
- Тихвинский С. Б., Тез. докл. на сессии ЛНИФК, 57, Л., 1955.
- Vuhlman A., Schweiz. Med. Wochenschr., № 81, 374, 1951.
- Mattes K., Arch. exper. Path. u. Pharmacol., 170, 698, 1935.
- Montgomery G. E., E. H. Wood, H. B. Burchell, T. S. Drej, R. L. Parker, H. F. Helmholtz, Am. Heart. Journ., 36, 5, 668, 1948.

Поступило 24 II 1960

## THE ADAPTATION OF MAN TO HYPOXEMIA DURING MUSCULAR ACTIVITY

By *A. B. Gandelsman, R. P. Gracheva and N. B. Prokopovich*

From the P. F. Lesshaft Institute of Physical Culture, Leningrad

The results are summarized of the investigation (with a bloodless method) in the hypoxemic changes taking place during the motor activity. Experiments were performed on over 250 individuals. Among these the renowned sportsmen in various lines of sport were present, as well as untrained people. It was established that adaptation to hypoxemia arises with the development of training ability in sporting people during prolonged exercise with

---

severe dynamic loads (maraphonic races, races at long distances, ski races, cycling etc.).

In trained sportsmen, at variance with the untrained subjects, the amplitude and frequency of the skeletal muscle action potentials at a severe muscular strain suffers hardly any changes during the development of hypoxemia. The amplitude of the EEG waves remains almost unchanged either.

As an essential feature of adaptation to hypoxemia during the motor activity, simultaneous adaptation to hypocapnia should be mentioned.

---

## О ЗНАЧЕНИИ ВЕЛИЧИНЫ НАГРУЗКИ, ТЕМПА, ДЛИТЕЛЬНОСТИ УПРАЖНЕНИЙ И ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ ЗАНЯТИЯМИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЫШЕЧНОЙ ТРЕНИРОВКИ

*Н. В. Зимкин*

Ленинград

В процессе физического воспитания и спортивной тренировки мышечные упражнения применяются с различной нагрузкой, в неодинаковом темпе, с разной длительностью занятий и со значительными вариациями интервалов между ними. Все эти параметры, характеризующие особенности физиологического режима тренировки, не безразличны для эффективности тренировочного процесса и для достижения тех целей, которые ставятся при организации занятий в лечебной физической культуре, при физических упражнениях оздоровительного характера, при физической подготовке специальных категорий лиц (пожарников и других) и в спорте.

Физические напряжения, испытываемые при различных видах физического воспитания, варьируют в весьма больших пределах: от незначительных при лечебной физической культуре и оздоровительных мышечных упражнениях до весьма больших — при некоторых видах спорта.

Тренировка без значительных напряжений, не вызывающая в организме утомления, как известно, малоэффективна. Тренировка же с чрезмерными нагрузками может привести к перетренировке и снижению ранее достигнутых результатов (Летунов, 1949; Крестовников, 1951; Матеев, 1959; Миссиуро, 1959; Прокоп, 1959; Фольборг, Фролькис, Муравов, 1959, и др.). Исходя из этого, следовало бы сделать вывод о том, что тренировку необходимо проводить при средних мышечных напряжениях. Однако не всякая средняя интенсивность мышечных напряжений является достаточно эффективной. Вследствие этого в поисках наиболее результативных форм тренировки в современном спорте имеется тенденция к весьма значительному увеличению интенсивности тренировочных занятий. Например, на протяжении одного тренировочного занятия бегуны стайеры пробегают 30—45 км, а при интервальной тренировке — дистанцию в 400 м повторно с небольшими интервалами преодолевают в быстром темпе 30—40 раз. На протяжении же года бегуны пробегают на тренировках до 7—8 тыс. км. Тяжелоатлеты на каждой тренировке поднимают до 15 т, многократно упражняются со штангой, вес которой приближается к предельному для данного спортсмена. Велосипедисты преодолевают на тренировках расстояния, измеряемые сотнями километров в день, на соревнованиях же при суточной гонке без лидера проезжают до 800 км, а с лидером — до 1000 км. В связи с этим возникает вопрос о физиологическом обосновании режима тренировки, при котором наблюдается наибольшая эффективность. Наиболее актуален этот вопрос в спорте. Вместе с тем он имеет важное значение при всех других видах физического воспитания: в лечебной физической культуре, при физических упражнениях оздоровительного характера, физическом вос-

питании детей, при физической подготовке учащихся и т. д. также стремятся к наиболее эффективным формам тренировки.

На протяжении многих лет нами (Зимкин, 1956) и нашими сотрудниками (И. Г. Васильев, А. П. Васильев, В. С. Герасимов, В. Н. Конных, А. В. Коробков, О. Г. Крюков, Я. А. Эголинский, А. И. Яроцкий и др.) исследовалась эффективность мышечной тренировки при различной величине физических напряжений, обусловленных неодинаковостью нагрузки, темпа движений, продолжительности занятий и интервалов между тренировочными занятиями. Эти исследования, проведенные в основном в начальные стадии физической тренировки, показали, что эффективность занятий мышечными упражнениями находится в непосредственной зависимости от режима этих занятий.

Таблица 1

Средний прирост мышечной силы (в % к исходной максимальной силе) в зависимости от величины применявшихся при тренировке нагрузки, темпа и интервалов между занятиями (по данным И. Г. Васильева)

Серия опытов	Количество тренировочных занятий	Количество испытуемых	Режим тренировки			Прирост силы (в %) для разных мышц				
			нагрузка (в %)	темп (в мин.)	интервалы между занятиями (в днях)	разгибатель среднего пальца	разгибатели предплечья	разгибатели плеча	тыльные сгибатели стопы	для всех 4 групп мышц
I	40	20	20	45	2	87.9	77.3	98.8	80.6	87.8
			40			77.6	111.7	70.8	91.6	87.7
			60			71.1	72.6	137.5	98.9	90.4
			80			63.8	109.7	121.8	125.0	106.6
II	40	8	20	Максимальный	2	58.0	75.0	100.0	56.2	72.2
			40			35.0	88.0	73.3	67.0	66.0
			60			35.0	50.0	51.0	50.0	47.0
			80			38.0	18.0	28.3	25.0	27.4
III	10	20	20	45	2	49.3	39.7	70.7	54.8	59.2
			40			25.3	66.2	41.6	50.3	47.9
			60			26.2	33.0	91.2	66.6	53.1
			80			26.5	63.5	87.8	73.2	63.2
IV	10	12	20	45	1	19.0	17.0	18.0	16.0	18.0
			40			22.0	32.0	26.0	32.0	27.0
			60			9.0	11.0	33.0	16.0	18.0
			80			8.0	14.0	63.0	38.0	28.0

На табл. 1 (серия опытов I) приводятся данные о влиянии нагрузки, темпа и интервалов между занятиями на эффективность развития мышечной силы при тренировке. Оказалось, что разные мышечные группы после проделанной на 40 тренировочных занятиях одинаковой работы (в кг/м) при всех примененных нагрузках (20, 40, 60 и 80% от максимальной силы) дали эффект, мало отличающийся друг от друга. Нагрузка в 80% привела к несколько большему эффекту, но не для всех групп упражнявшихся мышц.

При аналогичной тренировке в максимальном темпе эффект был тем меньше, чем больше был тренировочный груз (табл. 1, серии опытов I и II). Высокий темп движений оказался менее благоприятным для развития силы, и лишь при нагрузках в 20% в некоторых мышечных группах прирост силы был примерно таким же, как и при тренировке в темпе 45 раз в 1 мин. При сравнении результатов исследований с интервалами в 1 и 2 дня (табл. 1, серии опытов III и IV) во всех случаях тренировка с большим интервалом между занятиями оказалась значительно более эффективной.

Таким образом, при начальной тренировке увеличение физиологической напряженности тренировки (большой груз, частый темп движений, малые интервалы между занятиями) не всегда приводят к повышению эффективности развития силы. Повышение напряжения на занятиях может способствовать увеличению этой эффективности только в дальнейшем, по мере роста тренированности спортсменов. Это иллюстрируется результатами тренировки штангистов, у которых в первые 8 занятий упражнения с грузами в 45—60% (от максимально поднимаемого веса) были несколько более эффективными, чем упражнения с грузами в 60—75% и 75—90%. Но в дальнейшем, с ростом тренированности спортсменов, после 16 занятий наибольший прирост дали упражнения с грузом в 75—90%, а наименьший — с грузом в 45—60% (табл. 2).

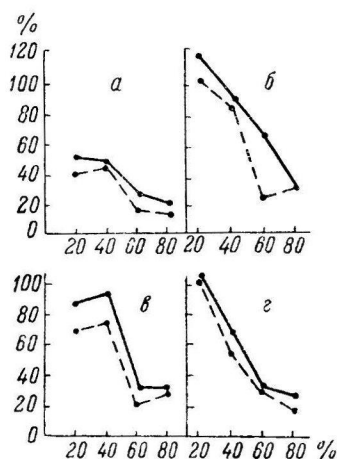


Рис. 1. Прирост темпа движений в различных мышечных группах у испытуемых П. С. (сплошная линия) и Б. М. (пунктирная линия) после 40 тренировочных занятий в зависимости от величины нагрузки (по данным И. Г. Васильева).

По оси абсцисс — величина груза (в % от максимальной силы); по оси ординат — прирост темпа движений (в %). а — разгибатели среднего пальца, б — предплечья, в — плеча, з — тыльные сгибатели стопы.

прирост обнаруживается лишь при нагрузках в 20—40%, при нагрузках же в 60—80% от максимальной силы увеличение темпа весьма незначительно (рис. 1).

Таблица 2

Средний прирост поднимаемого максимального груза (в кг) после 8 и 16-го тренировочных занятий (по данным В. Н. Конных)

Тренировочный груз (в % от максимально поднимаемого груза)	После 8-го занятия				После 16-го занятия			
	жим	ры-вок	тол-чок	сумма трое-борья	жим	ры-вок	тол-чок	сумма трое-борья
75—90	3.7	3.7	6.2	13.7	7.7	9.4	10.8	27.9
60—75	3.7	4.3	3.7	11.8	5.9	5.3	9.7	20.9
45—60	3.4	5.0	6.2	14.7	3.9	4.1	8.6	16.6



При тренировке выносливости с повышением напряженности работы (путем увеличения нагрузки и в особенности темпа движений) эффективность тренировки также может снижаться (табл. 3).

Изложенные данные показывают, что при мышечных упражнениях развитие силы, быстроты и выносливости происходило наиболее эффективно в тех случаях, когда в процессе тренировки не создавалось чрезмерных физиологических напряжений при использовании тех или других нагрузок, темпа движений и интервалов между занятиями.

Аналогичные данные о меньшей эффективности значительных воздействий на организм были получены и в отношении вегетативных функций. О. Г. Крюков показал это, тренируя на протяжении одного месяца мышечными упражнениями 2 группы ранее не тренировавшихся лиц к перенесению организмом перегревания. Одна группа тренировалась в более жарких условиях, чем другая. Значительное повышение температуры тела к концу

каждого тренировочного занятия — на  $1.5-2.5^{\circ}$  выше исходной — в специально поставленных контрольных опытах (в особо жарких условиях, с работой до отказа в результате перегревания) несколько меньше улучшалось терморегуляцию, чем повышение температуры тела на тренировках в пределах  $0.75-1.5^{\circ}$ . Это не исключает, что у хорошо подготовленных к перегреванию организма лиц эффективным будет и повышение на тренировках температуры тела больше чем на  $2.0-2.5^{\circ}$ .

При тренировке устойчивости к укачиванию путем быстрых движений головой А. И. Яроцкий выявил, что уменьшение интервалов между упражнениями уменьшает их эффективность. При шестикратных упражнениях (каждое по 10 мин.) они оказались наиболее эффективными при применении 1 раз в день (на протяжении 6 дней) или 1 раз в 2 дня (на протяжении 13 дней), несколько менее эффективными — 2 раза в день (на протяжении 3 дней) и еще менее эффективными 3 раза в день (на протяжении 2 дней).

В последние годы выявлено весьма важное значение повышения стойкости к различным неблагоприятным воздействиям, нарушающим постоянство внутренней среды организма (гомеостазис). При этом показано, что при воздействии каким-либо одним фактором возможно неспецифически повысить резистентность организма не только к этому, но и к целому ряду других факторов (Selye, 1956; Барбашова, 1958, 1959; Лазарев, 1959, и др.).

Физические упражнения также являются фактором, имеющим весьма большое значение для повышения неспецифической устойчивости организма к различным неблагоприятным факторам (стрессорам, по терминологии Селье). При этом увеличивается резистентность к перегреванию, охлаждению, гипоксемии, рентгеновским лучам, инфекциям и другим заболеваниям (Зимкин и Коробков, 1960, и др.).

Таблица 3

Развитие выносливости при различных темпах движения (сгибание среднего пальца с поднятием груза 1 кг) в результате тренировок в течение 12—24 тренировочных дней (по данным Я. А. Эголинского)

Испытуемый	Темп движений при тренировке (в 1 мин.)	Количество тренировочных дней	Во сколько раз увеличилась длительность работы
М . . . . .	60	16	9
Э . . . . .	60	24	20
Н . . . . .	120	12	6
Г . . . . .	120	12	6
С . . . . .	120	16	7
К . . . . .	120	16	8
И . . . . .	Максимальный	13	3.5
Б . . . . .	»	13	4.5
И . . . . .	»	13	3
М . . . . .	»	16	4.5

Положительное действие мышечной тренировки также связано с интенсивностью и длительностью упражнений. Например, при действии значительных доз рентгеновских лучей на животных (рис. 2) предварительная умеренная мышечная тренировка на протяжении  $1\frac{1}{2}$ —2 месяцев повышает устойчивость организма и снижает смертность, в то время как дли-

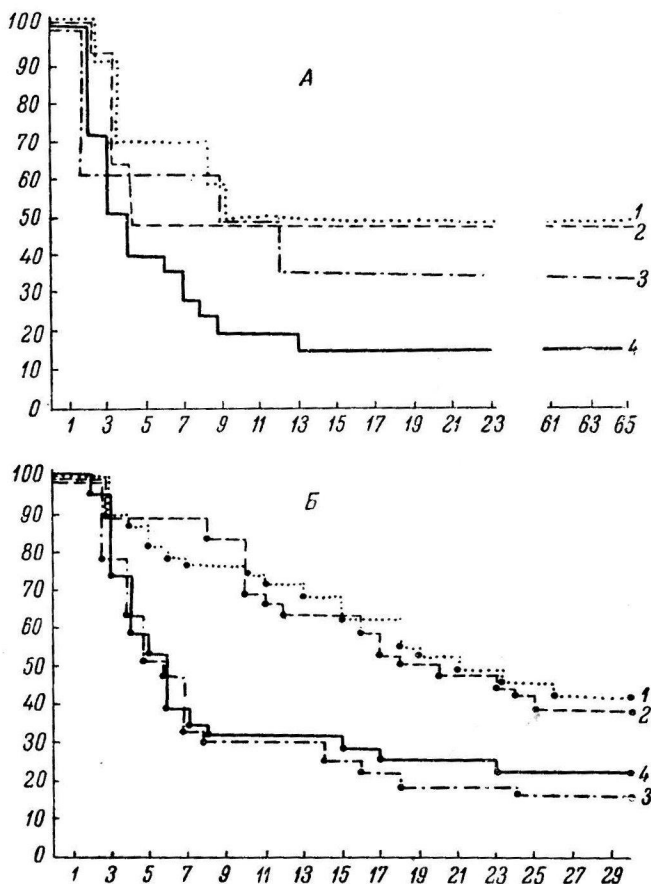


Рис. 2. Выживаемость различно тренированных в мышечной работе [1 — висение на шесте до 40 мин (А); 2 — плавание до 40 мин. (А) и до 1 часа (Б); 3 — плавание до 3.5 час. (А) и до 4.5 час. (Б)] и нетренированных (4) крыс после рентгеновского облучения (1100 р).

А — первая, Б — вторая серия опытов (по данным Ю. Н. Трифонова). По оси абсцисс — дни после облучения; по оси ординат — выживаемость крыс (в %).

тельные тренировки (3.5—4.5 часа ежедневно) давали значительно меньший эффект, а в некоторых случаях оказывали даже отрицательное влияние.

Интересные результаты были получены при параллельном исследовании мышечной работоспособности крыс и неспецифической устойчивости их к действию рентгеновских лучей. Оказалось, что в процессе форсированной тренировки неспецифическая устойчивость, по данным Коробкова, Головачевой, Шкурдоды, начала значительно ухудшаться уже тогда, когда работоспособность, о которой судили по максимальной длительности мышечных напряжений, продолжала еще возрастать. Следовательно,

пороги нарушений для неспецифической устойчивости организма и, вероятно, для некоторых вегетативных функций лежат значительно ниже, чем пороги для мышечной работоспособности при хорошо автоматизированном виде движений.

