

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНОГО ПРОСТРАНСТВА ОПЕРАТОРА

Е. Ванагене

Основой формирования моторного пространства служат исследования, направленные на рациональное проектирование рабочей позы и движений. С расширением круга новых профессий, связанных с управлением сложными техническими устройствами, появляются новые связи между человеком и элементами рабочего места. Вследствие чего установившиеся рекомендации по оптимизации движений становятся недостаточными.

Как известно, к пространственным характеристикам движений оператора относятся размеры моторного поля и траектория движений [8, 9]. Моторная деятельность оператора характерна прежде всего тем, что моторные координаты являются тонкими и, следовательно, в подавляющем большинстве случаев все движения осуществляются без перемещения туловища. Исходя из этого, размеры максимальной, допустимой и оптимальной моторной зоны при неподвижном положении туловища определяются длиной вытянутой руки оператора [1]. Естественно, в зонах оптимальной и допустимой досягаемости возможны наиболее быстрые и точные движения при минимальной утомляемости оператора. Возникает вопрос, какова будет картина пространственно-временных характеристик этих движений в различной моторной зоне.

Так, в последнее время проведенными исследованиями по моделированию моторного пространства выявлены принципиально новые рекомендации в практическом его использовании [7]. Эти же работы открыли новые возможности органического слияния пространственной организации рабочего места с организацией психофизиологической активности работающего во времени. Полученная ими геометрическая форма моторного пространства метрически сложна. Максимальные ее границы, полученные исходя из психологически представленной задачи, образуют пространственное тело, ограниченное множеством положений крайней точки кинематической цепи звеньев человеческого тела. Найденные размеры и геометрическая форма моторного пространства резко отличаются от ныне употребляемых в практике проектирования. Это объясняется принципиально иными исходными позициями к решению проблемы. Основу их составляет не биомеханический, а психологический подход, заключающийся в том, что испытуемый целенаправленно выбирал возможные траектории движений.

На практике критерием оптимального расположения технических

средств и организации психомоторной зоны в целом служат точность, быстрота, сила, надежность зрительно-моторных операций. При этом критерий времени реализации произвольных движений в зрительной ориентации в информационном поле является основным.

Хотя множество работ, касающихся исследований моторного пространства оператора, включают как биомеханические, анатомические и психофизиологические методы, вопрос об оптимизации движений, имея в виду их сложность и неодносторонность, все еще остается открытым.

Так, например, проведенные нами исследования пространственно-временной структуры отдельных положений тела показали, что на длительность поддержания соответствующей позы важное влияние оказывает не только характер выполняемой задачи, но и индивидуальные особенности личности оператора [2, 4].

По-нашему, такие же зависимости возможны и при исследовании пространственно-временных характеристик моторного поля. Поэтому наша задача — проверить следующее предположение: пространственно-временные характеристики моторного поля оператора зависят не только от биомеханических, анатомических факторов, но и от индивидуальных особенностей личности оператора. Это особенно влияет на длительность сохранения точных движений в комфортных и дискомфортных зонах моторного пространства. Иными словами, успешность выполнения задания во времени зависит не только от размеров моторного пространства, но и от индивидуальных особенностей личности оператора.

Решение изложенной гипотезы обеспечит более подробное выявление психофизиологической картины рекомендуемых моторных зон. Проведенное исследование может быть полезным при выборе критерия оценки комфортности моторного пространства, а также для практики — в случаях выполнения быстрых координированных движений, так как определяются их пространственно-временные характеристики с учетом нетрадиционных факторов — индивидуальных особенностей личности оператора, изменение точности движений во времени и время появления усталости.

Исходя из вышеуказанного, выдвинутая гипотеза проверялась путем решения следующих конкретных задач:

1. Методом прямого субъективного шкалирования определить время появления признаков усталости при выполнении элементарных координированных движений в разном моторном пространстве, оцениваемом как „комфортное“ и „дискомфортное“ в пределах оптимальной зоны моторного поля.

2. Определить характер изменения успешного выполнения элементарных координированных движений во времени в разном моторном пространстве.

3. Определить взаимосвязь между индивидуальными особенностями личности (эмоциональной устойчивостью), временем появления признаков усталости и характером изменения успешного выполнения задания во времени в комфортном и дискомфортном моторном пространстве.

