

ФИЗИОЛОГИЯ ТРУДА

УДК 612.766.1+612.825.8

К ВОПРОСУ О ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ НОРМАХ НАПРЯЖЕНИЯ ОРГАНИЗМА ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ ТРУДЕ

В.В. Матюхин, Е.Г. Ямпольская, Э.Ф. Шардакова, В.В. Елизарова

НИИ Медицины труда РАМН, Москва

Представлены материалы обследования профессиональных групп, выполняющих физические нагрузки локального (12 групп), регионального (26 групп) и общего (14 групп) характера. Выявлены особенности развития рабочего напряжения и перенапряжения у работников физического труда различного характера (локального, регионального, общего). Показано, что при физическом труде изменение функционального состояния организма работников обусловлено воздействием величины факторов трудового процесса. При величине факторов труда, превышающих допустимые величины, основные изменения функционального состояния развиваются в нервно-мышечной и сердечно-сосудистой системах. Разработаны физиологические нормы напряжения организма при физическом труде различного характера.

Ключевые слова: *физический труд; физиологические нормы напряжения; функциональное состояние.*

Введение. В современной физиологии трудовых процессов одной из центральных является проблема физиологического нормирования напряжения организма работников физического труда. Актуальность данной проблемы объясняется тем что, несмотря на автоматизацию и механизацию современного производства, доля ручного труда остается еще очень высокой. Известно, что тяжесть физической нагрузки нередко приводит к развитию профессиональной патологии опорно-двигательного аппарата и периферической нервной системы, а именно тех систем организма, которые наиболее уязвимы при физическом труде.

При решении вопроса физиологического нормирования напряжения организма при труде следует учитывать главный методологический принцип – принцип признания приоритета медицинских критериев перед технико-экономическими. По мнению многих ученых [1; 2; 4; 5] главным критерием, обуславливающим безопасные уровни рабочего напряжения, является функциональное состояние организма человека в процессе выполнения работы. В этой связи регламентация рабочего напряжения организма человека при

различных видах мышечного труда должна основываться на количественных показателях физиологических возможностей организма человека. Рабочее напряжение организма тесно связано с величиной трудовой нагрузки, определяемой конкретными количественными значениями показателей основных факторов трудового процесса [3]. В процессе трудовой деятельности возникающее функциональное напряжение организма через определенное время приводит к развитию признаков утомления. Скорость развития утомления и его глубина находятся в тесной зависимости от уровня функционального напряжения организма.

Следует отметить, что в последние десятилетия значительно увеличились формы трудовой деятельности, связанной с локальными и особенно региональными мышечными нагрузками. Такие нагрузки характерны для большинства профессиональных групп, занятых в различных видах экономики: изолировщики электроприборов, телеграфисты, кассиры, станочники, штамповщики и многие другие. Вместе с тем, еще достаточно большое место занимают профессии, работа которых связана с глобальными (общими) мышечными нагрузками: строительные специальности, шахтеры, сталевары, грузчики и др.

Проведенные многочисленные исследования в условиях производства показали, что каждый вид мышечного труда характеризуется определенными количественными и качественными факторами трудового процесса, которые и формируют различные функциональные состояния организма работающих, в том числе и неблагоприятные, такие, как утомление, переутомление, перенапряжение. Чрезмерно высокие количественные показатели факторов трудового процесса и их длительное воздействие могут явиться причиной развития профессиональных заболеваний от физического перенапряжения.

Учитывая вышесказанное, основной задачей настоящей работы явилось выявление особенностей формирования рабочего напряжения у лиц физического труда с целью разработки дифференцированных физиологических норм напряжения организма у лиц, выполняющих различные виды мышечной работы.

Материал и методика. Для решения поставленной задачи использовались методы, включающие физиолого-эргономические исследования. В статью вошли материалы обследования профессиональных групп, труд которых связан с локальными мышечными нагрузками (12 групп), региональными нагрузками (26 групп) и общими (глобальными) нагрузками (14 групп). Общим для всех изученных групп было выполнение ими физической работы, а отличие состояло в воздействии различных в качественном и количественном отношении факторов трудового процесса, и

соответственно, физиологических реакциях организма в ответ на выполняемую работу.