Подобные примеры имеются и в спортивной практике. Умеренные физические нагрузки увеличивают стойкость организма к различным заболеваниям. В то же время у спортсменов высших категорий, тренирующихся с повышенными мышечными напряжениями, наблюдается снижение устойчивости к неблагоприятным факторам и повышенная заболеваемость, в том числе инфекционными заболеваниями (Дембо, 1958).

Приведенные данные в соответствии с литературными указаниями и спортивной практикой свидетельствуют о том, что при мышечных упражнениях наибольший тренировочный эффект получается при оптимальном диапазоне напряжений в процессе физической тренировки. Чрезмерные мышечные напряжения ухудшают функциональное состояние организма, вследствие чего дальнейшее повышение физической работоспособности замедляется, а в случае перетренировки наблюдается даже снижение качественных и количественных показателей степени совершенства выполнения физических упражнений.

Оптимальный диапазон мышечных напряжений (по нагрузке, темпу, длительности занятий и интервалам между ними) широко варьирует в зависимости от вида физических упражнений, возраста, пола и степени тренированности лиц, занимающихся этими упражнениями. Те напряжения, которые являются для малотренированных лиц чрезмерными, для высокотренированных лиц могут оказаться совершенно недостаточными. Но при увеличении этих напряжений, в особенности в сочетании с сильными эмоциональными воздействиями, даже у самых лучших спортсменов может происходить переход того предела, за которым благоприятное действие мышечной тренировки превращается в свою противоположность. Это подтверждается многочисленными примерами перетренировки у спортсменов всех категорий. При этом целый ряд косвенных показателей состояния тренированности (некоторые вегетативные функции, в частности сон, двигательные функции, не связанные с выполнением спортсменом физических упражнений по своей специальности) ухудшаются раньше, чем начинают снижаться результаты хорошо автоматизированных движений по специальному виду спорта. Вследствие этого при пониженной сопротивляемости к заболеваниям, нарушениях нормального сна, ухудшении показателей ряда лабораторных исследований, например латентного периода и точности двигательных реакций, спортсмен еще может некоторое время показывать высокие результаты. Но если высокие напряжения продолжают длительно время, у него наступает состояние перетренировки.

Физиологический механизм ухудшения эффективности физической тренировки при чрезмерных мышечных напряжениях весьма сложен. В организме создаются своеобразные условия, аналогичные описанному Н. Е. Введенским на нервно-мышечном препарате пессимальному состоянию, когда сильные раздражители оказывают меньший положительный эффект, чем слабые.

Важная роль в понижении эффективности тренировки принадлежит изменению химизма внутренней среды, вследствие чего вторично могут измениться регуляторные функции нервной системы, деятельность желез внутренней секреции и т. д. Это демонстративно показано Ю. И. Василенко (1960) в опытах с влиянием на работоспособность мышцей малых концентраций паров ртути, ДДТ и фосфорорганических ядов. После затравки у мышцей при продолжающейся тренировке замедлялся или даже полностью прекращался дальнейший рост работоспособности.

В результате мышечных напряжений наблюдается также изменение химизма внутренней среды организма (Яковлев, 1955, и др.). Это изменение внутренней среды, благоприятно действующее при оптимальном диапазоне мышечных напряжений, при чрезмерной тренировке (как и при экзогенном введении ядов в опытах Ю. И. Василенко) может замедлить рост тренированности организма и даже снизить его.

Важное значение при этом имеет состояние нервной системы, в частности тех нервных центров, которые осуществляют различные двигательные акты.

Это находит подтверждение в экспериментальных данных. Так, при физической тренировке даже у одного и того же человека, при одном и том же режиме упражнений вследствие различного состояния нервных центров можно получить значительное повышение работоспособности в одних и ограниченное — в других мышечных группах. При этом ход кривой упражняемости для каждой из этих групп оказывается разным (рис. 3).

Для наиболее эффективной тренировки необходимо применение не всяких, а физиологически обоснованных оптимальных мышечных напряжений. Только в этом случае в организме создаются особо благоприятные условия для развития прогрессивных изменений как в отношении лучшего выполнения физических упражнений, так и для укрепления здоровья и повышения стойкости организма к неблагоприятным воздействиям внешней среды.

При оздоровительной физической культуре и при физической подготовке эти условия соблюсти возможно. Напряженность тренировки при этих формах физического воспитания не чрезмерна и способствует сначала развитию, а затем сохранению на высоком уровне необходимых

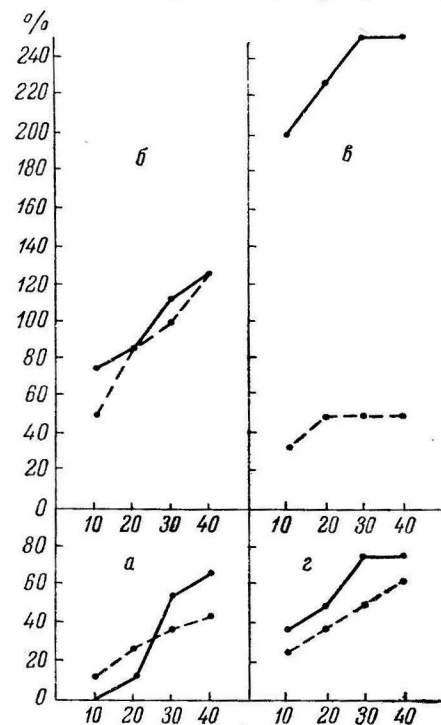


Рис. 3. Прирост силы у испытуемых П. С. (сплошная линия) и Б. М. (прерывистая) в различных мышечных группах после одинаковой тренировки (по данным И. Г. Васильева).

По оси абсцисс — количество тренировочных занятий; по оси ординат — прирост силы (в % к исходной величине).

Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

двигательных навыков и устойчивости организма к различным неблагоприятным воздействиям. Иное может наблюдаться в спорте с применением весьма повышенных мышечных напряжений. Стремясь к высоким достижениям, многие спортсмены тренируются на самом верхнем пределе оптимального диапазона мышечных напряжений и вследствие этого часто выходят за этот предел. При этом у спортсменов сначала наблюдается переход верхней границы оптимального диапазона в отношении: а) неспецифической устойчивости организма к действию различных стрессоров, б) некоторых вегетативных функций (сон, аппетит и т. д.) и в) недостаточно закрепленных и автоматизированных или трудных по координации двигательных навыков. Что же касается постоянно тренируемых движений по специальности спортсменов, то ухудшение результатов обычно возникает позже, лишь при дальнейшем продолжении форсированной тренировки. Поэтому выполнение специализированных двигательных навыков с высокими ре-

зультатами и даже дальнейшее улучшение их может происходить уже на фоне (рис. 4) начинающегося или выраженного снижения устойчивости к неблагоприятным воздействиям внешней среды (Зимкин, 1960) и наличия предпатологии в целом ряде органов и систем органов (Дембо, 1958, 1959). Дальнейшее нарушение оптимального режима приводит уже к снижению и спортивных результатов, т. е. к состоянию, квалифицируемому как перетренировка (рис. 4).

Таким образом, задачи спортивной тренировки в некоторых случаях уже расходятся с теми целями, которые ставятся при применении упражнений с оздоровительной направленностью или при физической подготовке к труду, и устремлены только на достижение при соревнованиях максимальных результатов в выполнении того или иного специального упражнения.

В заключение необходимо указать, что при физиологическом обосновании различных вопросов физической культуры в настоящее время необходимо обратить особое внимание на выявление диапазона физических напряжений, который дает наибольшую эффективность в отношении улучшения двигательных и вегетативных функций организма и повышения его стойкости к различным заболеваниям и к неблагоприятным воздействиям внешней среды. При этом оптимальный диапазон должен устанавливаться не вообще, а применительно к различным группам лиц с учетом возраста, состояния здоровья и тренированности.

У лиц, занимающихся оздоровительной физической культурой и физической подготовкой для повышения мышечной работоспособности в процессе своей специальной работы, оптимальный диапазон мышечных напряжений при тренировках должен обеспечить как улучшение двигательных функций, так и повышение неспецифической устойчивости к неблагоприятным воздействиям. При спортивной тренировке с целью достижения особенно высоких результатов диапазон эмоциональных и необходимых мышечных напряжений в некоторых случаях уже выходит за пределы верхней границы оптимума, обеспечивающего повышение неспецифической устойчивости. В этом случае для спортсменов высших категорий необходимо выявить те специальные условия (питание, фармакологические и физиотерапевтические средства, режим тренировки, труда и отдыха), которые дадут возможность дольше и лучше сохранять состояние высокой устойчивости к действию неблагоприятных факторов, даже при тренировке и соревнованиях с весьма значительными мышечными и эмоциональными напряжениями.

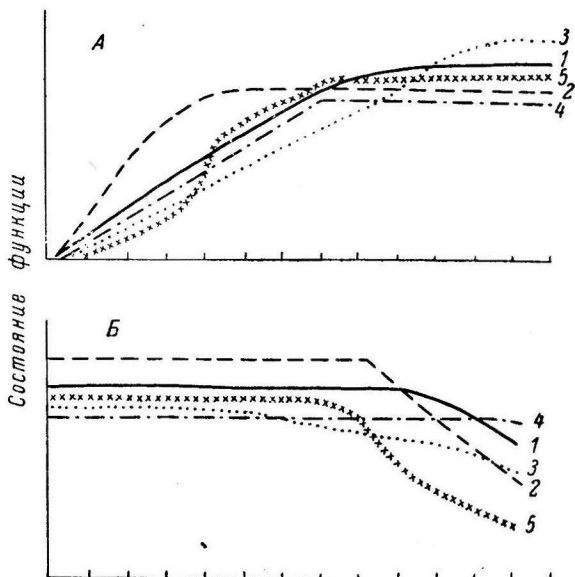


Рис. 4. Схема неодновременного развития различных функций организма и улучшения спортивных достижений при нормальной тренировке (А) и ухудшения их при чрезмерной мышечной тренировке (Б).

1 — спортивные результаты; 2, 3, 4 — разные вегетативные функции; 5 — неспецифическая резистентность. По оси абсцисс — время.

## ВЫВОДЫ

1. При начальной тренировке отдельных мышечных групп человека наибольшая эффективность была получена в тех случаях, когда вес поднимаемого груза и темп движений не были чрезмерными, а интервалы между тренировочными занятиями оказывались достаточно большими.

2. После 1 месяца тренировки людей (ранее специально не подготовленных к работе в условиях перегревания), у которых температура тела повышалась к концу занятий на  $0.75-1.5^{\circ}$ , устойчивость к предельному перегреванию (до отказа от работы) была выше, чем у лиц, заканчивающих упражнения с повышением температуры на  $1.5-2.5^{\circ}$ .

3. Тренировка устойчивости людей к укачиванию путем быстрых движений головой с различными интервалами между занятиями (от 3 раз в день до 1 раза в один или два дня) была более эффективной при более значительных интервалах.

4. Повышение у крыс неспецифической устойчивости к неблагоприятным условиям внешней среды (к рентгеновскому облучению) было при умеренных мышечных нагрузках выражено больше, чем при значительных.

5. Снижение неспецифической устойчивости крыс при значительных мышечных напряжениях наблюдалось на фоне еще продолжавшегося при тренировке повышения мышечной работоспособности.

6. Мышечная тренировка дает высокую эффективность только в пределах некоторого диапазона напряжений, определяемого весом применяемых грузов, темпом движений, длительностью упражнений и продолжительностью интервалов между занятиями.

7. Неспецифическая устойчивость, некоторые вегетативные функции и малотренированные двигательные навыки при форсированной тренировке и больших эмоциональных напряжениях могут ухудшаться раньше, чем начинается снижение спортивных достижений.

8. Повышенная заболеваемость, наблюдаемая у ряда спортсменов высшего класса, возможно, объясняется снижением у них (в результате форсированной тренировки и эмоциональных напряжений) неспецифической устойчивости к неблагоприятным воздействиям внешней среды и ухудшением некоторых вегетативных функций.

## ЛИТЕРАТУРА

- Барбашова З. И. В сб.: Проблемы эволюции физиологических функций, 116, М.—Л., 1958; Физиолог. журн. СССР, 45, 163, 1959.
- Василенко Ю. И. Вопросы физиологии труда, III научн. конфер., Тез. докл., 77, М., 1960.
- Дембо А. Г. В сб.: Клинико-физиологические методы исследования спортсменов, 22, М., 1958; в сб.: Проблемы спортивной медицины, 5, М.—Л., 1959.
- Зимкин Н. В. Физиологическая характеристика силы, быстроты и выносливости. М., 1956.
- Зимкин Н. В., А. В. Коробков, Теория и практика физической культуры, 23, вып. 4, 270; вып. 5, 348, 1960.
- Крестовников А. Н. Очерки по физиологии физических упражнений. М., 1951.
- Лазарев Н. В., Тез. докл. Конфер. по пробл. приспособ. реакции и методов повыш. сопротив. организма, Л., 1958.
- Летунов С. П., Теор. и практ. физ. культ., 12, в. 10, 740, 1949.
- Миссиуро В. В сб.: Спортивная медицина, Тр. XII Межд. конгр., спорт. мед., 208, М., 1959.
- Прокон Л. В сб.: Спортивная медицина, Тр. XII Межд. конгр. спорт. мед., 25, М., 1959.
- Фольборт Г., В. Фролькис, М. Муравов. В сб.: Спортивная медицина, Тр. XII Межд. конгр. спорт. мед., 221, М., 1959.

Яковлев Н. Н. Очерки по биохимии спорта. М., 1955.  
Матеев Д. Вопросы на физическата култура, в. 8—9, 1959.  
Selye H. The stress of life. New York, 1956.

Поступило 16 III 1960

---

## ON THE IMPORTANCE OF THE VALUE OF LOAD, RATE OF MOVEMENTS, DURATION OF EXERCISES AND INTERVALS BETWEEN THEM FOR THE EFFECTIVITY OF MUSCULAR TRAINING

By *N. V. Zimkin*

Leningrad

The influence of load, rate of movements, duration of exercises and intervals between them for the effectivity of muscular training were investigated. In experiments performed on men the maximum effectivity was obtained at the initial period of training separate groups of muscles in cases, when the weight of the lifted load, the rate of work and the duration of exercise were not excessive and the intervals between the exercises long enough. The resistance to overheating and giddiness rose more markedly at a moderate action on the organism of the respective stimuli.

In experiments on rats after preliminary  $1\frac{1}{2}$ —2 months muscular training the resistance to the x-ray irradiation increased more manifestly at a mean duration of swimming exercise ( $\frac{1}{2}$ —1 hr), than at a greater duration ( $3\frac{1}{2}$ — $4\frac{1}{2}$  hrs). At the same time the non-specific resistance to the unfavorable factors such as the x-ray irradiation etc. begins to decrease even when the working capacity of the muscles continues to grow. High susceptibility to diseases in sportsmen training for the severe muscular loads may as it seems be explained by the fact that at a complete soundness of well automatized motor activity and high resistivity to fatigue in performing specific exercises, their non-specific resistance to a number of unfavorable factors, diseases, infections and so on, begins to fail.

---

## СОПОСТАВЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СДВИГОВ В ОРГАНИЗМЕ ЖИВОТНЫХ ПРИ АДАПТАЦИИ К МЫШЕЧНОЙ РАБОТЕ И ПРИ ЛЕКАРСТВЕННОМ ПОВЫШЕНИИ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ

*В. Я. Русин*

Кафедра физиологии Педагогического института, Ярославль

Учение об адаптации организма к различным воздействиям внешней среды за последнее время обогатилось новыми экспериментальными данными. Тем не менее некоторые важные разделы этой проблемы из-за отсутствия фактического материала по-прежнему остаются дискуссионными. Так, в частности, не может считаться решенным вопрос о специфичности процесса адаптации или тренировки.

По мнению М. Е. Маршака (1957) и ряда его последователей, при многократном воздействии какого-либо агента, например холода, постепенно возникают физиологические сдвиги, обуславливающие адаптацию, т. е. повышение устойчивости, но только к данному агенту. Отсюда естественно следует, и авторы упоминают об этом, что хорошее физическое развитие и мышечная тренировка сами по себе не сопровождаются появлением устойчивости к низкой температуре, гипоксии и т. д. Авторы, правда, не отрицают, что при действии различных раздражителей могут получаться некоторые сходные реакции, но подчеркивают, что в должной степени приспособительные явления в организме проявляются только в ответ на ранее действовавший раздражитель.