Методика исследования. В эргономических исследованиях моторного пространства применяются самые разнообразные методы. В проводимой нами работе основным является оценка времени утомления в отношении выполнения задания. Выбранное методическое направление можно отнести к психологическому. Оно связано с субъективными оценками собственного состояния.

Временной акцент утомляемости при изучении моторного пространства не является, конечно, чем-то новым [11, 17]. Он всегда присутствовал в исследованиях психологии труда. Однако включение таких психических функций, как ощущение во взаимосвязи с двигательными реакциями при изучении рабочих поз и движений, является не традиционным. Под этим подразумевается разнообразие применения способов оценки утомляемости при исследованиях степени комфортности рабочих мест. До сих пор в работах подобного рода перспективным является применение субъективных оценок функционального состояния. Это объясняется многообразием проявлений симптоматики утомления во внутренней жизни индивида: от хорошо знакомого каждому комплекса ощущений усталости до специфических изменений „самоафферентации“, затрагивающих мотивационную и познавательную сферу [10, 12]. Среди этих методов наибольшее распространение получили методы субъективного шкалирования и разнообразные опросники [13–16]. Характеризуя собственное состояние, испытуемый оценивает степень выраженности определенных ощущений.

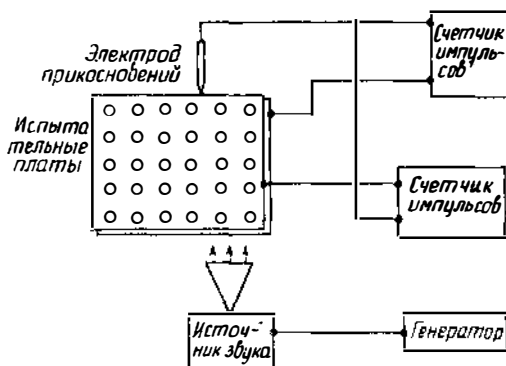
В настоящей работе субъективная оценка ощущений проводится по принципу построения четырехбалльных шкал. Они были направлены на оценку напряженности, усталости, болей в мышцах или отдельных частях тела, так как успешное совершение движений в разных моторных зонах в первую очередь зависит от степени утомляемости скелетно-мышечного аппарата. Разделение шкалы по баллам выглядело так: 1 балл — появление ощущения повышенной напряженности в одной части тела; 2 балла — появление ощущения усталости в двух частях тела (или перехода усталости с одной части тела на другую); 3 балла — появление боли в какой-нибудь части тела; 4 балла — появление боли в нескольких частях тела и общее утомление.

Следующий метод, который был применен для решения выдвинутых задач, — это оценка успешного выполнения задания. В эту группу оценки функционального состояния входят оценки динамики количества, качества и скорости выполняемой работы, а также описание лежащих в их основе изменений соответствующих психологических функций [11, 12].

Развитие этого направления шло по линии поиска интегральных показателей изменения работоспособности. В целом ряде работ подчеркивается необходимость одновременного учета не только правильности, но и скорости выполнения заданий [15, 16].

Так как в нашей работе изучаются пространственно-временные характеристики моторных зон, которые в первую очередь должны обеспечить оптимальность движений и поз, основным показателем

Рис. 1. Экспериментальный стенд для исследования точности элементарных координированных движений



успешного выполнения задачи послужила точность движения. Для регистрации успешности выполнения координированных и быстрых движений был применен экспериментальный стенд.

Примененные методы оценки пространственно-временных характеристик моторных зон дополняют использованные ранее [2, 11, 17]. По нашему мнению, одновременная регистрация субъективных оценок состояния оператора и успешного выполнения задания позволяет глубоко и интегративно анализировать особо важные составляющие операторской деятельности — моторное пространство, рабочие позы и движения.

Стенд исследования (рис. 1). Экспериментальный стенд состоял из следующих приборов: две экспериментальные платы (медные плоскости размером 50X40 см) с изоляционным слоем между ними. Верхняя плоскость имела отверстия диаметром 0,6 см, нижняя — без отверстий. Центры отверстий как по горизонтали, так и по вертикали расположены на расстоянии 3,5 см друг от друга. Платы служили для отведения сигналов в случае прикосновения к ним электродом. Индикатор и пластинки были подключены к двум счетчикам импульсов. Один счетчик суммировал сигналы, возникшие в случае прикосновения электродом верхней платы (при неточных движениях), второй — в случае прикосновения электродом нижней платы (при попадании в отверстие, т. е. при точных движениях).