При обследовании изученных профессиональных групп особое внимание уделялось оценке функционального состояния нервно-мышечного аппарата методом динамометрии. В динамике рабочей смены изучалось изменение мышечной силы и выносливости мышц кисти к статическому усилию, а также рассчитывался показатель максимальной мышечной работоспособности (ММР). Кроме того, определяли биоэлектрическую активность мышц в % от максимальной произвольной силы (МПС). Состояние сердечно-сосудистой системы оценивалось по показателям частоты сердечных сокращений и артериального давления на протяжении смены. Все обследованные (более 700 человек) были практически здоровые мужчины в возрасте 20–30 лет со стажем работы не менее трех лет.

Результаты и обсуждение. Остановимся подробнее на каждом виде мышечной нагрузки. При работе с локальными мышечными нагрузками рабочее напряжение развивается, главным образом, в мелких мышечных группах кистей и предплечий, вследствие выполнения большого количества многократно повторяющихся стереотипных движений. К работам этого вида относятся профессии, занятые в таких отраслях экономики, как полиграфия, связь, торговля, банковское дело и др., а также профессии, обслуживающие «клавиатурную» технику. В настоящей работе представлены материалы обследования 12 профессиональных групп. Как было сказано выше, для локальных нагрузок ведущим неблагоприятным фактором трудового процесса является выполнение большого количества стереотипных движений кистей и пальцев рук, которое варьировало от 4 до 130 тысяч за смену, что и определяло глубину и характер изменения функционального состояния организма в течение смены. Функциональное состояние организма работающих в динамике смены оценивалось по изменению физиологических показателей различных систем и, прежде всего, нервно-мышечной системы (НМС), наиболее уязвимой при физическом труде. Проведенные физиологические исследования показали, что чем большее число локальных движений совершает работник за смену, тем раньше по времени смены проявляются у него признаки развивающегося утомления. Утомление в нервно-мышечной системе оценивалось по изменению в динамике смены показателей мышечной выносливости мышц кисти к статическому усилию, биоэлектрической активности мышц (в % от МПС – максимальной произвольной силы) и максимальной мышечной работоспособности.

Результаты физиологических исследований позволили выявить снижение мышечной выносливости к статическому усилию к концу смены на 15,4–41,2% в зависимости от количества выполняемых

движений; максимальная мышечная работоспособность снижалась на 17,2–45,1%, а биоэлектрическая активность мышц – на 8,8–20,5% от МПС (при допустимых величинах 10–14 %). Проведенный корреляционный анализ выявил наличие высокой положительной связи между числом движений за смену и показателями функционального состояния нервно-мышечной системы ($r=0,87$; $p<0,005$). Так, у работников, выполняющих за смену 4 тысяч движений признаки утомления по показателям динамометрии, биоэлектрической активности мышц и тремометрии были незначительны и проявлялись только в конце смены. С увеличением количества выполняемых за смену стереотипных движений до 40 тысяч признаки развивающегося утомления отмечались уже к середине смены (через 4 часа работы), при количестве локальных движений до 100 и более тысяч – уже через 2 часа работы было выявлено достоверное снижение мышечной выносливости, повышение биоэлектрической активности мышц и другие признаки, характеризующие утомление нервно-мышечной системы. Выявленные изменения в функциональном состоянии НМС (наиболее уязвимой системой при работе с локальными мышечными нагрузками) происходят на фоне относительно стабильных показателей сердечно-сосудистой системы (ССС) на протяжении смены. Данное положение было подтверждено при клинко-функциональном обследовании работников различных предприятий. С нарастанием числа движений за смену выявлено увеличение процента случаев патологических нарушений. Проведенный анализ показал, что патологические нарушения отмечались, в основном, в состоянии нервно-мышечной системы: это вегето-сенсорная полиневропатия рук, миалгия кистей и предплечий рук и др. Объективные симптомы заболеваний сопровождались многочисленными субъективными жалобами на боли и онемение пальцев и кистей рук.

Наряду с профессиями, связанными с локальными мышечными нагрузками широкое распространение в современном производстве имеют формы труда, связанные с региональными мышечными нагрузками, т. е. с нагрузками, когда в работе принимают участие преимущественно мышцы кисти, предплечья и плечевого пояса. К таким работам относятся швеи различной одежды, комплектовщицы и упаковщицы фарфоровых изделий, штамповщицы, и многие другие специальности. Анализ профессиональной деятельности 26 групп, связанных с региональными мышечными нагрузками, показал, что по количественным показателям факторов трудового процесса изучаемые группы резко различаются, что вызывает и различную ответную реакцию организма в ответ на выполняемую работу. Для более детального изучения влияния региональной мышечной работы на функциональное состояние организма работающих все изученные профессиональные группы были условно разделены на 3 группы по