Согласно данным других исследователей (Барбашова, 1952, 1958; Петров, 1958; Агарков, 1958; Перетц, 1958, и др.), при адаптации к какому-либо одному внешнему раздражителю повышается устойчивость организма не только к нему, но и к раздражителям иной природы. Повышение устойчивости животных к ряду воздействий обнаружено даже при повторном воздействии таких факторов, как некоторые промышленные яды (Люблина и Олюнин, 1958). Попытка внести ясность в понимание вопроса о специфичности процесса адаптации и была одной из основных задач данного исследования.

Вторая задача, стоявшая перед нами, тесно связана с появившимися за последние несколько лет сведениями о том, что устойчивость животных и людей к различным, причем весьма разнообразным факторам внешней среды можно повысить не только посредством тренировки, но и введением ряда фармакологических средств: женьшеня (Брехман, 1958), дибазола (Беленький, 1958; Водохлебова, 1958; Капитаненко, 1958; Карев, 1958, и др.), витамина В<sub>12</sub> (Дашням, 1958; Поспехова, 1958), элеутерококка (Брехман, 1958). Это особое состояние организма, при котором ослаблен эффект действия многих патогенных агентов, Н. В. Лазарев предлагает называть «состоянием неспецифичности повышенной сопротивляемости» (СНПС). Анализ физиологических явлений при СНПС позволяет найти



в нем некоторые общие (но не тождественные) черты с «общим адаптационным синдромом» Селье (ОАС).

Таким образом, следствием двух столь разных воздействий на организм, как введение фармакологических веществ, с одной стороны, и тренировка к различным факторам внешней среды — с другой, является одинаковый результат — повышение устойчивости. Представляло интерес в связи с этим выяснить, в какой степени функциональные сдвиги, возникающие при повышении устойчивости организма с помощью, например, дибазола, сходны с теми, которые развиваются при каком-либо виде тренировки или закаливания.

### МЕТОДИКА

Опыты проводились на 60 белых мышках-самцах со средним весом 18.5—19.2 г. Все животные были разделены на 3 группы по 20 особей в каждой. Мыши 1-й группы — контрольные — получали ежедневно под кожу по 0.2 мл дистиллированной воды. Мышам 2-ой группы вводился тоже подкожно 0.01% -й водный раствор дибазола из расчета 1 мг/кг. Мыши 3-й группы ежедневно подвергались мышечной тренировке. Последняя проводилась по методике, близкой к рекомендованной Н. Н. Яковлевым (1946). Животные плавали в баке, наполненном на  $\frac{3}{4}$  водой, при температуре воды 28—30°. Продолжительность первого плавания составляла 2 мин., в дальнейшем время тренировки увеличивалось каждый день на 2 мин. Тренировка и введение дибазола производились в течение 25 дней.

До начала опытов, а затем в ходе их с интервалом в 6—7 дней определялись: потребление кислорода, температурная реакция в ответ на кратковременное охлаждение всего тела, способность ц. н. с. к суммации подпороговых импульсов до и после введения малых доз алкоголя; исследовалась реакция животных на ускорение и в конце опытов оценивалась их «работоспособность» по длительности плавания до утомления.

Потребление кислорода определялось с помощью прибора, состоящего из стеклянной, герметически закрывающейся и снабженной поглотителем  $\text{CO}_2$  камеры, в которую помещалось подошвное животное, и газометра (стеклянной бюретки), наполненного кислородом и соединенного с сосудом с водой. О величине потребленного кислорода судили по количеству воды, поступившей в газометр вместо поглощенного животным за определенный отрезок времени кислорода.

Температурная реакция на кратковременное охлаждение всего тела определялась следующим образом. Электротермометром с полупроводниковым датчиком измерялась ректальная температура. Затем мышь на 3 мин. помещалась в металлическую коробку, расположенную между двумя резиновыми пузырями со льдом, после чего снова определялась температура в прямой кишке.

Способность к суммации подпороговых импульсов исследовалась в модификации метода, предложенной М. А. Розини (см. Аносов и Розин, 1956). В качестве функциональной нагрузки на ц. н. с. использовалось введение малых доз этилового алкоголя. Определение количества импульсов, вызывавшего рефлекторную реакцию задних конечностей мыши, производилось дважды: до и через 10 мин. после подкожного введения 20%-го раствора алкоголя из расчета 2 мг/г.

Определение реакции животных на ускорение производилось в центрифуге с широкими гнездами, в которые помещались проволочные сетки с мышами (головой к центру вращения). Вращение центрифуги со скоростью около 800 об./мин. продолжалось 20 сек., после чего вращающаяся часть сразу останавливалась и животные из сеток извлекались на пол. Реакция мышей на ускорение оценивалась по времени, которое проходило с момента прекращения движения центрифуги до появления способности к перемещению по прямой линии.

Оценка «работоспособности» животных по длительности плавания является одним из самых удобных интегральных показателей общего состояния организма, поскольку только в условиях, угрожающих жизни, можно заставить животное «работать» до полного утомления. Плавание проводилось через сутки после окончания опытов при температуре воды 38—39°.

Все данные, полученные различными методами исследования, подвергались статистической обработке.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Уже через 6 дней после начала введения дибазола животные 2-й подопытной группы потребляли примерно на 23% кислорода меньше по сравнению с исходным периодом ( $138.8 \pm 4.7$  мл/час на 20 г веса до начала опытов и  $116.0 \pm 5.2$  — на 6-й день). Статистическая обработка по Студенту

и Фишеру показала достоверность разности средних величин. В ходе дальнейших наблюдений потребление  $O_2$  в этой группе то оставалось на уровне 6-го дня, то несколько увеличивалось, но ни разу не поднималось до исходного уровня. В 3-й группе отмечалось аналогичное изменение интенсивности газообмена. Однако здесь оно появилось несколько позже и было выражено в меньшей степени, чем во 2-й группе. Достоверность заметного уменьшения интенсивности газообмена в обеих подопытных группах подтверждается характером изменения его в контроле, где не только не имело места снижение, но примерно с половины срока наблюдения намечалось значительное увеличение потребления кислорода (рис. 1).

Трехминутное охлаждение льдом вызывало снижение ректальной температуры в разной степени у контрольных и подопытных животных. Как видно из табл. 1, во 2-й, «дибазольной», группе в конце опытов разница

Таблица 1

Изменения разницы между ректальной температурой до и после трехминутного охлаждения

(Каждое число — среднее из данных для 10 животных)

День опыта	1-я группа		2-я группа		3-я группа	
	в градусах	в %	в градусах	в %	в градусах	в %
До опыта	5.4 ± 0.51	15.0 ± 1.5	4.5 ± 0.33	11.7 ± 0.3	6.1 ± 0.51	16.9 ± 1.4
7-й	5.3 ± 0.52	14.8 ± 1.5	—	—	—	—
13-й	5.3 ± 0.35	14.8 ± 1.0	4.8 ± 0.35	12.5 ± 0.9	5.0 ± 0.35	13.3 ± 0.9
19-й	4.3 ± 0.41	12.5 ± 1.2	4.2 ± 0.30	11.5 ± 0.8	4.8 ± 0.31	13.0 ± 0.8
26-й	4.3 ± 0.31	13.4 ± 1.0	2.9 ± 0.36	8.2 ± 1.0	3.6 ± 0.23	9.9 ± 0.8

температуры до и после охлаждения упала с 4.5 до 2.9° (разность статистически достоверна). В 3-й группе уменьшение разницы между температурой до и после охлаждения начало проявляться раньше — на 13-й день опытов. На 18-й день разность средних (по отношению к исходной величине) была вероятной, а к концу опытов достоверной. В 1-й группе к концу периода наблюдения диапазон колебания температур также уменьшился: с 5.4 до 4.3° (разность вероятна). Сопоставляя, однако, результаты, полученные в обеих подопытных и в контрольной группе, можно заметить, что средние данные разности температур до и после охлаждения во 2-й и 3-й группах в конце опытов были значительно меньше, чем в контроле (разница между 1-й и 2-й и между 1-й и 3-й группами статистически достоверна).

Таблица 2

Изменения числа подпороговых импульсов у мышей до и после введения этилового спирта в дозе 2 мг/г

(Каждое число — среднее из 30 определений на 10 животных)

День опыта	1-я группа		2-я группа		3-я группа	
	до введения	после введения	до введения	после введения	до введения	после введения
До опыта	10.2 ± 1.5	12.3 ± 1.4	6.4 ± 0.7	13.3 ± 1.9*	9.0 ± 1.3	17.6 ± 2.8*
8-й	17.5 ± 2.4	27.5 ± 2.2*	10.0 ± 1.1	20.9 ± 2.2*	8.0 ± 1.0	15.0 ± 2.3*
14-й	9.6 ± 1.8	14.1 ± 1.9*	4.4 ± 0.5	4.5 ± 0.5*	6.0 ± 1.7	9.2 ± 1.3
20-й	8.4 ± 0.7	14.8 ± 2.5*	7.9 ± 0.7	7.0 ± 0.6	9.3 ± 1.1	8.2 ± 1.2
26-й	8.7 ± 1.0	12.6 ± 1.5*	13.7 ± 1.6	10.2 ± 1.3	15.2 ± 2.0	17.6 ± 2.3

\* Разность средних величин статистически достоверна.

Этиловый алкоголь в дозе 2 мг/г вызывал заметное угнетение безусловнорефлекторной деятельности, о чем можно было судить по увеличению числа подпороговых импульсов, необходимых для получения ответной реакции, через 10 мин. после введения спирта (табл. 2). В исходный период увеличение составляло в среднем от 21 до 108% в разных группах. Через 7 дней после начала опытов подобное соотношение между количеством импульсов до и после введения спирта сохранилось, а в 1-й группе увеличение даже стало более выраженным (на 57%). Через 14 дней во 2-й группе спирт уже не вызывал увеличения числа импульсов, необходимых для ответной реакции, а к концу опытов обнаружилось даже некоторое снижение порога. В 3-й группе через 14 дней еще

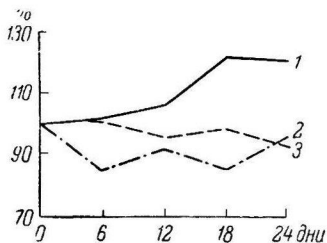


Рис. 1. Изменение потребления кислорода (средние данные в %).

Группы: 1 — контрольная, 2 — получавшая дибазол, 3 — тренировавшаяся.

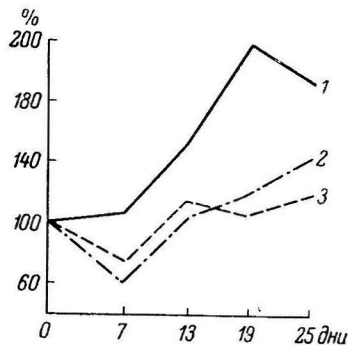


Рис. 2. Изменение времени восстановления прямолинейного движения после вращения в центрифуге (средние данные в %).

Обозначения те же, что и на рис. 1.

имелось некоторое увеличение числа импульсов, но разница между средними величинами до и после введения спирта уже была меньше, чем в начале. В последующие дни здесь, как и во 2-й группе, имело место некоторое снижение порога, а разница между средними колебалась в пределах ошибки. В контрольной группе в конце опытов, как и в начале, введение спирта приводило к значительному возрастанию порога возбудимости.

Введение дибазола, как и мышечная тренировка, через неделю вызывало резкое уменьшение времени восстановления прямолинейного движения у мышей после вращения в центрифуге (рис. 2). В дальнейшем это время возросло, но увеличение во 2-й и 3-й группах было незначительным по сравнению с увеличением в контроле, причину которого трудно объяснить. Разность средних, полученных на 6-й день опытов и в последующие дни, была статистически достоверной.

Заключительным этапом изучения физиологических функций в данной серии было определение «работоспособности» животных посредством плавания. По продолжительности плавания до утомления группы распределились следующим образом: меньше всех плавали контрольные мыши ( $154 \pm 36$  мин.), дольше — тренированные ( $179 \pm 49$  мин.) и еще дольше — мыши 2-й, «дибазольной», группы ( $205 \pm 30$  мин.).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты свидетельствуют прежде всего о том, что в процессе адаптации к мышечной работе появляется повышенная устойчивость (адаптация) и к некоторым другим внешним воздействиям. Так, в частности, по мере тренировки у мышей уменьшалось падение температуры тела после

кратковременного общего охлаждения — явление до некоторой степени аналогичное наблюдаемому В. В. Назаровым при закаливании собак (цит. по: Саркизов-Серазини, 1953). Тренировавшиеся мыши становились довольно быстро устойчивее к алкоголю, к ускорению и, наконец, через 25 дней оказывались «работоспособнее» контрольных. Обращает на себя внимание тот факт, что изменение устойчивости, согласно данным о потреблении кислорода, изменении реакции на ускорение и т. д., происходило волнообразно, что согласуется с предположениями о фазовости процесса адаптации.

Полученные данные не являются, конечно, достаточным основанием для утверждения неспецифичности всякой адаптации, адаптации к любым формам воздействия внешней среды. Возможно, что адаптация, например, к холоду не сопровождается адаптацией к теплу, как об этом пишет М. Е. Маршак, или к мышечной работе. Не исключено также, что конечный результат зависит не столько от характера внешнего воздействия (холод, тепло, мышечная работа), сколько от фазы СНПС или ОАС, которую наблюдает данный исследователь. Что же касается повышения посредством мышечной тренировки устойчивости к холоду, к ускорению, к действию на ц. н. с. спирта, то наши опыты позволяют считать это явление установленным фактом.

Проведенное исследование позволило выявить также определенные закономерности в характере физиологических изменений при введении дибазола. Оказалось, что продолжительное введение дибазола, вещества, повышающего устойчивость животных к некоторым воздействиям (Лазарев, 1959), вызывает сдвиги, аналогичные таковым при адаптации к мышечной работе. Физиологические сдвиги у «дибазольных» и тренированных мышей совпадают примерно и по времени появления и по выраженности. По некоторым критериям, например, по длительности плавания, по уменьшению потребления кислорода, по времени восстановления способности к прямолинейному движению после ускорения, приспособительные сдвиги у «дибазольных» мышей были даже более выражены, чем у тренированных. До какой степени простирается своеобразная «физиологическая аналогия» между адаптационной реакцией при тренировке и при приеме дибазола, с какими другими видами адаптации может оказаться сходным состояние, вызванное введением дибазола, каковы перспективы практического использования дибазола, например, в спорте, в медицине — все эти вопросы, возникающие в связи с полученными результатами, должны явиться предметом дальнейших исследований.

#### ВЫВОДЫ

1. Ежедневная мышечная тренировка посредством плавания повышает устойчивость белых мышей не только к мышечной работе, но и к охлаждению, к введению алкоголя, к большому ускорению. Таким образом, адаптация к одному из видов воздействия окружающей среды — мышечной работе — сопровождается адаптацией не только к данному фактору, но и к некоторым другим.

2. Физиологические сдвиги, возникшие в процессе тренировки и свидетельствующие об адаптации тренированных мышей к ряду других воздействий внешней среды, оказались весьма сходными как по характеру, так и по интенсивности с теми, которые появились у другой группы животных под влиянием дибазола.

#### ЛИТЕРАТУРА

Агарков Ф. Т., Тез. докл. Конфер. по проблеме приспособительных реакций и методам повышения сопротивляемости организма к неблагоприятным воздействиям, Л., 1958.