Для того чтобы испытуемые совершали движения в одинаковом темпе, с помощью генератора на микрофон подавались звуковые сигналы частотой 2,5 Гц.

Экспериментальные платы размещались на столе с меняющейся высотой. При выполнении задания сидя использовалось и стандартное сидение с наклоном назад 2°. Опорой на спинку испытуемый не пользовался.

Процедура проведения эксперимента. Эксперимент состоял из 4-х опытов. В первом и втором опытах испытуемый выполнял задание в положении сидя в I (комфортной) моторной зоне и во II (дискомфортной) моторной зоне (рис. 2). Аналогично (в I и II моторных зонах) это же самое задание выполнялось в позе стоя (третий,

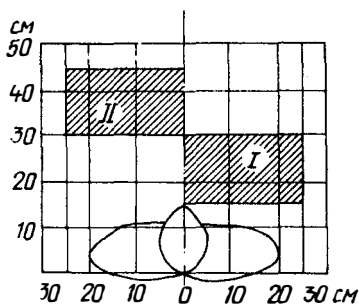


Рис. 2. Пространственные размеры изучаемых моторных зон: комфортной (I) и дискомфортной (II) при выполнении задания

четвертый опыт). При выполнении задания в положении сидя высота рабочей поверхности составляла для всей группы испытуемых 700 мм, расстояние от передней части тела до рабочей поверхности — 10 см. При работе стоя высота рабочей поверхности составляла 110 см.

Выполнение задания заключалось в следующем:

1. В соответствии с частотой звуковых сигналов испытуемый правой рукой быстрыми движениями направлял электрод от одного отверстия к следующему, стараясь при этом попадать в него, в случае непопадания продолжали движение руки по направлению к следующему отверстию.

2. Траекторию движения сохраняли одинаковой в течение всего эксперимента.

3. В течение выполнения задания испытуемый должен был сохранять то же исходное положение туловища и следить при этом за появлением таких ощущений, как повышенная напряженность, утомляемость, боли в какой-нибудь или нескольких частях тела. О появлении упомянутых признаков усталости он должен был тут же информировать экспериментатора.

4. Задание выполнялось до тех пор, пока испытуемый не почувствовал боли и общую утомляемость (усталость по субъективной шкале 4 балла).

Для повышения мотивации испытуемых им указывалось на то, что продуктивность их работы будет зарегистрирована. Чем чаще прикоснутся они электродом к нижней плоскости (в отверстия), тем больше сделают замыканий, которые покажут счетчики, отражая продуктивность (точность) совершаемых ими движений. Отмечалось, что продолжительность работы будет отражать его выносливость.

Регистрация данных выполнялась экспериментатором путем наблюдения и фиксирования показаний счетчиков через каждую минуту.

Данные заносились в заранее подготовленный протокол. одновременно записывались указанные испытуемым замечания и отмечалось время. Перед началом опытов испытуемые обучались до тех пор, пока не были найдены примерно одинаковые критерии оценки утомляемости и пока они не научились правильно осуществлять указанные движения.

Звуковые сигналы включались одновременно со счетчиками командой „начинаем“.

Время фиксировалось секундомером. Длительность всего экспе-

римента в среднем составляла 2,5–3 ч. С каждым испытуемым проведено по 2, а для некоторых и по 3 опыта.

Испытуемые. Перед проведением эксперимента был сделан отбор испытуемых с индивидуальными различиями по нейротизму, экстраверсии, интроверсии. Для этой цели применялся опросник Айзенка. В экспериментах участвовал 21 испытуемый (9 мужчин и 12 женщин). При анализе данных были выделены группы по полу и 2 группы по степени нейротизма и экстраверсии (средний балл нейротизма 9,4 и 16,6 соответственно, экстраверсий – 8,5 и 11,5).