степени физической тяжести: легкий, средней тяжести и тяжелый физический труд, причем пределы колебаний факторов трудового процесса довольно значительны. Так, масса поднимаемых и перемещаемых грузов вручную колебалась от 0,05–5,0 кг в 1 группе до 0,5–11,0 кг в 3 группе при сменном грузообороте от 275 кг у работников легкого труда до 10600 кг – тяжелого труда. Аналогичные различия были выявлены и по другим факторам трудового процесса: числу рабочих движений, наклонам корпуса, времени пребывания в неудобных рабочих позах и другим показателям тяжести трудового процесса.

Результаты физиологических исследований показали, что под влиянием характера региональной физической работы основные изменения отмечаются в нервно-мышечной и сердечно-сосудистой системах, причем глубина этих изменений нарастает с увеличением интенсивности физической нагрузки (табл. 1). В динамике рабочей смены среднесменная ЧСС возрастает с 75 уд/мин в 1 группе до 95 уд/мин в 3 группе, что свидетельствует об увеличении напряжения сердечно-сосудистой системы при выполнении той же региональной нагрузки, но большей по физической тяжести. Это же подтвердилось при анализе данных электромиографии (ЭМГ). Так, биоэлектрическая активность мышц, в процентах от МПС, превышает допустимые величины у работников 3 группы, составляя 20–22%, в то время как у работников 1 группы ЭМГ активность составляет 9–11%, т.е. находится в пределах допустимых значений (10–14% от МПС). Об утомлении нервно-мышечной системы можно судить и по показателям выносливости мышц кисти к статическому усилию. Так, если у работников 1 группы снижение мышечной выносливости к концу смены составляло 15–17% по сравнению с исходными (до рабочими) уровнями, то у работников 3 группы процент снижения выносливости мышц кисти достигал 34–36%.

Полученные изменения функционального состояния организма работающих в динамике смены при выполнении региональной мышечной нагрузки позволили заключить, что физиологическая стоимость этой работы определяется количественными величинами основных факторов трудового процесса, их интенсивностью и длительностью воздействия. Проведенный множественный регрессионный анализ выявил вклад каждого фактора в развитие утомления организма работающих. Было показано, что среди факторов трудового процесса, определяющих тяжесть физического труда, основной вклад в развитие перенапряжения нервно-мышечной системы вносят: количество стереотипных движений руками за смену, величина статической нагрузки на мышцы рук и сменный грузооборот свыше 1000 кг ($r=0,88-0,92$). Перенапряжение НМС у обследуемых групп подтверждено и данными неврологического обследования работающих,

в результате которого было показано, что ведущей формой патологических нарушений была вегетосенсорная полиневропатия рук, нередко в сочетании с миофиброзом предплечий, а также патология связочного в виде эпикондилеза плечевой кости и плече-лопаточного периартроза.

Таблица 1
Изменение физиологических показателей ($M \pm m$) в динамике смены
у профессиональных групп, связанных с региональной
мышечной нагрузкой в зависимости от класса условий труда

| Класс условий труда | Время исследований | ЧСС, уд/мин | Выносливость, с | ЭМГ, % от МПС |
|---------------------|--------------------|-------------|-----------------|---------------|
| 1 | начало смены | 75,2±1,5 | 20,6±1,2 | 6,6±1,3 |
| | конец смены | 80,6±1,3 | 18,2±1,4 | 9,3±1,6 |
| 2 | начало смены | 78,5±2,1 | 19,6±1,2 | 11,0±1,8 |
| | конец смены | 94,2±2,5 | 16,0±1,1 | 13,5±2,0 |
| 3.1 | начало смены | 76,1±2,3 | 19,9±1,1 | 16,3±2,4 |
| | конец смены | 99,0±2,7 | 14,8±1,9 | 18,8±1,9 |
| 3.2 | начало смены | 76,7±2,6 | 20,7±2,0 | 20,0±1,8 |
| | конец смены | 109,8±2,9 | 13,8±2,5 | 31,3±2,6 |

Работы, выполнение которых требует участия более 2/3 мышечной массы человека, связаны с общими физическими нагрузками, что характерно для большинства профессий строительной, лесозаготовительной, горнодобывающей и многих других видов экономической деятельности. В них доля ручного труда остается все еще очень высокой. Факторы трудового процесса, характерные для указанного вида труда, в большинстве случаев превышают нормируемые значения, и, прежде всего: по массе поднимаемого вручную груза (как при разовом подъеме, так и суммарно за смену), по количеству глубоких наклонов корпуса, числу стереотипных движений рук большой амплитуды и др. Это обуславливает высокие статико-динамические нагрузки мышц рук, плечевого пояса, а также мышц корпуса и ног.