- А п о с о в Н. Н. и М. А. Р о з и н. Прозерин, эзерин, дибазол и их применение в невропатологии. Л., 1956.
- Б а р б а ш о в а З. И. В сб.: Кислородная терапия и кислородная недостаточность. Киев, 1952; Тез. докл. Конфер. по проблеме приспособительных реакций и методам повышения сопротивляемости организма к неблагоприятным воздействиям, Л., 1958.
- Б е л е н ь к и й Е. Е., Тез. докл. Конфер. по проблеме приспособительных реакций и методам повышения сопротивляемости организма к неблагоприятным воздействиям, Л., 1958.
- Б р е х м а н И. И., Тез. докл. Конфер. по проблеме приспособительных реакций и методам повышения сопротивляемости организма к неблагоприятным воздействиям, Л., 1958.
- В о д о х л е б о в а Е. Г., Тез. докл. Конфер. по проблеме приспособительных реакций и методам повышения сопротивляемости организма к неблагоприятным воздействиям, Л., 1958.
- Д а ш н я м П., Фармаколог. и токсиколог., 21, 4, 46, 1958.
- К а п и т а н е н к о А. М., Тез. докл. Конфер. по проблеме приспособительных реакций и методам повышения сопротивляемости организма к неблагоприятным воздействиям, Л., 1958.
- К а р е в И. С., Тез. докл. Конфер. по проблеме приспособительных реакций организма и методам повышения сопротивляемости организма к неблагоприятным воздействиям, Л., 1958.
- Л а з а р е в Н. В., Патолог. физиолог. и exper. терапия, 4, 16, 1959.
- Л ю б л и н а Е. И. и И. В. О л ю н и н, Тез. докл. Конфер. по проблеме приспособительных реакций организма и методам повышения сопротивляемости организма к неблагоприятным воздействиям, Л., 1958.
- М а р ш а к М. Е. Физиологические основы закаливания организма человека. Медгиз, 1957.
- П е р е т ц Л. Г., Тез. докл. Конфер. по проблеме приспособительных реакций и методам повышения сопротивляемости организма к неблагоприятным воздействиям, Л., 1958.
- П е т р о в И. Р., Тез. докл. Конфер. по проблеме приспособительных реакций и методам повышения сопротивляемости организма к неблагоприятным воздействиям, Л., 1958.
- П о с п е х о в а Г. П., Тез. докл. Конфер. по проблеме приспособительных реакций и методам повышения сопротивляемости организма к неблагоприятным воздействиям, Л., 1958.
- С а р к и з о в - С е р а з и н и И. М. Основы закаливания. Изд. «Физк. и спорт», 1953.
- Я к о в л е в Н. Н., Бюлл. exper. биолог. и мед., 22, 3, 21, 1946.

Поступило 3 XII 1959

## COMPARISON OF CERTAIN PHYSIOLOGICAL SHIFTS IN THE ANIMAL ORGANISM, WHEN TRAINED FOR MUSCULAR WORK, WITH THOSE RESULTING FROM TREATMENT WITH DRUGS

By V. I. Russin

From the Chair of Physiology, Pedagogical Institute, Jaroslav

In experiments on white mice the physiological phenomena of adaptation were compared in animals trained during 25 days by swimming with those in mice treated during the same period with dibazol. Soon after the training started trained animals proved to become more resistant against the cooling of the body and introduction of the ethyl alcohol; after the mice had been rotated in the centrifuge their capacity for rectilinear movement was sooner restored. Trained animals proved also to be more resistant to the muscular load (swimming to exhaustion). The physiological shifts arisen in the pro-

cess of training show that adaptation is not limited by the muscular work, but involves a number of other factors of the surrounding medium (low temperature, acceleration etc.); moreover, these phenomena are much alike in their character and intensity to those developed in the other group of animals under the action of dibazol. The investigation suggests that: 1) adaptation to one of the factors of the surrounding medium (muscular work) is accompanied by adaptation to a number of other acting factors, 2) adaptation to muscular work bears obvious features of likeness with the state of increased resistance of the organism following treatment with dibazol.

---

## МЕТОДИКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОГО ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОГО И БИОМЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАБОТЫ МЫШЦ

*Е. Г. Котельникова и Ю. З. Захарьянц*

Кафедра физиологии Института физической культуры им. П. Ф. Лесгафта, Ленинград

Обычно при исследовании участия тех или иных скелетных мышц в движении тела или отдельных его звеньев применяют электрофизиологическую методику. При этом, как правило, ограничиваются регистрацией биопотенциалов мышц, не производя точного учета самого движения. Это обстоятельство в значительной мере обедняет электромиографические данные, так как физиологический смысл ЭМГ может быть понят лишь при наложении их на канву движения. С другой стороны, биомеханический анализ движения, существенной задачей которого является оценка действия активных мышечных сил, нуждается в привлечении данных электромиографии. Только электромиография может дать достаточно точные и объективные сведения о месте и времени включения в работу мышц и дать характеристику степени их активности. Таким образом, для оценки участия тех или иных мышц в движении тела или отдельных его звеньев необходимо сочетание электромиографической и биомеханической методик. Однако нам известно лишь несколько исследований, где такая попытка была сделана. Так, П. И. Шпильберг (1936), исследуя влияние утомления и изменения темпа на характер движений и токов действия мышц предплечья при работе среднего пальца кисти на эргографе Моссо, применила синхронную запись ЭМГ и кимоциклограмму движения пальца. Синхронизацию двух записей она обеспечивала посредством двух лампочек накаливания, зажавшихся одновременно при съемке, одна из которых оставляла след на ЭМГ, вторая — на кимоциклограмме. Е. Г. Котельникова, Ю. З. Захарьянц (1958), исследуя педалирование велосипедистов на стайке, произвели синхронную запись циклограммы ног велосипедистов и ЭМГ мышц ног велосипедиста. Синхронизация двух записей в этом исследовании обеспечивалась электроотметчиком, который соединял тросик фотоаппарата с осциллографом и в момент открывания объектива фотоаппарата оставлял след — скобку на электромиограмме. Я. А. Славуцкий (1955) исследовал электрическую активность мышц ноги человека при нормальной ходьбе с одновременной регистрацией фаз движения записью на той же пленке педограммы путем замыкания электрической цепи опорной ноги испытуемого, идущего по металлической поверхности (контакты на башмаке). Л. В. Чхаидзе (1959) в нашей лаборатории при исследовании особенностей техники спортивного велосипедного педалирования записал электрическую активность мышц ноги с одновременной записью на ту же пленку кривой усилий тензометрическим датчиком. В. Д. Моногаров (1958), исследуя электрическую активность некоторых мышц человека при поднимании им штанги, записал частоту движений на кимографе посредством специально сконструированного прибора. А. С. Степанов (1958) применил киносъемку движений штангиста синхронно с записью ЭМГ.

Мы, исследуя работу двигательного аппарата человека во время выполнения различных физических упражнений, использовали метод одновременного применения электромиографической и биомеханической методик, который может представлять интерес для физиологов труда и спорта. Эти исследования производились следующим образом. Биопотенциалы мышц регистрировались обычным способом на осциллографе МПО-2. Отведение было bipolarным. Металлические накладные электроды с проводящей прокладкой прикреплялись на коже над исследуемыми мышцами по длинику мышечных волокон. Диаметр электродов 5 мм; расстояние между ними 2 см. Киносъемка движения производилась со скоростью 24 кадра в 1 сек. На проекции центров суставов руки и ноги испытуемого накладывались кусочки лишнего пластыря с черной точкой в центре. В плоскости движения устанавливалась метрическая масштаб-

ная рейка. Фон затягивался черной штормой. В поле кадра устанавливался электросекундомер для последующей синхронизации данных электромиографии и киносъемки. С помощью специального приспособления пуск электросекундомера производился одновременно с пуском фотоплетки осциллографа. Таким образом, начало движения стрелки секундомера, заснятое на киноплентку, соответствовало началу записи ЭМГ.

При помощи фотоувеличителя с заснятой киноплентки в нужном масштабе производилась покадровая зарисовка испытуемого и траекторий суставов, т. е. вычерчи-

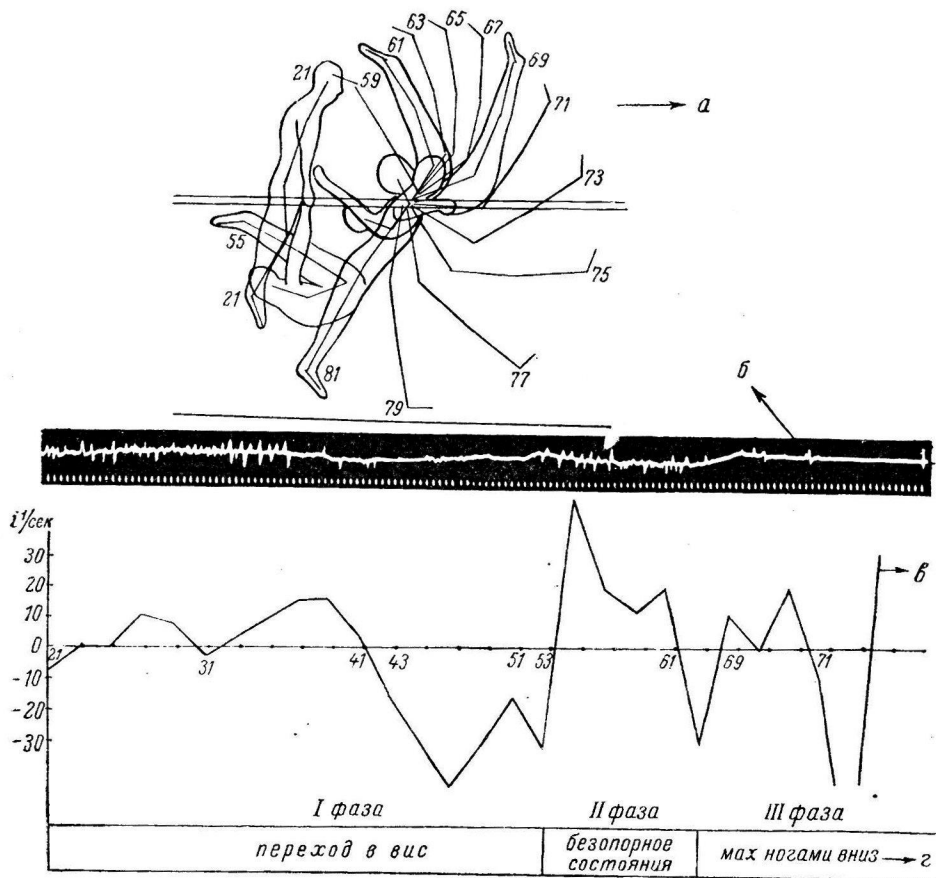


Рис. 1. Комплексный график.

*a* — промер упражнения на брусьях, цифры — номера кадров киносъемки; *б* — ЭМГ прямой мышцы живота; *в* — кривая ускорения ног относительно туловища; *г* — хронограмма упражнения. Для *в*: цифры по горизонтальной оси — номера кадров.

вался промер движения (рис. 1, *a*). За ориентир принимался неподвижный предмет в плоскости движения (например, жердь брусев).

Для расшифровки физиологического значения ЭМГ вычислялось угловое ускорение движимого звена по методике, принятой в механике, как вторая разность угла поворота тела, деленная на квадрат времени. Время определялось по скорости киносъемки. Полученная кривая ускорений характеризует усилия, прилагаемые к данному звену, так как ускорение возникает под действием сил (по первому закону динамики). Большое значение имеет правильное совмещение кривых ускорений и ЭМГ. Это достигается путем совмещения временных показателей. На ЭМГ имеется отметка времени каждые 0.02 сек. На кривой ускорений отмечается временное расстояние между кадрами, равное 0.041 сек. На один кадр приходится примерно две отметки времени. Полезно также совмещение ЭМГ с хронограммой движения — диаграмма фаз движения, выраженных во времени (рис. 1 и 2).

По совмещенным данным легко проанализировать содержание ЭМГ: а) определить, какие мышцы принимают участие в данном движении; б) достаточно точно отметить момент включения мышцы в работу и выхода из нее; в) выяснить характер работы мышцы (преодолевающая, уступающая или статическая работа); г) оценить степень участия мышцы в движении (по амплитудам и частотам биопотенциалов).



В качестве примера такого комплексного исследования приводим данные из анализа гимнастического упражнения на брусьях (рис. 1).

Кривая ускорения ног (*в*) помогает расшифровке электрической активности прямой мышцы живота (*б*). Первый период активности этой мышцы наблюдается во время ускоренного сгибания ног до вертикального положения при движении всего тела назад — вниз (кадры 21—43). По мере уменьшения момента силы тяжести ног активность мышцы снижается. Второй период активности прямой мышцы живота зарегистрирован в безопорной фазе движения, когда движение ног замедляется (кадры 53—65). Это замедление обусловлено тормозным действием мышц живота, выполняющих уступающую работу, так как ноги разгибаются по инерции вследствие энергичного рывка, выполненного мышцами общего разгибателя спины. Частота и амплитуда потенциалов действия прямой мышцы живота значительно меньше, чем в первой фазе движения.

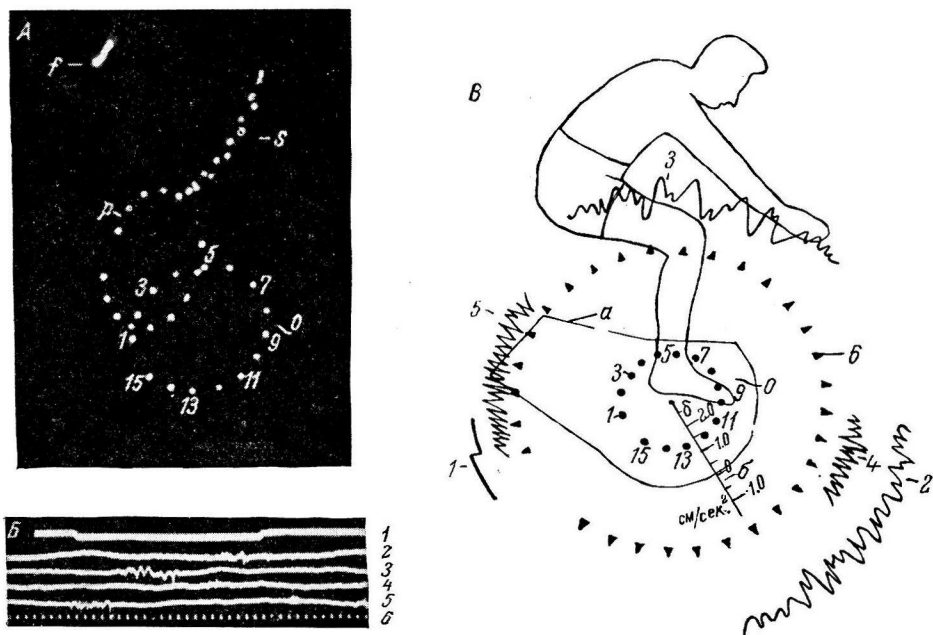


Рис. 2. Циклограмма ЭМГ и комплексный график.

*А* — циклограмма движения ноги велосипедиста при одном обороте шатуна велосипеда: *f* — траектория тазобедренного сустава; *s* — траектория коленного сустава; *p* — траектория голеностопного сустава; *o* — траектория оси педали (цифры — номера точек).

*Б* — электромиограмма: 1 — отметка начала циклограммы; 2 — ЭМГ камбаловидной мышцы; 3 — ЭМГ наружной головки четырехглавой мышцы бедра; 4 — ЭМГ наружной головки двуглавой мышцы бедра; 5 — ЭМГ передней большеберцовой мышцы; 6 — отметка времени (0.02 сек.).

*В* — комплексный график: *O* — траектория оси педали; *a* — кривая ускорения педали; *б* — шкала размерности ускорений; 1 — отметка начала съемки циклограммы; 2 — ЭМГ камбаловидной мышцы; 3 — ЭМГ наружной головки четырехглавой мышцы бедра; 4 — ЭМГ длинной головки двуглавой мышцы бедра; 5 — ЭМГ передней большеберцовой мышцы; 6 — отметка времени (0.02 сек.).

При исследовании менее сложных упражнений циклического характера, например педалирования, мы производили циклографическую съемку движений (рис. 2, *А*) одновременно с регистрацией ЭМГ (рис. 2, *Б*). Синхронизация этих двух записей обеспечивалась специальным электроотметчиком, включенным в цепь. По циклограмме вычислялись линейные ускорения. Кривые ускорений совмещались с циклограммой и с ЭМГ в общем комплексном графике, изображенном на рис. 2, *В*. В центре этого рисунка помещена циклограмма движения оси педали (*O*). Из центра этого круга проведена шкала размерности ускорения (*б*) в произвольном направлении и произвольном масштабе. Согласно шкале размерности нанесена радиальная кривая ускорений педали (*a*), вычисленных по циклограмме как вторая разность пути по квадрату времени (методика вычислений подробно изложена в руководстве Т. С. Поповой и З. В. Могиланской, 1934). Несимметричность кривой свидетельствует о преобладании силы левой ноги, так как фаза нажима на педаль всегда активнее фазы тяги педали.

Электромиографические записи совмещались с кривой ускорения следующим образом. Из центра циклограммы раствором циркуля вычерчивалась окружность,

длина которой в сантиметрах равна числу временных отметок на ЭМГ за данный пикт движения (кривая *b* на рис. 2, *B*). Миограммы с осциллографической пленки посредством фотоувеличителя перерисовывались на график согласно отметкам времени. Начало цикла движения педали на расшифрованной циклограмме обозначено первым номером точки и включением электроотметчика (1 на рис. 2, *B*).

Характерными для ЭМГ являются кратковременность периода активности и большая длительность периода молчания. Это указывает на то, что у тренированного велосипедиста каждая мышца в цикле работает кратковременно. Периоды активности перемежаются более длительными периодами отдыха.