Обработка результатов. С целью выявления зависимости успешности (эффективности) выполнения задания от длительности работы подсчитывался процент правильных (точных) движений (Е,%) в каждую минуту, доверительный интервал и коэффициент вариации величины Е. Средние величины Е (%), ее доверительные интервалы и коэффициент вариации определялись также для каждой группы по полу, по нейротизму при разном моторном пространстве независимо от интервала времени.

Для выявления длительности выполнения задания до появления признаков усталости, оцениваемой четырьмя баллами, вычислялась средняя ее величина для всей группы испытуемых в зависимости от пола и моторного пространства. Определялись корреляция величины t_{\max} от нейротизма, экстраверсии и коэффициент корреляции величины Е от t_{\max} .

Также для выявления развития усталости в течение выполнения задания вычислялся средний балл субъективной оценки состояния и средняя величина показателя Е при отдельных интервалах времени.

Статистическая обработка данных проводилась на ЭВМ.

Результаты. Субъективная оценка появления признаков усталости в отдельных частях тела показала явную корреляцию ($r \geq 0,74$) с длительностью выполнения задания при разном моторном пространстве и в разных группах испытуемых. Как видно из рис. 3, усталость в большей степени и быстрее развивается при выполнении задания в дискомфортном моторном пространстве как сидя, так и стоя. Среднее арифметическое t_{\max} в дискомфортных зонах почти вдвое меньше, чем в комфортных (рис. 4).

Для мужчин t_{\max} в среднем на 1 мин выше, чем для женщин. Это, естественно, связано с меньшими физическими возможностями последних.

Полученные зависимости показывают, что координированные быстрые действия в изученных зонах успешно могут быть выполнены без превы-

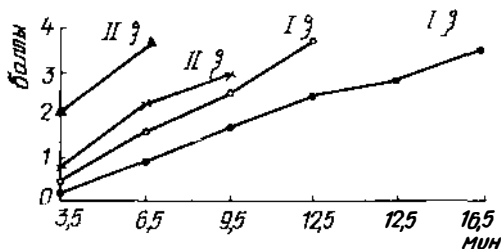


Рис. 3. Зависимости между длительностью выполнения задания (мин) и субъективной оценкой (баллы) усталости при разных положениях тела (I – комфортная, II – дискомфортная моторные зоны)

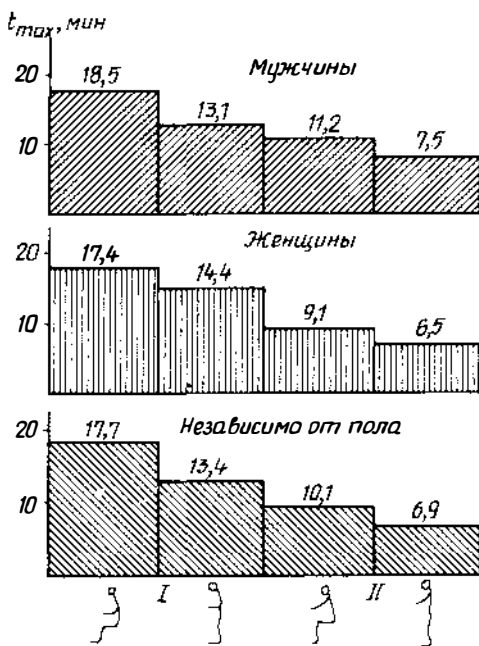


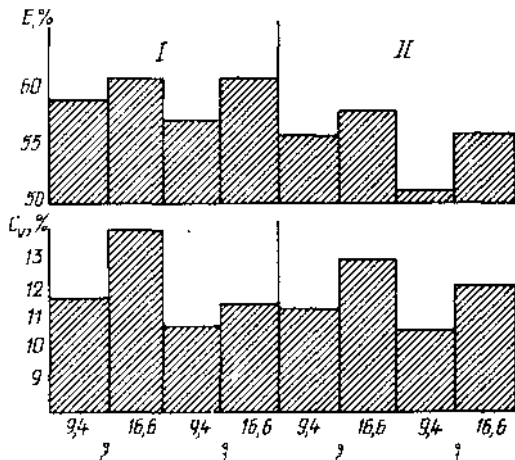
Рис. 4. Средние значения максимального времени (t_{max} , мин) выполнения задания в разных моторных зонах (I, II) и разных положениях тела мужчин, женщин и независимо от пола

шения полученных величин t_{max} . По истечении найденного времени (t_{max}) необходимо менять моторное пространство, рабочую позу.