Изучение функционального состояния организма работающих при физической нагрузке общего характера (табл. 2) показало, что такая работа вызывает, прежде всего, значительное напряжение сердечно-сосудистой системы, что проявляется в высоких значениях ЧСС к концу смены, достигающих 118 уд/мин, при этом на отдельных операциях ЧСС увеличивается до 126–153 уд/мин.

По-видимому, при тяжелом физическом труде напряжение крупных мышечных групп происходит на фоне ограничения их кровоснабжения и увеличения периферического сопротивления

кровотоку, что и обуславливает напряжение сердечно-сосудистой системы. При этом следует отметить, что физическая работа общего характера оказывает неблагоприятное влияние и на функциональное состояние нервно-мышечной системы (НМС), о чем свидетельствуют данные изменения мышечной выносливости к статическому усилию и биоэлектрической активности мышц. При обследовании профессиональных групп, выполняющих физические работы общего характера выявлено снижение выносливости мышц кисти к статическому усилию к концу смены на 28,5–34,6% (в среднем 30,5%) и выносливости мышц корпуса на 36,8–40,4% по сравнению с исходными, до рабочими, величинами. На этом фоне уровень биоэлектрической активности мышц во время работы превышал допустимые величины (10–14% от МПС), составляя 16–18% на мышцах плечевого пояса и 17–23% – на стеновых мышцах туловища.

Таблица 2
Изменение физиологических показателей в динамике смены при общих физических нагрузках

| Физиологические показатели | Фактические величины | Период исследований | | |
|----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | | начало смены | середина смены | конец смены |
| Выносливость, с | M±m % снижения | 18,7±4,2 – | 15,7±1,6 16,1 | 13,0±0,9 30,5 |
| ЭМГ, % от МПС | M±m | 16,0±2,4 | 16,6±1,9 | 22,0±2,8 |
| ЧСС, уд/мин | M±m % увеличения | 75,1±3,2 – | 107,3±2,9 42,8 | 118,4±3,4 57,6 |

Отмеченные неблагоприятные изменения в нервно-мышечной системе организма работающих, при длительном выполнении физических работ общего характера могут явиться причиной развития патологических нарушений, главным образом, болезней спины. Как показали данные неврологического осмотра для работников, связанных с общими физическими нагрузками, характерны поражения пояснично-крестцового уровня в виде хронической радикулопатии.

Таким образом, при физическом труде, независимо от характера мышечных нагрузок (локальных, региональных, общих) функциональное состояние организма работающих по степени рабочего напряжения находится в тесной зависимости от величины ведущих факторов трудового процесса. При этом, чем больше интенсивность и длительность воздействия этих факторов, тем раньше развивается утомление, кумуляция которого часто приводит к перенапряжению отдельных систем организма, а нередко (при стаже работы 10–20 лет) – и к возникновению профессиональных заболеваний.

Совместные физиолого-клинические исследования показали, что

систематические мышечные нагрузки являются причиной патологических нарушений нервно-мышечной системы, как наиболее уязвимой при физическом труде. Надежными физиологическими критериями при оценке стадий рабочего напряжения при физическом труде различного характера являются: 1) величина снижения динамометрических показателей к концу смены; 2) уровень биоэлектрической активности мышц при выполнении работы; 3) величина ЧСС к концу работы; 4) продолжительность периода появления первых признаков утомления от начала работы.

Полученные результаты позволили обосновать физиологические нормы напряжения организма при физическом труде различного характера (локальные, региональные, общие нагрузки) (табл. 3).