Полученный нами опыт показал, что для более полного анализа физиологического содержания ЭМГ необходима одновременная регистрация производимого мышцами движения и биомеханическое его исследование. С другой стороны, при биомеханическом анализе для выяснения участия той или иной мышцы в осуществлении движения полезно использовать электромиографическую методику.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Жуков Е. К., Е. Г. Котельникова, Ю. З. Захарьянц, Научн. конфер. по итогам раб. за 1959 г. ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта, Тез. докл. на секц. заседаниях кафедр физиолог., спорт. мед., гигиены, 3, Л., 1959.
- Котельникова Е. Г. и Ю. З. Захарьянц, Научн. конфер. по итогам раб. за 1958 г. ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта, Тез. докл. кафедр. гимнаст., гигиены, физиолог., анатомии, в. 4, 16, Л., 1958.
- Моногаров В. Д., Пробл. физиолог. спорта, в. 1, 78, М., 1958.
- Попова Т. С. и З. В. Могиланская, Техника изучения движений. М., 1934.
- Славуцкий Я. А., IV Научн. сессия ЦНИИП, 25, М., 1955.
- Степанов А. С., Уч. зап. ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта, в 3, 329, 1958.
- Чхаидзе Л. В., Теор. и практ. физ. культ., 22, № 4, 278, 1959.
- Шпильберг П. И., Арх. биолог. наук, 42, в. 1-2, 223, 1936.

Поступило 16 II 1960

## TECHNIQUE OF A COMPLEX ELECTROMIOGRAPHIC AND BIOCHEMICAL ANALYSIS OF THE MUSCLE WORK

By *E. G. Kotelnikova* and *J. Z. Zaharianz*

From the Chair of physiology of the Lesgaft Institute of Physical Culture, Leningrad

## ПРИБОР ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧИ СИГНАЛОВ ПО ПРОГРАММЕ

*И. Н. Сальченко*

Кафедра физиологии Института физической культуры им. П. Ф. Лесгафта, Ленинград

Использование в физиологических исследованиях автоматических приспособлений, с помощью которых опыт может проходить по определенной программе, не только облегчает экспериментатору проведение опыта, но и позволяет учесть и зарегистрировать с большей точностью условия его проведения.

В основу конструкций автоматических датчиков раздражений, описанных Н. М. Папышевым (1957) и В. В. Сучковым (1957), положены синхронный двигатель и приводимые им в движение скользящие контакты. Недостатком приборов, в которых двигатель применяется как механизм, задающий ритм подаваемых сигналов, является, во-первых, то, что при быстро следующих друг за другом сигналах может быть нарушено должное согласование очередности подаваемых сигналов и ответных реакций. Во-вторых, ритм подаваемых сигналов постоянен, изменение его и регулировка затруднены.

Нами была разработана более совершенная схема и изготовлен прибор для автоматической подачи сигналов. Экспериментатору необходимо подать лишь первый сигнал программы. Все последующие сигналы появляются в связи с реакциями исследуемого. Реагируя на наличный сигнал, исследуемый включает последующий сигнал программы. Прибор комбинируется с однопроцессным электромиографом, позволяющим записывать неискаженную электрическую активность мышц без экранировки исследуемого.

В основу прибора положен принцип задержки электрического импульса, широко применяемый в радиотехнике. Электронное реле времени собрано на двойном триоде 6Н9С. Левая часть лампы  $L_1$  (см. рис. 1) используется как однополупериодный выпрямитель. При закрытии контакта  $K^1P_1$  часть анодного тока правой части лампы  $L_1$  заряжает конденсатор  $C_3$  через переменное сопротивление  $R_4$ . При этом создается отрицательное напряжение смещения на сетке лампы, которое замедляет рост анодного тока. Когда конденсатор  $C_3$  зарядится до величины падения напряжения на катодном

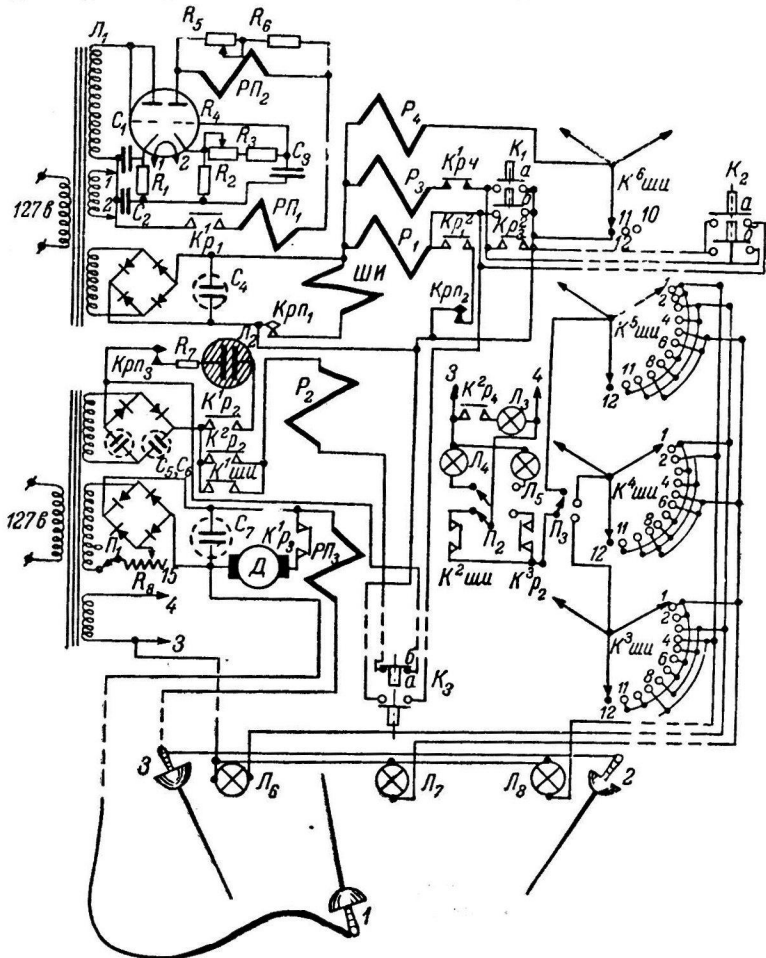


Рис. 1. Принципиальная схема прибора.

$R_1$  — 120 ком;  $R_2$  — 30 ком;  $R_3$  — 150 ком;  $R_4$  — 500 ком;  $R_5$  — 220 ком;  
 $R_6$  — 15 ком;  $R_7$  — 22 ком;  $R_8$  — 22 ком;  $C_1$  — 1 мф;  $C_2$  — 1 мф;  $C_3$  — 1 мф;  $C_4$  — 100 мф;  
 $C_5$  — 20 мф;  $C_6$  — 20 мф;  $C_7$  — 200 мф.

Остальные объяснения в тексте.

сопротивлению  $R_2$ , заряд конденсатора прекращается, отрицательное напряжение смещения на сетке лампы уменьшается до нуля и лампа полностью отпирается. Анодный ток достигает уровня тока срабатывания реле  $PP_1$  и продолжает расти до уровня срабатывания реле  $PP_2$ . Переменным сопротивлением  $R_4$  устанавливается необходимая задержка срабатывания реле  $PP_1$  по отношению к закрытию контакта  $K^1P_1$ . Переменное сопротивление  $R_5$  изменяет время срабатывания реле  $PP_2$ . Нажатием на кнопку  $K_1$  экспериментатор начинает опыт. Контакты  $б$  кнопки  $K_1$  замыкают цепь реле  $P_1$ . Закрывающийся контакт  $K^1P_1$  включает электронное реле времени, а с помощью закрывающегося контакта  $K^2P_1$  осуществляется блокировка контактов  $б$  кнопки  $K_1$ . Теперь ток в цепи реле  $P_1$  пойдет через нормально закрытый контакт  $K^1P_2$  и закрывшийся блокировочный контакт  $K^2P_1$ . Контактными  $а$  кнопки  $K_1$  замыкается цепь реле  $P_3$ , которое контактом  $K^1P_3$  замыкает цепь двигателя  $Д$  лентопротяжного механизма осциллографа, а второй его контакт  $K^2P_3$  блокирует контакты  $а$  кнопки  $K_1$ . Спустя опре-

деленное время после закрытия контакта  $K^1p_1$  срабатывает реле  $PP_1$  и контактом  $KPP_1$  замыкает цепь шагового искателя  $ШИ$ , используемого для коммутации и программирования сигналов. При срабатывании шагового искателя происходят следующие операции: через закрывающийся релейный контакт  $K^2ши$  и вращающиеся круговые контакты  $K^3ши, K^4ши, K^5ши$  и переключатели  $П_2$  и  $П_3$  осуществляется коммутация и подача сигнала — загорается одна из лампочек  $L_6, L_7, L_8$ . Через закрывающийся релейный контакт шагового искателя  $K^1ши$  и через нормально закрытые контакты  $b$  кнопки  $K_3$  замыкается цепь реле  $P_2$ . Контакт  $K^1p_2$  реле  $P_2$  замыкает через нормально закрытый контакт  $KPP_3$  цепь неоновой лампочки  $L_2$ . Момент вспыхивания неоновой лампочки регистрируется на осциллограмме и свидетельствует о появлении сигнала. Контакт  $K^2p_2$  блокирует контакт  $K^1ши$ , отчего реле  $P_2$  остается в рабочем состоянии. Закрывается контакт  $K^3p_2$ , назначение которого будет объяснено ниже.

Теперь несколько вернемся назад и посмотрим, что происходит, когда анодный ток правой половины лампы  $L_1$  достигает уровня тока срабатывания реле  $PP_2$ . Открывается ранее закрытый контакт  $KPP_2$  реле  $PP_2$ . Разрывается блокирующий контакты  $b$  кнопки  $K_1$  цепь реле  $P_1$ . Реле  $P_1$  отпускается. Открывается контакт  $K^1p_1$ , разрывающий цепь электронного реле. Отпускаются реле  $PP_1$  и  $PP_2$ . Контакт  $KPP_1$  открывается, разрывая цепь шагового искателя  $ШИ$ . Шаговой искатель отпускается. Откры-

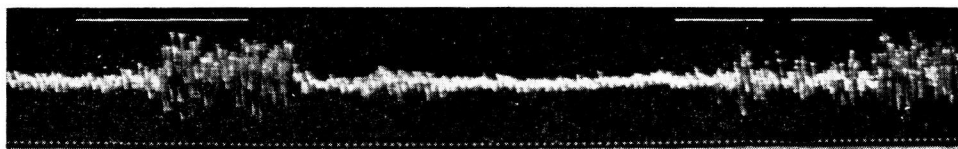


Рис. 2. ЭМГ при выполнении укола в мишень (левая часть кривой), при выполнении защиты (правая часть кривой) и уколе в мишень.

Сверху вниз: отметка сигнала; ЭМГ дельтовидной мышцы; отметка времени (0.02 сек.). Начало отметки сигнала соответствует моменту появления сигнала, конец — уколу в мишень. Касание рапиры при выполнении защиты вызывает разрыв в отметке сигнала.

ваются его релейные контакты. Контакт  $K^2ши$ , открываясь, разрывает цепь сигнальной лампочки  $L_6, L_7$  или  $L_8$ , и она гаснет. Когда переключатель  $П_2$  находится в левом положении, в котором он изображен на схеме, продолжительность горения сигнальной лампочки зависит от времени, которое отделяет момент срабатывания реле  $PP_1$  от момента срабатывания реле  $PP_2$ . Переменными сопротивлениями  $P_4$  и  $P_5$  можно изменять продолжительность горения сигнальной лампочки в диапазоне от 0.05 до 0.5 сек. Если переключатель  $П_2$  находится в положении, противоположном тому, которое показано на схеме, то ток на сигнальную лампочку пойдет через контакт  $K^3p_2$ , который закрыт до тех пор, пока реле  $P_2$  находится в рабочем состоянии. Лампочка погаснет при реализации двигательной реакции.

Двигательная реакция подопытного, выражающаяся в нажатии на кнопку  $K^3$ , приводит к одновременному замыканию контактов  $a$  и размыканию контактов  $b$ . Реле  $P_2$  отпускается. Контакт  $K^3p_2$  разрывается цепь сигнальной лампочки ( $L_6, L_7$  или  $L_8$ ), а при раскрытии контакта  $K^1p_2$  гаснет неоновая лампочка  $L_2$ , что отмечается на пленке и свидетельствует о завершении реакции. Замыкание контактов  $a$  кнопки  $K_3$  приводит к следующему: замыкается цепь реле  $P_1$ , закрываются контакты  $K^1p_1$  и  $K^2p_1$ ; затем через определенное время срабатывает реле  $PP_1$ , которое контактом  $KPP_1$  замыкает цепь шагового искателя, т. е. происходит все то, что и при нажатии экспериментатором кнопки  $K_1$  или кнопки  $K_2$ , предназначенной для дистанционного пуска прибора.

Таким образом, двигательная реакция исследуемого на первый сигнал программы, поданный экспериментатором, автоматически вызывает появление второго сигнала программы, реакция на который вызовет появление третьего сигнала и т. д.

После реагирования на последний сигнал программы круговые контакты шагового искателя занимают положение 12, при котором контакт  $K^6ши$  замыкает цепь реле  $P_4$ . Реле  $P_4$  срабатывает. Контакт  $K^1p_4$  открывается и разрывает цепь реле  $P_3$ . Реле  $P_3$  отпускается. Открывается контакт  $K^1p_3$ , который разрывает цепь электрического двигателя, и автоматически прекращается транспортировка пленки в осциллографе. Этим заканчивается опыт.

Прибор имеет три программы, в каждой из которых три различных сигнала (лампочки  $L_6, L_7, L_8$ ) чередуются 11 раз. Время между сигналами различно. Оно складывается из переменных величин: времени скрытого периода реакции; времени, ушедшего на реализацию движения, и из времени от окончания реагирования до появления следующего сигнала. Это время регулируется сопротивлением  $R_4$  в диапазоне от 0.1 до 1 сек.

В приборе использованы следующие типы реле:  $РП_1$ ,  $РП_2$ ,  $РП_3$  — поляризованные реле  $РП-7$ ; реле  $Р_1$  и  $Р_3$  —  $РСМ-1$ ; реле  $Р_4$  —  $РСМ-2$ ; реле  $Р_2$  —  $РС-13$ ; шаговый искатель —  $ШИ-11$ .

Описанный прибор применялся нами для исследования двигательных реакций спортсменов-фехтовальщиков и в связи с этим имеет некоторые конструктивные особенности, позволяющие использовать его для исследования фехтовальных движений. Условия опыта и программ таковы, что если загорается лампочка  $L_7$ , то исследуемый должен нанести прямой укол рапирой в мишень, отчего происходит нажатие кнопки  $K_3$ ; если загораются лампочки  $L_6$  или  $L_8$ , то исследуемый должен рапирой  $I$  коснуться рапиры  $3$  или  $2$  — взять определенную защиту, а затем также нанести укол. Касание рапирой  $I$  рапиры  $2$  или  $3$  замыкает цепь реле  $РП_3$ . Когда срабатывает реле  $РП_3$ , открывается контакт  $Kp_3$ . При этом разрывается цепь неоновой лампочки  $L_2$ , и она гаснет на то время, пока рапиры касаются друг друга. Комбинация описанного прибора с электромиографией позволяет создать большее представление о характере ответных двигательных реакций. На рис. 2 представлена осциллограмма, на которой зарегистрирована электрическая активность дельтовидной мышцы при выполнении укола и при выполнении определенной защиты и укола.

Разработанная схема прибора может быть положена в основу при конструировании программных автоматов, предназначенных для многих различных конкретных условий физиологического эксперимента.

#### ЛИТЕРАТУРА

Папышев Н. М., Бюлл. exper. биол. и мед., 43, 3, 118, 1957.

Сучков В. В., Физиолог. журн. СССР, 43, № 10, 1000, 1957.