Если проследить корреляционные связи между индивидуальными особенностями личности испытуемого и средними величинами t_{max} , то увидим следующую картину. Величина t_{max} , можно сказать, коррелирует с нейротизмом при выполнении задания в дискомфортном моторном пространстве ($r \geq 0,5$), при комфортных — явной корреляции не обнаружено ($r \geq 0,28$). Видимо, индивиды с наивысшим баллом нейротизма в дискомфортных условиях быстрее обнаруживают признаки усталости, раздражаются при работе, делают ошибки. Взаимосвязь между экстраверсией и t_{max} (за исключением I комфортной моторной зоны сидя) обнаруживается почти во всех моторных зонах ($r \geq 0,50$). Так как коэффициенты регрессии положительные, полученная зависимость свидетельствует о наивысшем значении t_{max} для более экстравертного индивида.

Следовательно, гипотеза о том, что пространственно-временные характеристики моторного поля зависят от индивидуальных особенностей личности оператора, подтвердилась. Об этом свидетельствуют и полученные средние величины количества точных движений в разных моторных зонах и при разной степени нейротизма (рис. 5). Можно сказать, что более ярким показателем такой зависимости является коэффициент вариации (C_v) величины E. Особенно явное увеличение коэффициента вариации наблюдается при более высоком балле нейротизма в условиях выполнения задания более длительное время (в комфортном моторном

Рис. 5. Среднее количество точных движений (E, %) и коэффициенты вариации (C_v, %) величин E при разной степени нейротизма (по оси абсцисс — баллы нейротизма) и в разных моторных зонах: I — комфортная; II — дискомфортная



пространстве в исходном положении сидя). Это отчасти объясняется изменением уровня волевого усилия, способностью преодолевать затруднения, которые возрастают по мере развития утомления. Так, например, исследователи кроме других социально-психологических моментов (мотивации, установки, заинтересованности) отмечают огромное значение волевых усилий на успешное выполнение задания и при явных признаках утомления [5, 6].

Этим же, по-нашему, можно объяснить и полученный нами характер кривых, изображающих зависимость точных движений от длительности выполнения задания (рис. 6). Действительно, коэффициент корреляции не высок — $r \geq 0,36$, за исключением I — комфортной моторной зоны при

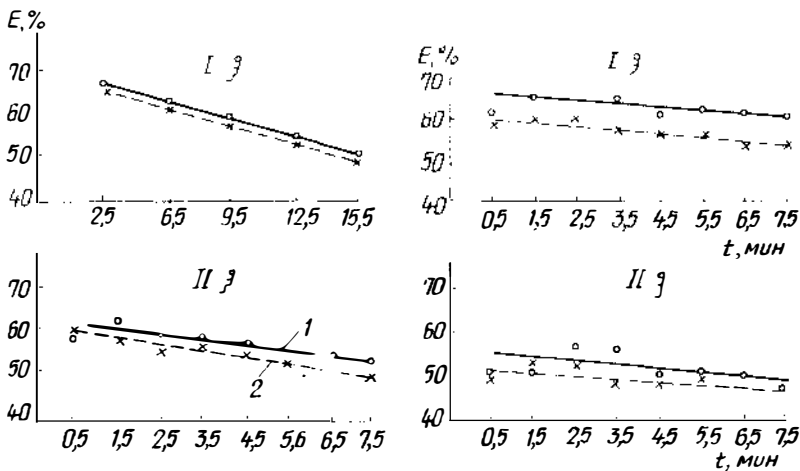


Рис. 6. Зависимость среднего количества точных движений (E, %) от длительности выполнения задания (t, мин) для мужчин (1) и женщин (2): 1 — комфортная моторная зона (стоя и сидя); II — дискомфортная (стоя и сидя)