Таблица 3

Физиологические нормы напряжения организма при физическом труде различного характера

| Физиологические показатели | Мышечные нагрузки | | |
|---|-------------------|--------------|--------|
| | локальные | региональные | общие |
| Выносливость мышц кисти к статическому усилию, % снижения к концу смены | до 30 | до 25 | до 20 |
| Уровень биоэлектрической активности мышц во время выполнения работы, % от МПС | до 14 | до 14 | до 14 |
| ЧСС, уд/мин | до 85 | до 90 | до 100 |
| Артериальное давление систолическое, мм рт.ст. | до 120 | до 125 | до 135 |

Установленные физиологические нормы напряжения организма при физическом труде различного характера, как показали проведенные исследования, не приводят к развитию функционального перенапряжения и патологических нарушений в системах организма работников физического труда, т.е. их можно считать безопасными для организма. Возможные изменения в функциональном состоянии отдельных систем организма восстанавливаются за период отдыха и не оказывают неблагоприятного воздействия на состояние здоровья работников.

Выводы. 1. Анализ производственных исследований выявил тесную зависимость величины факторов трудового процесса и функционального состояния организма работников при физическом труде, независимо от характера мышечных нагрузок (локальные, региональные, общие).

2. При воздействии факторов трудового процесса, превышающих допустимые величины, в организме работников развивается рабочее

напряжение в нервно-мышечной и сердечно-сосудистой системах.

3. Надежными информативными физиологическими критериями уровня рабочего напряжения при физическом труде различного характера являются снижение выносливости мышц кисти к статическому усилию, увеличение амплитуды биопотенциалов на исследуемых мышцах, увеличение частоты сердечных сокращений в динамике смены.

4. Результаты позволили разработать физиологические нормы напряжения организма работников при физическом труде различного характера, соблюдение которых будет способствовать повышению работоспособности и производительности труда.

Список литературы

1. *Мойкин Ю.В., Ямпольская Е.Г., Шардакова Э.Ф., Елизарова В.В., Лагутина Г.Н., Порошенко А.С.* Зависимость функционального состояния организма и частоты развития заболеваний опорно-двигательного аппарата от воздействия ведущих факторов трудового процесса // Координация сомато-сенсорных и вегетативных функций при трудовой деятельности. Тверь: Изд. Твер. гос. ун-та, 1994. С. 50–56.
2. *Розенблат В.В., Солонин Ю.Г.* Физиологические нормы напряжения организма при физическом труде. М., 1994. 12 с.
3. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Р 2.2.2006-05: [Электрон. ресурс]. 2005. Режим доступа: <http://www.kadrovik.ru/docs/rukovodstvo.2.2.2006-05.htm>. (дата обращения: 15.09.2010).
4. *Шардакова Э.Ф., Матюхин В.В., Елизарова В.В., Ямпольская Е.Г., Елизарова В.В., Котляр Н.Ю., Суворов В.Г.* Профилактика мышечного перенапряжения при физической работе // Медицина труда и промышленная экология. 1999. № 7. С.12–15.
5. *Trask C., Teshke K.* Measuring low back injury risk factors in challenging work environments: an evaluation of cost and feasibility // *Am. J. Ind. Med.* 2007. Vol. 50. P. 687–699.

REVISED ON PHYSIOLOGICAL STANDARDS OF HUMAN ORGANISM STRAIN DURING PHYSICAL LABOUR

V.V. Matiukhin, E.G. Yampolskaya, E.F. Shardakova, V.V. Yelizarova

Research Institute of Occupational Health RAMS, Moscow

Given are researching date on professional groups which are carrying out physical activities materials of inspection of local (12 groups), regional (26

groups) and the general (14 groups) character. On the basis of the performance industrial physiological researches features of development of the human organism strain and overstrain at workers of physical labour of different character (local, regional, the general) are revealed. It is testify, that the human organism functional state variation depends on working process factors value. With the work factor value exceeding the allowable values, the functional state main variations develop in nervously muscular and cardiovascular systems. The research results have allowed developing physiological standards of the human organism strain during physical labour of different character.

Keywords: *physical work; physiological standard of tension; functional state.*

Об авторах:

МАТЮХИН Владимир Васильевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией физиологии труда и профилактической эргономики, УРАМН НИИ Медицины труда РАМН, e-mail: matuhin010@yandex.ru

ЯМПОЛЬСКАЯ Елизавета Григорьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии труда и профилактической эргономики, УРАМН НИИ Медицины труда РАМН, e-mail: matuhin010@yandex.ru

ШАРДАКОВА Эмилия Федоровна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии труда и профилактической эргономики, УРАМН НИИ Медицины труда РАМН, e-mail: matuhin010@yandex.ru

ЕЛИЗАРОВА Валентна Васильевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии труда и профилактической эргономики, УРАМН НИИ Медицины труда РАМН, e-mail: matuhin010@yandex.ru