Поступило 16 II 1960

#### AN AUTOMATIC DEVICE SIGNALLING ACCORDING TO A PROGRAMM

By I. N. Salchenko

From the Lesgart Institute of Physical Culture, Leningrad

#### К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНУТНОГО ОБЪЕМА КРОВИ ПРИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И КЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

И. И. Лихницкая, Е. В. Микиртумова, К. Н. Сазонов и В. А. Герасин

Клинико-экспертный отдел Института экспертизы трудоспособности и организации труда инвалидов и Кафедра госпитальной хирургии 1-го Медицинского института им. И. П. Павлова, Ленинград

Разработка точного и практически доступного метода определения минутного объема выбрасываемой сердцем крови представляет собой одну из актуальнейших проблем физиологии человека. Предложенные для этой цели методы, основанные на принципе Фика (Fick, 1870), и наиболее распространенный из них метод Гроллямана (Grollmann, 1935), удовлетворяя требованиям необходимой в таких исследованиях точности, являются настолько трудоемкими, что использование их в условиях функциональных нагрузок и, в частности, в исследованиях по физиологии спорта практически невозможно. Физические методы исследования минутного объема, представляющиеся в этом смысле более перспективными (Broemser u. Rauke, 1930; Wezler u. Böger, 1937), и в том числе наиболее совершенный из них метод определения с помощью механокардиографии по Н. Н. Савицкому (1956, 1959) включают в себе необходимость определения таких параметров, как диаметр аорты, скорость распространения пульсовой волны по сосудам различного типа, длительность полной инволюции сердца и каждой фазы сердечного цикла отдельно и т. д. Все эти определения, несомненно повышающие точность получаемых результатов, одновременно являются источником значительного усложнения исследования.

В 1954 г. американский кардиолог И. Старр (Starr, 1954), развивая работы Лилиестранда и Цандера (Liljestrand и Zander, 1928), опубликовал формулу, позволяющую определять минутный объем, исходя из величины кровяного давления и возраста. Этому предшествовали многочисленные исследования минутного объема методом перфузии сосудистой системы трупа человека дефибрированной кровью и

проверка формулы путем сопоставления с другими общеизвестными методами определения минутного объема. Окончательный вариант формулы Старра таков:

$$CO = 100 + 0.5 \text{ ПД} - 0.6 \text{ ДД} - 0.6 \text{ В},$$

$$MO = CO \times \text{ЧП},$$

где CO — систолический объем сердца (в мл), ПД — пульсовое давление (в мм рт. ст.), ДД — диастолическое давление (в мм рт. ст.), В — возраст (в годах), MO — минутный объем сердца (в мл), ЧП — частота пульса в 1 мин.

Таблица 1

Сопоставление методов определения минутного объема по Фикку и по Старру в условиях катетеризации сердца

Вес (в кг)	Рост (в см)	Поверхность тела (в м <sup>2</sup> )	Пол	Возраст (в годах)	Метод Фикка		Артериальное давление (в мм рт. ст.)	Метод Старра		Данные по Старру (в % к данным по Фикку)
					минутный объем (в мл)	Артериальное		систолический объем (в мл)	минутный объем (в мл)	
54	152	1.49	Ж	19	6712		120/75	66.1	7403	110.3
61	162	1.65	Ж	20	3565		90/70	44.2	3738	104.8
75	180	1.94	М	26	4180		130/80	56.5	4069	97.3
56.5	155	1.552	М	27	3309		90/75	46.3	3704	111.9
75	178	1.93	М	27	6332		110/70	56.2	6070	95.8
61.7	168	1.705	М	31	2084		120/80	48.0	2163	103.8
56	177	1.696	М	32	3448		100/70	57.7	3580	103.8
62	158	1.63	Ж	35	4021		100/75	40.4	4037	100.3
84	167	1.931	М	45	5015		135/80	52.5	4935	98.4
82	179.5	2.01	М	59	4193		130/70	46.6	4515	107.7

Среднее расхождение (г %) . . . . . +3.1

Таблица 2

Минутный объем сердца по методу Грольмана и по методу Старра у здоровых лиц разных возрастов

Ф. и. о.	Возраст (в годах)	Метод Грольмана				Метод Старра			Данные по Старру (в % к данным по Грольману)
		потребление кислорода (в мл)	артерио-венозная разница (в мл)	минутный объем (в л)	артериальное давление (в мм рт. ст.)	систолический объем (в мл)	минутный объем (в л)		
М. Е. В. . . . .	18	280	50.4	5.56	120/70	72.2	5.20	93.5	
К. В. И. . . . .	20	359	99.1	3.62	110/72	63.8	3.97	109.6	
В. Н. Н. . . . .	21	186	50.6	3.68	100/65	65.9	4.35	118.2	
П. Н. Н. . . . .	22	369	63.1	5.85	120/60	80.8	6.63	113.3	
Д. В. А. . . . .	22	250	77.0	3.25	105/75	56.8	3.64	112.0	
М. Г. Г. . . . .	22	306	75.8	4.04	110/60	75.8	4.32	106.9	
А. Г. С. . . . .	22	217	59.0	3.67	115/75	61.8	4.08	111.2	
Д. Ю. А. . . . .	23	256	79.7	3.24	105/65	67.2	3.75	115.7	
С. К. Н. . . . .	28	269	80.0	3.36	110/70	61.2	3.86	114.9	
К. И. В. . . . .	28	256	80.0	3.19	110/70	61.2	3.43	107.5	
Ш. Д. М. . . . .	39	359	70.0	3.18	110/80	43.6	2.96	93.1	
О. А. И. . . . .	43	96	20.9	4.59	105/65	55.2	3.75	81.7	
К. И. В. . . . .	44	192	72.0	2.67	105/75	43.6	3.01	112.7	
Л. П. П. . . . .	46	249	58.3	4.27	115/75	55.4	3.99	93.4	
Л. И. И. . . . .	52	310.0	104.0	2.98	105/70	44.3	2.97	99.7	

Среднее расхождение (в %) . . . . . +3

Определение кровяного давления производится по методу Короткова.

Формула Старра благодаря доступности определения используемых в расчетах показателей представляет исключительные преимущества при необходимости производить исследование минутного объема сердца в короткие интервалы времени после физического усилия, при понижении барометрического давления и т. д. Однако сведения о проверке пригодности формулы для таких исследований в отечественной литературе отсутствуют.

В данной работе, предпринятой по предложению М. И. Хвиливицкой, произведена проверка пригодности формулы для физиологических и клинических исследований путем одновременного определения минутного объема по одному из общеизвестных способов и по методу Старра у здоровых лиц.

Ниже приводятся результаты сопоставления определения минутного объема по формуле Старра с определениями минутного объема по принципу Фика в условиях катетеризации сердца. Как следует из табл. 1, получен весьма малый средний процент расхождения между данными по формуле и данными, полученными по принципу Фика. Максимальное расхождение данных лежит в пределах ошибки самого метода определения по Фикю.

В табл. 2 приводятся результаты сопоставления данных, полученных по формуле Старра и по ацетиленовому методу Гроллямана. Как следует из табл. 2, и здесь средний процент отклонения ничтожен и крайние отклонения для группы лиц в возрасте от 18 до 52 лет не превышают пределов ошибки самого метода Гроллямана.

Оба сопоставления свидетельствуют, что у здоровых лиц в возрасте от 8 до 55 лет при условии нормальных упруго-вязких свойств сосудистых стенок и в диапазоне колебаний величины минутного объема от 2.0 до 6.5 л данные, полученные по формуле Старра и по методу Фика и Гроллямана, удовлетворительно совпадают между собой. Вопрос о сопоставлении данных, получаемых по формуле Старра с данными, получаемыми с помощью методов Фика и Гроллямана у лиц с измененными упруго-вязкими свойствами сосудистой стенки, подлежит специальному исследованию.

В заключение приводим данные, полученные у группы здоровых молодых людей, у которых определение минутного объема крови и сердечного индекса (минутный объем, отнесенный к  $1 \text{ м}^2$  поверхности тела) производилось в условиях основного обмена с использованием формулы Старра.

Как следует из приведенных данных, средняя величина сердечного индекса, полученная у таких лиц, соответствует литературным данным, а величина стандартного отклонения, полученная в результате статистической обработки материала, свидетельствует о достоверности полученных данных.

На основании приведенных исследований, мы считаем возможным прийти к выводу, что расчет систолического и минутного объема сердца по формуле Старра представляет собой простой и доступный метод определения важнейшей гемодинамической величины и должен поэтому получить широкое применение в работах по физиологии человека и, в частности, по физиологии спорта, так как он исключительно удобен для исследования в коротких интервалах времени после функциональных воздействий.

Сердечный индекс (в л)

2.85

3.56

2.84

3.55

2.57

2.81

3.18

2.47

3.37

3.01

2.38

2.27

1.54

2.44

2.01

1.82

1.88

2.18

2.73

2.12

$M = 2.58$

$\sigma = \pm 0.54$

#### ЛИТЕРАТУРА

- Савицкий Н. Н. Некоторые методы исследования и функциональной оценки системы кровообращения. Медгиз, 1956.
- Савицкий Н. Н. и К. А. Морозов. В сб.: Физиологические методы в клинической практике, 22. Медгиз, 1959.
- Broemser P. u. O Ra u k e, Zs. Biol., 89, 126, 1930.
- G r o l l m a n n A. Schlagvolumen und Zeitvolumen des gesunden und Kranken Menschen. Dresden, 1935.
- Lilsestrand G. a. E. Z a n d e r, Zs. ges. exper. Med., 59, 105, 1928.
- S t a r r L., Circulatio, 9, 5, 648, 1954.
- W e z l e r K. u. A. B ö g e r, Naunin-Schmieberg's Arch., 184, 482, 1937.

## CONTRIBUTION TO THE PROBLEM OF DETERMINING THE MINUTE VOLUME OF BLOOD IN PHYSIOLOGICAL AND CLINICAL STUDIES.

By I. I. Lychnitzkaia, E. N. Mikirtumova, K. N. Sazonov and V. A. Geracin

From the clinico-experimental Department, Institute of the Work Capacity Expertise and the Invalid Labour Organization, and the Chair of Hospital Surgery of the Pavlov Medical Institute, Leningrad

## К МЕТОДИКЕ ИЗМЕРЕНИЯ КРОВЯНОГО ДАВЛЕНИЯ У КРЫС

У Си-жуй

Отдел фармакологии Института экспериментальной медицины, Ленинград

Уровень кровяного давления является одним из главных показателей функции сердечно-сосудистой системы. В физиологических и фармакологических лабораториях часто возникает потребность в изучении регуляции артериального давления у мелких животных. Для этого имеется ряд методов исследования на разных видах животных.

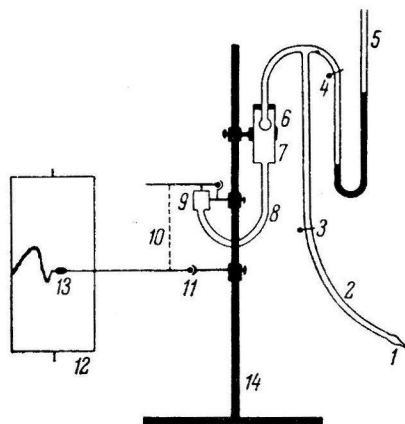


Рис. 1. Установка для измерения и регистрации кровяного давления у крыс.

1 — канюля; 2 — малорастяжимая резиновая или полиэтиленовая трубка, заполненная физиологическим раствором; 3 и 4 — зажимы; 5 — трубка, заполненная ртутью; 6 — шарик из тонкой резины; 7 и 8 — цилиндр и трубка, заполненные водой; 9 — капсула Мареев диаметром 1 см; 10 — нитка; 11 — рычажок Энгельмана; 12 — кимограф; 13 — бумажный кончик; 14 — штатив.

В случаях необходимости проведения большого количества опытов или из-за других причин, например из-за недостаточного количества изучаемого вещества, исследователям приходится работать на мелких животных, при этом, чем проще методика тем лучше. В настоящей работе представлена методика измерения кровяного давления у крыс. Она проста, удобна и доступна для любой лаборатории.

Измерение кровяного давления проводится в острых опытах у крыс весом свыше 250 г под амиталовым наркозом (90 мг/кг при внутривенном введении). Тонкую канюлю можно ввести в общую сонную артерию (*a. carotis communis*) или в бедренную артерию (*a. femoralis*). Кровяное давление записывается при помощи простого прибора, который состоит из трубок, капсулы Мареев и рычажка Энгельмана (рис. 1).

Перед опытом систему трубок 2 и 5 хорошо промывают и заполняют физиологическим раствором и ртутью. Затем поднимают трубку 5 так, чтобы в трубке 2 создавалось давление примерно в 100 мм рт. ст. Систему закрывают зажимами 3 и 4. После



вставления канюли в артерию заполняют ее физиологическим раствором. Для предохранения крови от свертывания в канюлю вводят каплю раствора гепарина. Соединяют канюлю с трубкой 2 и открывают зажимы 3 и 4. Фиксируют трубку 2. Кровяное

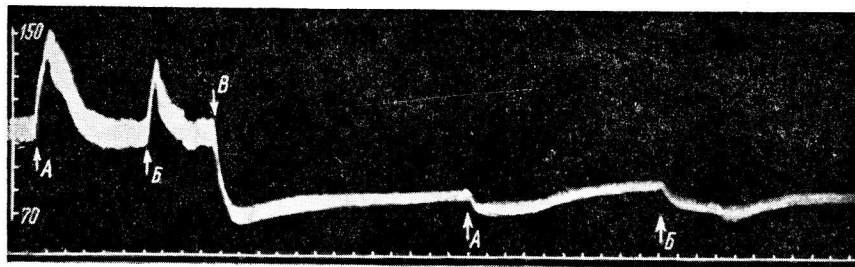


Рис. 2. Влияние аминазина на прессорный эффект адреналина (запись кровяного давления крысы).

А — внутривенное введение адреналина 5 мкг/кг; Б — внутривенное введение адреналина 3 мкг/кг; В — внутривенное введение аминазина 5 мг/кг. Сверху вниз: кровяное давление; отметка времени (0,5 м.г.).

давление передается жидкостью к капсуле Маррея и записывается на ленте кимографа. Трубка 5, заполненная ртутью, служит для визуального наблюдения уровня кровяного давления и для калибровки его.

Резиновый шарик отделяет физиологический раствор, находящийся в трубке 2, от воды в цилиндре 7, что облегчает промывание системы после каждого опыта.

На рис. 2 показана прессорная и депрессорная реакция, записанная с помощью этого метода.

Поступило 3 III 1960

## CONTRIBUTION TO THE TECHNIQUE OF BLOOD PRESSURE MEASUREMENTS IN RATS

*U Si-Djui*

From the Department of pharmacology, Institute of Experimental Medicine, Leningrad

## ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ

### РОЛЬ А. Н. КРЕСТОВНИКОВА В РАЗВИТИИ ФИЗИОЛОГИИ СПОРТА

К 75-летию со дня рождения

*Е. К. Жуков и Э. Б. Коссовская*

Ленинград

Развитие физиологии спорта в нашей стране тесно связано с именем заслуженного деятеля науки, члена-корр. Академии медицинских наук, профессора Алексея Николаевича Крестовникова. После Великой Октябрьской революции, когда физическая культура как неотъемлемая часть коммунистического воспитания трудящихся становится массовой, возникает актуальная задача ее всестороннего научного обоснования. А. Н. Крестовников, бывший в это время сотрудником Леона Абгаровича Орбели по кафедре физиологии Государственного института физического образования имени П. Ф. Лесгафта, а с 1927 г. заведующим этой кафедрой, с присущими ему целеустремленностью, кипучей энергией и страстностью ученого и спортсмена отдает себя целиком новому делу.

Первый этап исканий в области физиологии спорта Алексей Николаевич посвящает широкому исследованию физиологических изменений в организме спортсмена, наступающих при тех или иных спортивных напряжениях. Для этого он организует физиологические исследования участников различных спортивных соревнований. Эти наблюдения сочетаются с врачом-контрольными. Изучаются в это время главным образом вегетативные функции организма — реакции сердечно-сосудистой, дыхательной, выделительной систем, морфологические и биохимические сдвиги крови. В этом периоде накапливается большой фактический материал, который проверяется и углубляется в условиях лабораторного эксперимента и приводит к выяснению характера и диапазона функциональных изменений в организме при различных спортивных напряжениях. Уже тогда, на раннем этапе изучения вопросов физиологии спорта, были получены данные, расширившие существовавшие до этого представления о пределах физиологических функций. Величины сдвигов различных вегетативных функций, наблюдавшихся после выполнения напряженных физических упражнений, нередко превышали так называемые критические пределы. Однако сопоставление различных показателей и течение процесса восстановления давало основание считать эти сдвиги физиологическими.

За этапом широкого наблюдения над спортсменами в условиях соревнований последовало изучение процесса тренировки в различных видах спорта. Исследование шло главным образом по линии выяснения энергетических затрат организма. Был собран большой и ценный материал, давший сравнительную энергетическую характеристику различных физических упражнений. Помимо решения ряда практически важных вопросов о преимущественной эффективности с точки зрения энергетических затрат того или иного спортивного стиля, того или иного варианта передвижения в марше и тому подобных вопросов, по ходу исследования были получены факты, имевшие и важное теоретическое значение. Была обнаружена зависимость газообмена от условнорефлекторных влияний. Эти наблюдения соответствовали данным Р. П. Ольянской<sup>1</sup> и свидетельствовали о кортикальной регуляции данной функции. Позднее при исследованиях максимальных мышечных напряжений, связанных с поднятием штанги, четко выявился интересный момент адаптации организма, выразившийся в снижении потребления кислорода при повторных упражнениях, несмотря на увеличение груза. Были также получены данные о неустойчивости основного обмена спортсмена в период тренировки и о зависимости этих колебаний от условнорефлекторных влияний. Была установлена тенденция к повышению основного обмена с ростом тренированности.