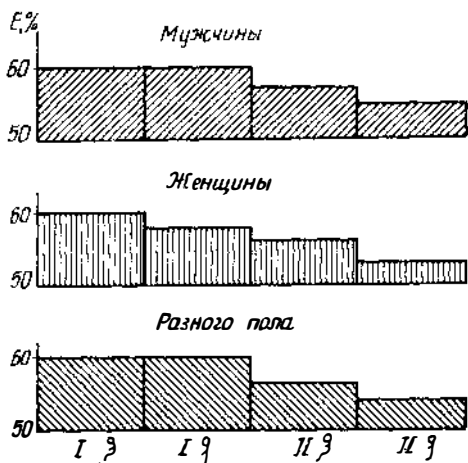


Рис. 7. Среднее количество точных движений (E, %) в разных моторных зонах (I — комфортная; II — дискомфортная) и разных положениях тела для мужчин, женщин и вообще для всех испытуемых

позе сидя $r = 0,56$. Однако величины E, как показывает рис. 7, сильнее взаимосвязаны с пространственными характеристиками моторного поля. Следует отметить, что в течение 13 мин (так как при выполнении задания в I моторном пространстве $t_{\max} \approx 13$ мин) почти одинаково успешно выполняют точные движения в комфортном моторном пространстве в положении сидя и стоя. Это можно объяснить тем, что человек, работая определенное время стоя, имеет больше возможностей адаптироваться к предлагаемому пространству. Под этим подразумевается большой диапазон незаметных изменений (коррекций) положения отдельных звеньев тела относительно выполняемых движений рукой, что обеспечивает большую точность работы.

При сопоставлении данных показателей ощущения усталости и динамики успешного выполнения задания можно прийти к выводу о том, что максимальное время (t_{\max}) выполнения точных движений — это не только исключительно результат утомления мышц. В течение экспериментов наблюдалась определенная зависимость результатов от настроения человека, от уровня его волевого напряжения. Факт сравнительно высоких величин E (%) в конце опыта по сравнению с субъективной оценкой усталости (в баллах) свидетельствует о мобилизации внутренних резервов. Результат воздействия этих резервов зависит главным образом от психологических факторов. Несомненно, важную роль в проведенном нами эксперименте сыграли индивидуальные особенности личности оператора. Испытуемые с пониженной эмоциональной устойчивостью, для которых характерны резкая перемена настроений, частый подъем и спад энергии, повышенное внимание к своему состоянию, быстрее обнаруживают усталость, чем в конечном счете определяется успешное выполнение задания. Это особенно отражают полученные значения коэффициентов вариации точности движений в разных моторных зонах и разной степени нейротизма (см. рис. 5).

Итак, полученные в проведенной работе данные подтвердили выдвину-

тую гипотезу о том, что пространственно-временные характеристики моторных зон взаимосвязаны с индивидуальными особенностями личности работающего. Это указывает, что при организации движений, как и рабочей позы, должны учитываться не только традиционные биомеханические, анатомические, физиологические методы, но и психологические факторы. Причем психологический подход должен стать рядом с основным подходом в изучении моторного пространства.

На основании анализа полученных результатов можно сказать, что быстрые и точные движения, не требующие напряженности зрительного анализатора (нажимы клавиш, кнопок, перемещение электродов и т. д.), в комфортной зоне моторного поля целесообразно организовать определенное время: в среднем 15–18 мин при работе сидя и 9–13 мин при работе стоя. По истечении этого времени целесообразно организовать изменение положения руки и туловища так, чтобы обеспечить равномерность распределения напряженности мышц. В дискомфортном моторном пространстве выполнять вышеупомянутые движения целесообразно не более 10 мин сидя и 7 мин стоя. Для эмоционально неустойчивых лиц значения будут ниже в среднем в 0,7 раза.

В дальнейшем представляется интересным изучение временных параметров для остальных зон моторного поля.