<sup>1</sup> Р. П. О л ь я н с к а я, Физиолог. журн. СССР, 15, № 3, 314, 1932.

Исследования, организованные А. Н. Крестовниковым, охватывали разнообразные виды спортивной деятельности — легкую атлетику, гимнастику, лыжи, фехтование, бокс, борьбу, поднятие тяжестей, альпинизм и ряд других. Организация исследований при высокогорных восхождениях особенно трудна. Но Алексей Николаевич, сам увлеченный альпинист, возглавил как спортсмен и как научный руководитель ряд экспедиций на Эльбрус и на Памир. Вместе с сотрудниками своей кафедры и Института экспериментальной медицины он собрал обширный и ценный материал по вопросам акклиматизации и выполнения физических нагрузок спортивного характера в условиях высокогорного климата.

Н. В. Зимкин, характеризуя первый этап развития физиологии спорта, пишет: «Прежде всего необходимо указать на весьма интенсивную научную работу в Институте физической культуры имени П. Ф. Лесгафта, где большой коллектив физиологов, возглавляемый А. Н. Крестовниковым, накопил ценнейшие данные по физиологии всех основных видов физических упражнений».<sup>1</sup>

В 1938 г. А. Н. Крестовников издает первый учебник по физиологии для институтов физической культуры,<sup>2</sup> а в 1939 г. — первую монографию по физиологии спорта. В этой книге, ставшей настольной для работников в области теории и практики физической культуры и спорта, подытожен и систематизирован большой материал собственных исследований, данные других авторов как отечественных, так и зарубежных и в первые дана физиологическая характеристика различных видов спорта.

Общие вопросы физиологии спорта в монографии 1939 г. занимают относительно немного места. Но уже в этой книге имеются высказывания Алексея Николаевича по основным теоретическим вопросам физиологии спорта, которыми он занимался в течение ряда лет и которым посвятил ряд разносторонних исследований. На стр. 7 монографии он пишет: «Двигательный навык с физиологической точки зрения представляет собой сложный цепной условный проприоцептивный двигательный рефлекс, или двигательный стереотип». И далее — на стр. 12—13: «Кора больших полушарий обладает высокой пластичностью. В ней мо.ут возникать . . . функциональные центры . . . создается определенная системность (стереотип) в деятельности центральной нервной системы, ведущая к проявлению строго определенной структуры движения, его ритма и темпа. Определенному движению соответствует определенная система или стереотип в коре больших полушарий, обуславливающий большую точность, ритмичность, идентичность движений, составляющих циклические акты (ходьба, бег, вело, плавание и т. д.)».<sup>3</sup>

В этот период Алексей Николаевич считает, что по закономерностям динамического стереотипа формируются двигательные навыки лишь в циклических видах деятельности. В дальнейшем он это положение развивает и для ациклических движений. Так например в 1944 г., в статье под названием «Физиологические основы тренировки», на стр. 31 он пишет: «Примерами выработки такой системности (стереотипа движений), помимо циклических движений, могут служить целые комбинации гимнастических упражнений как типа вольных, так и на снарядах, где длительная систематическая работа приводит к тому, что движение, раз начавшись, развивается в строгой последовательности. . .».<sup>4</sup>

Особого внимания заслуживает то обстоятельство, что уже в монографии 1939 г. А. Н. Крестовников не только намечает контуры условнорефлекторной концепции об основных физиологических механизмах формирования двигательных навыков, но только использует важнейшую для понимания этого процесса закономерность корковой динамической стереотипии, но обращается и к учению А. А. Ухтомского об усвоении ритма и о доминанте. На стр. 13 говорится: «Упражнения, сложные по своей координационной структуре, требуют определенной степени согласованности между собой и подчинения общему ритму возбуждений, возникающих в высших центрах сенсорно-двигательного аппарата. В основе этих явлений лежит процесс усвоения ритма возбуждений (Ухтомский)».<sup>5</sup> Далее имеются указания и на значение формирования доминанты в процессе овладения движением.

Исходя из условнорефлекторной концепции формирования двигательных навыков, Алексей Николаевич указывает на необходимость создания условий, благоприятствующих этому процессу. В качестве таких условий, имеющих большое практическое значение, он выдвигает: 1) состояние оптимальной возбудимости нервной системы; 2) оптимальный тонус мускулатуры, осуществляющей движение и 3) чере-

<sup>1</sup> Н. В. Зимкин, Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова, 43, 1038, 1957.

<sup>2</sup> А. Н. Крестовников. Физиология человека. Изд. ФиС, М., 1938.

<sup>3</sup> А. Н. Крестовников. Физиология спорта. Изд. ФиС, М.—Л., 1939.

<sup>4</sup> А. Н. Крестовников, Уч. зап. ГДОИФК им. Лесгафта, в. 2, 1944.

<sup>5</sup> А. Н. Крестовников. Физиология спорта. Изд. ФиС, М.—Л., 1939.

дование работы различных мышечных групп. Раскрывая каждое из этих условий, Алексей Николаевич показывает соответственно физиологическое значение общей и специальной разминки, значение тонических рефлексов позы и явлений индукции в центрах различных мышечных групп. Все эти указания экспериментально обоснованы специальными исследованиями А. Н. Крестовникова и сотрудников. Они получили живой отклик в спортивной практике. Неудачным было лишь возведение этих условий в принципы тренировки. Впоследствии Алексей Николаевич отказывается от неудачных терминов, продолжая придерживаться сущности этих важных положений.

В своей первой монографии Алексей Николаевич указывал на положительное значение постепенно возрастающих нагрузок (и на известном этапе — максимальных нагрузок) для благоприятного развития двигательных качеств. Предложенная им концепция, основанная на материалистическом учении Сеченова—Павлова, давала возможность плодотворного анализа накопившихся к тому времени физиологического материала и данных педагогических наблюдений, открывала широкие перспективы дальнейшего научного исследования и намечала пути правильной, научно обоснованной организации системы физического воспитания.

Дальнейшие экспериментальные исследования привели Алексея Николаевича к развитию и уточнению представлений о кортикальных механизмах формирования сложных двигательных навыков. С этих же позиций рассматривают двигательный навык М. А. Алексеев,<sup>1</sup> М. И. Виноградов<sup>2</sup> Н. В. Зимкин.<sup>3</sup>

Для экспериментального изучения проблемы о физиологических механизмах формирования двигательных навыков А. Н. Крестовников разverteвает исследования в различных направлениях. Одним из таких направлений является разностороннее исследование роли ряда анализаторов в осуществлении движений. Этот вопрос изучается с применением различных экспериментальных приемов.

В одной серии исследований выясняется степень нарушения координации движений при выполнении различных упражнений в условиях временного выключения функций тех или иных рецепторов. Так было изучено значение периферического зрения при выполнении гимнастических и спортивных упражнений, было выяснено большое значение проприоцепторов мышц и сухожилий шеи, благодаря функциям которых соответствующее положение головы обеспечивает благоприятное для выполнения движения распределение мышечного тонуса, и т. п.

В другой серии выясняются изменения, которые наступают под влиянием спортивной деятельности в функциональном состоянии некоторых анализаторов. Оказалось, что у хорошо тренированных спортсменов можно обнаружить большее совершенство некоторых функций анализаторов. При этом была установлена специфичность влияния различных видов спортивной деятельности. Так, например, большее совершенство некоторых функций зрительного анализатора было обнаружено у мастеров спортивных игр, развитие функциональной устойчивости вестибулярного анализатора — у спортсменов, в деятельности которых к этой системе предъявляются высокие требования, как например у конькобежцев, пловцов. Было также показано совершенствование функций двигательного анализатора под влиянием спортивной тренировки. Данные этой серии устанавливали тренируемость функций анализаторов в процессе спортивной деятельности.

В третьей серии проводилось исследование динамики возбудимости некоторых анализаторов при выполнении тех или иных физических упражнений.

Эти исследования позволили в известной мере проникнуть в область межцентральных отношений, раскрыть функциональную мозаику коры больших полушарий при различной мышечной деятельности. Оказалось, что динамика возбудимости того или иного анализатора зависит от характера и степени участия его в функциональном комплексе, осуществляющем данное движение. Полученные в этих исследованиях данные указывали на сложнейшее взаимодействие ряда анализаторов в процессе осуществления двигательной деятельности. Они демонстрировали ту «суммарную деятельность коры», которая, по выражению И. П. Павлова, обуславливает так называемую произвольность движений.

Следует указать также на ряд работ по исследованию динамики возбудимости главным образом зрительного анализатора при воображаемом выполнении физических упражнений. Эти эксперименты имели большое значение для обоснования условно-рефлекторной природы спортивных двигательных навыков и для выяснения характера взаимодействия первой и второй сигнальных систем при осуществлении движений.

Наряду с исследованием анализаторов специальная серия работ была посвящена нервно-мышечному аппарату. Хронасиметрические исследования, организованные А. Н. Крестовниковым, позволили вскрыть ряд закономерных изменений в функциональном состоянии нерво-мышечного аппарата спортсмена под влиянием спортивной

<sup>1</sup> М. А. Алексеев, Теор. и практ. физ. культ., 13, № 12, 896, 1950.

<sup>2</sup> М. И. Виноградов, Физиология трудовых процессов, 321, Изд. ЛГУ, 1958.

<sup>3</sup> Н. В. Зимкин, Физические основы физической подготовки и спорта, 37, Изд. КВФК им. В. И. Ленина, Л., 1951; Физиолог. журн. СССР, 43, № 11, 1037, 1957.

тренировки. Было установлено, что моторная хронаксия у хорошо тренированных спортсменов, особенно у тренирующихся в скоростных упражнениях, оказывается пониженной по сравнению с известными литературными данными. Этот факт был подтвержден и в динамике данных, полученных при исследованиях спортсменов на протяжении их тренировочного периода.

Было обнаружено, что в процессе тренировки происходит сближение величин хронаксии мышц, участвующих в выполнении одного и того же звена движения. Оказалось также, что с ростом тренированности становятся менее выраженными после-работочные сдвиги хронаксии мышц и ускоряется восстановление исходного функционального состояния нервно-мышечного аппарата. Эти данные трактовались в свете учения Н. Е. Введенского и А. А. Ухтомского об основных закономерностях нервных процессов. Можно было заключить, что спортивная тренировка, особенно в тех случаях, когда она связана со скоростными упражнениями, приводит к повышению функциональной подвижности (лабильности) нервно-мышечного аппарата. Это явление отражается на уровне лабильности мышц в состоянии покоя; устанавливается новый функциональный уровень покоя, от которого легче и быстрее может совершиться переход к оптимальному для данного вида деятельности уровню функциональной подвижности и ритму работы.

Явление сближения уровней моторной хронаксии различных мышц косвенно свидетельствовало о перестройке межцентральных отношений под влиянием соответствующих условий функционирования. Это явление рассматривалось как результат усвоения нервными центрами близких ритмов активности. Хронаксиметрические исследования явились, таким образом, хотя и косвенным, но экспериментальным подтверждением ранних указаний Алексея Николаевича о значении явлений усвоения ритма в процессе формирования двигательного навыка.

Итогом второго этапа экспериментальных исследований А. Н. Крестовникова и руководимого им коллектива сотрудников явилась, помимо ряда статей, монография, вышедшая в 1951 г. под названием «Очерки по физиологии физических упражнений». <sup>1</sup> В ней отражены, само собой разумеется, и работы других авторов и лабораторий, число которых к тому времени значительно возросло. В этой книге уже не одна, как это было в монографии 1939 г., а пять глав посвящены вопросам общей физиологии физических упражнений. В ней рассматривается вопрос о роли различных анализаторов и различных отделов ц. н. с. в двигательных актах, развиты и уточнены представления о физиологических механизмах формирования двигательных навыков и расширения функциональных возможностей спортсмена, значительно увеличены разделы по вопросам показателей тренированности, утомления, дан физиологический анализ ряда других важных вопросов физиологии спорта (стартового состояния, разминки, мертвой точки, активного отдыха и т. п.). «Очерки по физиологии физических упражнений» широко использованы не только в Советском Союзе, но и за рубежом. Эта книга переведена на немецкий, чешский, болгарский, румынский и китайский языки, переведена она также и на грузинский язык.

После издания монографии работа по основным проблемам физиологии спорта продолжалась. Хронаксиметрические исследования привели к дальнейшему развитию и конкретизации представлений о механизмах образования двигательных навыков. Стало ясным, что совершенствование системы корковых процессов, лежащей в основе движения, уточнение пространственных и временных соотношений между возбуждением и торможением неразрывно связано с изменением частотной и силовой характеристик этих процессов. И если в высказываниях 1939 г. по вопросу о физиологических основах двигательных навыков закономерности И. П. Павлова и А. А. Ухтомского приводятся как параллельные категории, то на данном этапе они становятся органически связанными между собой. В статье, опубликованной в 1952 г. в «Физиологическом журнале СССР», <sup>2</sup> указывается на то, что установление близких уровней лабильности в различных звеньях коркового комплекса, согласование ритмов их работы представляют собой характерные черты условнорефлекторной деятельности, они и обеспечивают ее слаженность. Более того, высказывается мысль о том, что явления сонатриавания представляют собой конкретное содержание временных нервных связей, взаимного влияния, оказываемого нервными центрами друг на друга.

Эта серия исследований привела А. Н. Крестовникова и коллектив, работающий под его руководством, к определенным представлениям и о физиологических механизмах развития двигательных качеств спортсмена. Представлялось вполне вероятным, что в основе и этого процесса лежит совершенствование системной деятельности коры, то концентрирование нервных процессов, развитие и уточнение характера возбуждения и торможения, которое имеет большое значение при совершенствовании двигательных навыков (о единстве процессов формирования навыков и развития двига-

<sup>1</sup> А. Н. Крестовников. Очерки по физиологии физических упражнений. Изд. ФиС, М., 1951.

<sup>2</sup> А. Н. Крестовников и Э. Б. Коссовская, Физиолог. журн. СССР, 38, № 4, 413, 1952.

тельных качеств Алексей Николаевич указывал неоднократно в своих более ранних работах). Кора головного мозга, само собой разумеется, не отрывается в указанном представлении от процессов, протекающих в периферических органах. Этот сложный процесс идет при теснейшем центрально-периферическом взаимодействии. Изменения корковой нейродинамики, происходящие под влиянием периферических влияний и в процессе межцентральных отношений, приводят в свою очередь к функциональным, биохимическим и морфологическим изменениям в периферических органах.

В связи с этими вопросами Алексей Николаевич с 1951 г. развертывает новую серию разносторонних экспериментальных исследований. Прежде всего изыскиваются методы изучения протекания корковых нервных процессов. При помощи электролитического хронографа, позволяющего регистрировать время элементарной двигательной реакции на условные раздражители, Алексею Николаевичу с сотрудниками удается путем сочетания положительных и отрицательных раздражителей выяснить некоторые черты корковой нейродинамики спортсмена, в первую очередь — подвижность его нервных процессов. Исследования эти приводят к подтверждению положения о том, что для развития качества быстроты особое значение имеет подвижность нервных процессов; эта черта корковой нейродинамики развивается в особой степени у тренирующихся в скоростных упражнениях. Эти исследования дают представление и об уравновешенности нервных процессов и вскрывают особенности протекания возбуждения и торможения в зависимости от спортивной специализации и степени тренированности.

Далее А. Н. Крестовников организует электромиографические исследования спортсменов разной квалификации и степени тренированности при выполнении различных спортивных упражнений. Этот метод исследования дает возможность собрать весьма интересный материал, характеризующий иннервационный процесс и его особенности у тренированных спортсменов высокой квалификации. У последних, в отличие от малотренированных или нетренированных испытуемых, обнаруживается весьма четкий рисунок иннервации различных мышц при выполнении движения. У них наблюдается высокая концентрация потенциалов действия, а при выполнении скоростных упражнений — быстрее возникновение электрической активности мышц и такая же резкая смена ее фазами электрического покоя. Эти данные, полученные на спортсменах при выполнении спортивных упражнений, согласуются с некоторыми фактами, наблюдавшимися ранее при других условиях другими авторами.<sup>1</sup> Указанные выше факты, так же как и хронографические данные, подтверждают положение о повышении подвижности нервных процессов, особенно у тренирующихся в скоростных упражнениях, о пространственном и временном концентрировании их, т. е. о совершенствовании корковой нейродинамики, сопровождающемся соответствующими изменениями в функциональном состоянии и деятельности нервно-мышечного аппарата.