Надо отметить, что психологическое исследование характеристик моторного пространства относительно траектории и амплитуды движения, их темпа и ритма остается перспективным. Это позволит как бы „психологически“ оптимизировать организацию движений, а вместе с тем и усовершенствовать деятельность оператора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антропометрический атлас: Методические рекомендации. — М., 1977.
2. Ванагене Е. Л. Натурные и лабораторные исследования рабочих поз в моделировании рабочего места электросварщика. — В кн.: Методы и технические средства предпроектного эргономического моделирования: Методическое пособие. М., 1983.
3. Ванагене Е. Л. Об использовании субъективных методов при оценке рабочей позы. — Техническая эстетика, 1982, № 1.
4. Ванагене Е. Л., Рубажявичене М. С. Моделирование на уровне опорных плоскостей. — В кн.: Методы и технические средства предпроектного эргономического моделирования: Методическое пособие. М., 1983.
5. Деревянко Е. А. К вопросу о количественной (постадийной) оценке утомления летного состава. — В кн.: Авиационная и космическая медицина. М.: Медицина, 1963, с. 153–157.
6. Деревянко Е. А. Взаимоотношения между некоторыми физиологическими и психологическими факторами при развитии утомления в процессе трудовой деятельности: Тезисы докладов на I съезда Общества психологов. — М., 1959.
7. Зефельд В. В., Мунипов В. М., Чернышева О. Н. Предпроектное эргономическое моделирование: Методическое пособие. — М., 1980.
8. Зинченко В. П., Мунипов В. М., Смолян Г. Л. Эргономические основы организации труда. — М.: Экономика, 1974.
9. Зинченко В. П., Мунипов В. М. Основы эргономики. — М.: Изд-во МГУ, 1979.
10. Зинченко В. П., Леонова А. Б., Стрелков Ю. К. Психометрика утомления. — М.: Изд-во МГУ, 1977.

11. **Интегральная** оценка работоспособности при умственном и физическом труде: Методические рекомендации. — М.: Экономика, 1976.

12. **Bartlett F. C.** Psychological criteria of fatigue. — In: Symposium on Fatigue/Eds. Floyd W. F., Welfort A. T. London, 1953.

13. **Grandjean E. P.** Fatigue: its psychological significance. — Ergonomics, 1968, vol. 11.

14. **Joshitake H.** Relations between the symptoms and feelings of fatigue. — Ergonomics, 1971, vol. 14.

15. **Kinsman R. A., Weiser P. C., Staniper D. A.** Multidimensional analysis of subjective symptomology during prolonged strenuous exercise. — Ergonomics, 1973.

16. **Mc Farland R. A.** Understanding of fatigue in modern life. — Ergonomics, 1971, vol. 14, p. 1—10.

17. **Lloyd A. J., Ward J. A., Thiemon T. J.** Subjective and electromyographic assessment of isometric muscle contractions. — Ergonomics, 1971, vol. 13.

Вильнюсский государственный
университет им. В. Капсукаса
Лаборатория специальной психологии

Получено
19.01.1984

OPERATORIAUS MOTORINIŲ VEIKSMŲ ERDVĖS LAIKINIŲ CHARAKTERISTIŲ TYRIMAS

I. V a n a g i e n ė

Reziūmė

Tyrimas buvo atliekamas psichologiniu aspektu, o ne tradiciniais, anatomiciais biocheminiais metodais, taikomais judesių, pozų analizei. Gauta naujų duomenų, teikiančių galimybę optimizuoti žmogaus veiklą. Tirtos 2 motorinės zonos („komfortinė“ ir „diskomfortinė“). Tiriameji atliko elementarius koordinuotus judesius stovėdami ir sėdėdami. Subjektyviu skalių metodu buvo nustatyta nuovargio požymių atsiradimo, laiko ir judesių tikslumo priklausomybė nuo užduoties trukmės. Matavimams panaudotas eksperimentinis stendas. Darbe parodyta nuovargio laiko ir judesių efektyvumo priklausomybė nuo asmenybės individualių savybių. Gauta histograma, kuri parodo efektyvaus darbo trukmę atliekant koordinuotus judesius.

OPERATOR'S MOTOR SPACE TEMPORAL CHARACTERISTICS

I. V a n a g i e n ė

Summary

The investigation was carried out by using psychological, not traditional anatomical and biomechanical methods. Therefore new data were obtained for further examination of working comfort. Two motor areas were studied: „comfortable“ and „discomfortable“. The study involved the performance of rapid and exact movements in the above motor areas. The subjects were tested in sitting and standing postures until they were sensible to fatigue and pain in some parts of the body. The changes in the accuracy of movements in the course of certain time, as well as the subjective judgements on fatigue and pain were measured. The analysis of the data showed that the motor space comfort and the posture were not the only factors relevant to the efficiency of the movements. Correlations were found between the person's temper and the changes in the efficiency of movements in the course of certain time. The fatigue time also depends on the personality.

In this paper diagrams are presented in which the fatigue time and the efficiency of rapid, exact hand movements has been shown.