Наряду с указанными исследованиями Алексей Николаевич с сотрудниками использует в последние годы также метод тонометрии мышц для характеристики изменений функционального состояния и функциональных возможностей нервно-мышечного аппарата спортсмена в процессе спортивной тренировки.

Материал, собранный по этому вопросу, указывает на наличие в процессе тренировки определенных сдвигов в твердости мышц, в их способности к максимальному напряжению и расслаблению. И по этому показателю наблюдается сближение величин различных мышц, участвующих в одном и том же звене движения. Материал этот указывает также на зависимость этого показателя от специфических особенностей спортивной деятельности.

Изучая физиологические механизмы развития тренированности, Алексей Николаевич возвращается к исследованию и вегетативных функций организма. Динамический стереотип нервных процессов, лежащий в основе того или иного спортивного двигательного навыка, представляется грандиозным по числу охваченных им функций. Поистине, «... кинестезические клетки коры могут быть связаны, и действительно связываются, со всеми клетками коры, представителями как всех внешних влияний, так и всевозможных внутренних процессов организма».<sup>2</sup> В эту систему входят, конечно, и вегетативные компоненты. В связи с этим и с увеличением объема работы в современной спортивной тренировке в лаборатории А. Н. Крестовникова начинают изучаться функции сердечно-сосудистой системы (методом электрокардиографии и другими), газообмен, насыщение крови кислородом (методом оксиметрии). Собранный этими методами материал указывает на повышение в процессе спортивной тренировки устойчивости некоторых показателей вегетативных функций.

Все исследования Алексей Николаевич стремился проводить как в естественных условиях спортивной деятельности, так и при помощи лабораторных экспериментов, проводить комплексно для того, чтобы решать вопросы физиологии спорта наиболее всесторонне и полноценно.

<sup>1</sup> М. А. Киселев и М. Е. Маршак, Физиолог. журн. СССР, 18, в. 2, 180, 1935; С. А. Косилов, Уч. зап. ЛГУ, серия биол., 23, в. 6, 181, 1938.

<sup>2</sup> И. П. Павлов (1936), Полн. собр. трудов, III, Изд. АН СССР, 1949, стр. 554.

В 1954 г. А. Н. Крестовников вместе со своими сотрудниками выпускает учебник по физиологии для институтов физической культуры.<sup>1</sup>

В феврале 1955 г. на Всесоюзной конференции по физиологии спорта Алексей Николаевич выступает со своим последним докладом на тему «Новые данные о спортивной форме». В этом докладе подытоживаются результаты последних разносторонних исследований кафедры, которые экспериментально подтверждают выдвинутые в 1951 г. гипотетические представления о физиологических механизмах развития состояния тренированности.

Направления научного исследования, начатые и развитые в большой степени А. Н. Крестовниковым, продолжают разрабатываться и в настоящее время кафедрой института имени Лесгафта и многими другими физиологическими лабораториями. Целый ряд современных исследований подтверждают факты и мысли Алексея Николаевича.

В кратком очерке невозможно осветить всю многообразную научную деятельность А. Н. Крестовникова и, тем более, связать ее сколько-нибудь полно с современными исследованиями. Но уже отмеченные в научной деятельности А. Н. Крестовникова моменты — его интенсивные и широкие исследования в начальные годы развития физиологии спорта, его теоретические концепции, основанные на достижениях передовой отечественной материалистической физиологии — физиологии И. М. Сеченова, И. П. Павлова, Н. Е. Введенского, А. А. Ухтомского, Л. А. Орбели, то обстоятельство, что в его представлениях о физиологических механизмах развития тренированности впервые в физиологии спорта органически увязаны закономерности в. н. д. с переменной лабильностью и явлениями усвоения ритма, его монографии по физиологии спорта, первые в этой области, огромное количество его работ (около 200), посвященных физиологии физических упражнений — рисуют Алексея Николаевича как крупного экспериментатора и теоретика в области физиологии спорта. В том, что эта молодая отрасль знания становится в настоящее время мощной ветвью общей физиологии, большая заслуга А. Н. Крестовникова как ученого, организатора научных исследований и педагога, вырастившего большое число специалистов в этой области.

Все это позволяет считать А. Н. Крестовникова по праву основоположником физиологии физических упражнений в нашей стране.

Поступило 7 III 1960

---

## THE ROLE OF A. N. KRESTOVNIKOV IN THE DEVELOPMENT OF THE PHYSIOLOGY OF SPORT

(To the 75th Anniversary of his birth)

By *E. K. Zhukov* and *E. B. Kossovskaja*

Leningrad

---

<sup>1</sup> А. Н. Крестовников. Физиология человека. Изд. ФиС, М., 1954.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Л. П. Павлова и К. С. Точилор. К электроэнцефалографической характеристике парной работы больших полушарий человека при мышечной работе . . . . .	777
Е. Б. Сологуб. Изменения ЭЭГ человека под влиянием мышечной работы . . . . .	786
И. М. Великсон и Ф. М. Черниловская. Влияние пульсаций светового потока люминесцентных ламп на электроэнцефалограмму человека (в связи с рациональным освещением на производстве) . . . . .	795
С. А. Брандис, С. А. Иосельсон и В. Н. Пиловичкая. Функциональные изменения в организме в покое и во время работы при многочасовом вдыхании газовых смесей с большим содержанием кислорода . . . . .	801
Р. С. Персон. Электрофизиологическое исследование деятельности двигательного аппарата человека при утомлении . . . . .	810
Е. К. Жуков и Ю. З. Захарьянц. Электрофизиологические данные о некоторых механизмах преодоления утомления . . . . .	819
Хуан И-мин. Новое доказательство раздельности фазных и тонических приборов скелетной мышцы . . . . .	828
Н. Н. Яковлев, Л. Г. Лешкевич, А. Ф. Макарова, Н. К. Попова, В. А. Рогозкин и Н. Р. Чаговец. Возрастные особенности реакции организма на выполнение физических упражнений . . . . .	834
В. В. Васильева, Э. Б. Коссовская, В. П. Правосудов и И. Н. Сальченко. Исследование газообмена, оксигенации крови и частоты сердечных сокращений при интенсивной работе в лабораторных условиях . . . . .	842
А. Б. Гандельсман, Р. П. Грачева и Н. Б. Прокопович. Адаптация человека к гипоксемии при мышечной деятельности . . . . .	851
Н. В. Зимкин. О значении величины нагрузки, темпа, длительности упражнений и интервалов между занятиями для эффективности мышечной тренировки . . . . .	860
В. Я. Русин. Сопоставление некоторых физиологических сдвигов в организме животных при адаптации к мышечной работе и при лекарственном повышении их устойчивости . . . . .	870

*Методика физиологических исследований*

Е. Г. Котельникова и Ю. З. Захарьянц. Методика комплексного электромиографического и биомеханического анализа работы мышц . . . . .	877
И. Н. Сальченко. Прибор для автоматической подачи сигналов по программе . . . . .	880
И. И. Лихницкая, Е. В. Микиртумова, К. Н. Сазонов и В. А. Герасин. К вопросу о методах определения минутного объема крови при физиологических и клинических исследованиях . . . . .	883
У Си-жу й. К методике измерения кровяного давления у крыс . . . . .	886

*Из истории физиологической науки*

Е. К. Жуков и Э. Б. Коссовская. Роль А. Н. Крестовникова в развитии физиологии спорта. К 75-летию со дня рождения . . . . .	888
---	-----



## CONTENTS

	Page
L. P. Pavlova and K. S. Tochilov. Contribution to the electroencephalographic characteristics of paired activity of the brain hemispheres in man during physical work . . . . .	777
E. B. Sologub. Changes in the EEG under the influence of muscular work in man . . . . .	786
I. M. Velikson and F. M. Chernilovskaia. Influence of a pulsating light flow of luminiscent lamps on the EEG in man (in connection with rational illumination of industrial premises) . . . . .	795
S. A. Brandis, S. A. Iosselson and V. N. Pilovitzkaia. Functional changes in the organism at rest and during exercise under conditions of a prolonged inspiration of gas mixtures with a high oxygen content . . . . .	801
R. S. Person. The electrophysiological study of the motor apparatus activity in man in a state of fatigue . . . . .	810
E. K. Jhukov and Ju. Z. Zaharianz. The electrophysiological data concerning certain mechanisms of overcoming fatigue . . . . .	819
Huan I-min. A new proof of the existence of two separate apparatus, phasic and tonic in the skeletal muscle . . . . .	828
N. N. Jakovlev, L. G. Leshkevich, A. F. Makarova, N. K. Popova, V. A. Ragozkin and N. R. Chagovetz. Age peculiarities of the human organism response to physical exercises . . . . .	834
V. V. Vasilieva, E. B. Kossovskaja, V. P. Pravosudov and I. N. Salchenko. Investigation of gas exchange, blood oxygenation and frequency of heart contractions during intensive work in the laboratory conditions . . . . .	842
A. B. Gandelsman, R. P. Gracheva and N. B. Prokopovich. The adaptation of man to hypoxemia during muscular activity . . . . .	851
N. V. Zimkin. On the importance of the value of load, rate of movements, duration of exercises and intervals between them for the effectivity of muscular training . . . . .	860
V. I. Russin. Comparison of certain physiological shifts in the animal organism, when trained for muscular work, with those resulting from treatment with drugs . . . . .	870

### *Techniques of physiological investigations*

E. G. Kotelnikova and Ju. Z. Zaharianz. Technique of a complex electromiographic and biochemical analysis of the muscle work . . . . .	877
I. N. Salchenko. An automatic device signalling according to a program . . . . .	880
I. I. Lichnitskaia, E. V. Mikirtumova, K. N. Sazonov and V. A. Gerasin. Contribution to the problem of determining the minute volume of blood in physiological and clinical studies . . . . .	883
U Si-Dju. Contribution to the technique of blood pressure measurements in rats . . . . .	886

### *Historical notes*

E. K. Jhukov <sup>1</sup> and E. B. Kossovskaja. The role of A. N. Krestovnikov in the development of the physiology of sport. To the 75th anniversary of his birth . . . . .	888
---	-----



Подписано к печати 20/VI 1960 г. М-26816. Бумага 70×108<sup>1</sup>/<sub>4</sub>. Бум. л. 3<sup>3</sup>/<sub>4</sub>. Печ. л. 7<sup>1</sup>/<sub>2</sub>=10.27  
усл. печ. л. Уч.-изд. л. 10.46. Тираж 2735. Заказ 666.

1-я тип. Изд. АН СССР, Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12.

## ОБЪЯВЛЕНИЕ

Отделение биологических наук Академии наук СССР объявляет конкурс на соискание в 1960 г. следующих золотых медалей и именных премий Академии наук СССР:

1. Золотая медаль имени В. В. Докучаева, присуждаемая советским и иностранным ученым за выдающиеся научные работы и открытия в области почвоведения.

Срок представления работ — не позднее 1 января 1960 г.

2. Золотая медаль имени И. И. Мечникова, присуждаемая советским и иностранным ученым, зарекомендовавшим себя выдающимися научными трудами в области микробиологии, эпидемиологии, зоологии и лечения инфекционных болезней, и за крупные научные достижения в области биологии.

Срок представления работ — не позднее 15 февраля 1960 г.

3. Премия имени А. Н. Баха в размере 20 000 руб., присуждаемая советским ученым за лучшие работы по биохимии.

Срок представления работ — не позднее 29 декабря 1959 г.

4. Премия имени И. И. Мечникова в размере 20 000 руб., присуждаемая советским ученым за выдающиеся научные труды в области микробиологии, иммунологии, эпидемиологии, зоологии, лечения инфекционных болезней и за крупные научные достижения в области биологии.

Срок представления работ — не позднее 15 февраля 1960 г.

5. Премия имени В. Л. Комарова в размере 20 000 руб., присуждаемая советским ученым за лучшие работы в области ботаники, систематики, анатомии и морфологии растений, ботанической географии и палеоботаники.

Срок представления работ — не позднее 13 июля 1960 г.

6. Премия имени И. П. Павлова в размере 20 000 руб., присуждаемая советским ученым за лучшие научные работы в области физиологии.

Срок представления работ — не позднее 26 июня 1960 г.

Право выдвижения кандидатов на соискание золотых медалей и именных премий предоставлено:

а) научным учреждениям СССР и союзных республик (научно-исследовательским институтам и лабораториям), высшим учебным заведениям и др.; б) научным обществам; в) действительным членам и членам-корреспондентам Академии наук СССР.

Организации и отдельные лица, выдвинувшие кандидатов на соискание золотой медали или именной премии, должны представить в Отделение биологических наук АН СССР (Москва В-71, Ленинский проспект, 14) следующие документы и материалы с надписью «На соискание премии имени. . .»:

а) опубликованную научную работу, материалы научного открытия или изобретения — в трех экземплярах, на любом языке (ранее премированные работы на конкурс не принимаются); б) материалы обсуждения научной общественностью представляемых работ; в) автореферат научного труда объемом до 0.25 авт. листа; г) краткие биографические сведения о кандидате и перечень его основных научных работ, открытий, изобретений.

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В «Физиологическом журнале СССР им. И. М. Сеченова» публикуются экспериментальные исследования по актуальным вопросам физиологии человека и животных, новые методические приемы исследования, а также статьи по биохимии и фармакологии, имеющие физиологическую направленность; статьи по истории физиологической науки, рецензии на новые учебники и монографии по физиологии, краткие отчеты о научных конференциях и съездах.

В журнале печатаются только статьи, еще нигде не опубликованные. Не принимаются к печати предварительные сообщения по незаконченным экспериментальным работам.

Статья должна быть написана сжато, ясно и тщательно отредактирована. К статье необходимо приложить ее резюме (1/2 стр.) для перевода на английский язык.

Рукопись должна быть визирована ответственным научным руководителем лаборатории, отдела или кафедры и сопровождена направлением от учреждения, где выполнялась работа.

Название учреждения и город, где выполнялась работа, должны быть указаны в заголовке статьи после фамилии автора.

Размер рукописи не должен превышать 11 машинописных страниц текста. Рукописи большого размера могут присылаться только после предварительного согласования с Редакцией. Число рисунков или таблиц при рукописи не должно превышать пяти. Все графы в таблицах и сами таблицы должны иметь заголовки; сокращение слов в таблицах не допускается.

Рисунки, диаграммы, фотографии и т. п. посылаются при описи. Подписи к рисункам должны даваться на отдельном листе в двух экземплярах. Фотографии следует присылать обязательно в 2 экземплярах. На обороте рисунков надо дать фамилию автора и название статьи.

К рукописи должен быть приложен список литературы, который помещается в конце статьи и должен включать только тех авторов, имена которых упоминаются в тексте статьи. В список включаются в алфавитном порядке сначала русские авторы, а затем иностранные. После названия журнала или книги указываются: том, №, страницы, год, например: Петрова Н. И., Физиолог. журн. СССР, 19, № 1, 137, 1953; номер тома выделяется подчеркиванием; при указании иностранных журналов следует придерживаться международной транскрипции.

Рукописи должны быть четко отпечатаны на машинке на одной стороне листа и направляться в Редакцию в двух экземплярах, из которых один должен быть первым машинописным экземпляром. Фамилии иностранных авторов в тексте статей должны даваться в русской, а при ссылке на список литературы — в оригинальной транскрипции, например: «Штейнах (Steinach, 1895) наблюдал сокращение гладких мышц. . .». Иностранные слова должны быть вписаны на машинке или от руки четко, библиотечным почерком.

Работа русского автора, опубликованная на иностранном языке, включается в русский алфавит, причем перед иностранным написанием фамилии автора фамилия и инициалы его даются по-русски в круглых скобках, например: (Иванов С. Н.) Ivanoff S. N., Pflüg. Arch., 60, 693, 1895.

Рукопись, присланная без соблюдения указанных правил, Редакцией не принимается и возвращается автору.

Редакция оставляет за собой право по мере надобности сокращать статьи.

В случае возвращения статьи автору на переработку первоначальная дата ее поступления сохраняется за ней в течение срока до 2 месяцев.

В случае невозможности помещения статьи в «Физиологическом журнале» один из двух экземпляров может быть возвращен автору.

Редакция просит авторов в конце статьи указывать свой домашний и служебный адрес, а также имя и отчество полностью.

Рукописи следует направлять по адресу: Ленинград, В-164, Менделеевская лин., 1. Издательство Академии наук СССР. Редакция «Физиологического журнала СССР». Телефон А-2-79-72.