Доклады Академии наук СССР
1955. Том 104, № 4

ФИЗИОЛОГИЯ

Р. С. ПЕРСОН

УСЛОВНОРЕФЛЕКТОРНАЯ ПРИРОДА РЕЦИПРОКНЫХ ОТНОШЕНИЙ МЫШЦ-АНТАГОНИСТОВ В ЕСТЕСТВЕННЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ АКТАХ ЧЕЛОВЕКА

(Представлено академиком К. М. Быковым 28 IV 1955)

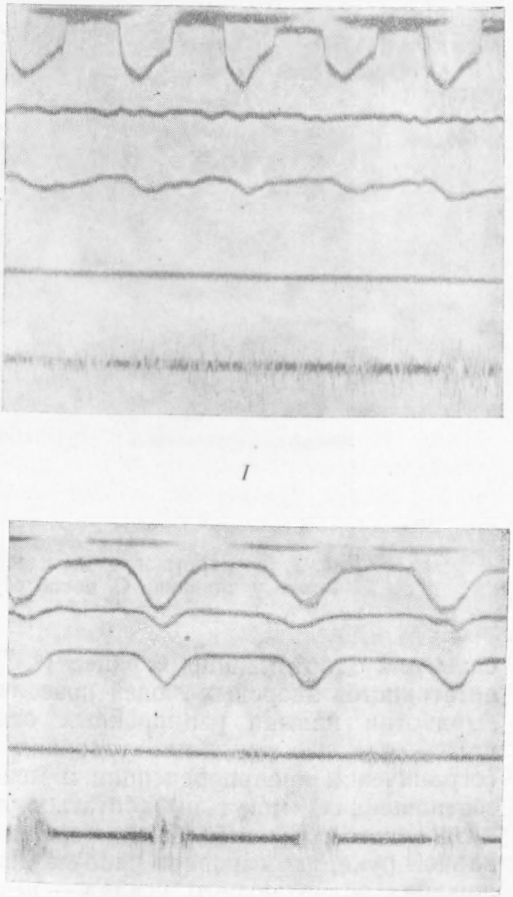
Плодотворное изучение физиологических механизмов координации движений стало возможным лишь после открытия Сеченовым центрального торможения. Первым указанием на наличие в деятельности мышц отношений, названных позднее реципрокными, явилась работа П. А. Спиро ([1]), выполненная на специальной лягушке. Н. Е. Введенский ([2])в 1896 г. открыл эти отношения в коре мозга теплокровного животного. В дальнейшем, после обстоятельных работ Шеррингтона ([3]) на спинальных и децеребрированных животных, общепринятой стала та точка зрения, что реципрокные отношения обусловлены врожденными соотношениями возбуждения и торможения в спинном мозге. Однако в последнее время как общее развитие физиологической мысли, так и специальные исследования все больше приближают нас к представлениям о кортикальном механизме реципрокных отношений. Важнейшее значение для понимания механизма двигательных актов имело открытие Павловым условных рефлексов и создание представлений о двигательном анализаторе. Исследования Э. А. Асратяна ([4]) показали ведущую роль коры больших полушарий в восстановлении координированных движений при тех или иных нарушениях периферических и центральных частей опорно-двигательного аппарата. Непосредственно вопросу реципрокных отношений посвящены работы Ю. М. Уфлянда ([5]), показавшего методом электромиографии как у человека и животных при хирургическом вмешательстве — пересадке мышц — происходит их «переучивание»: (бывшие синергисты начинают функционировать как антагонисты). Встает вопрос: какова природа реципрокных отношений мышц при осуществлении человеком естественных двигательных актов?

Мы попытались ответить на этот вопрос, исследовав электромиографически изменения координационных отношений двуглавой и трехглавой мышц плеча в процессе обучения трудовому движению — опиловке. Одновременно с электромиограммой (ЭМГ) регистрировались при помощи вмонтированных в напильник тензодатчиков развиваемые правой и левой рукой усилия (методика тензометрии при опиловке разработана Л. А. Радушинским). Исследованы трое здоровых испытуемых и пять инвалидов с ампутацией одной руки на уровне предплечья (протезированные). Обучение опиловке производилось в экспериментальных мастерских ЦИЭТИН, а электромиографические исследования — в физиологической лаборатории Института, где было оборудовано специальное рабочее место. Срок обучения — от 2 недель до 1,5 мес.

У здоровых испытуемых до обучения наблюдается неравномерность, неправильность движений при опиловке. Тензограммы свидетельствуют (рис. 1, *I*) о нестандартности отдельных рабочих циклов, непроизводительной затрате усилий, например давлении левой руки на конец напиль-

ника при движении его назад (у других испытуемых часто наблюдается значительное боковое давление правой руки). Весьма характерен толчкообразный характер усилий. После обучения все эти явления исчезают, движения становятся плавными, усилия прилагаются адэкватно задаче движения (рис. 1, *II*).

Наибольший интерес представляют изменения ЭМГ в процессе обучения. До обучения (рис. 1, *I*), несмотря на циклический характер движений при опиловке — чередование сгибания и разгибания предплечья, на ЭМГ сгибателя и разгибателя предплечья наблюдается почти непрерывная электрическая активность (с большей амплитудой биотоков у трехглавой мышцы плеча, так как она осуществляет движение с силовой нагрузкой). Сгибание и разгибание осуществляются за счет превалирования активности одной из мышц при одновременном возбуждении антагониста. После облучения (рис. 1, *II*) биотоки в ЭМГ группируются в относительно короткие залпы (во время осуществления соответствующего движения), чередующиеся с периодами покоя, причем выявляются ненаблюдавшиеся до облучения реципрокные отношения мышц-антагонистов. Не у всех испытуемых указанный процесс выявлен так ярко, как у испытуемого Б. В некоторых случаях и до облучения на ЭМГ трехглавой мышцы наблюдались залпы импульсов, однако они сильно растянуты, периодов полного покоя между ними обычно нет Во всех случаях в результате обучения движению происходит укорочение периода возбуждения каждой мышцы и выявление реципрокных отношений мышц-антагонистов.



I

II

Рис. 1. Электромиограммы и тензограммы, снятые у здорового испытуемого Б. при опиловке до (*I*) и после (*II*) обучения. Линии снизу вверх: время (сек.); усилие правой руки, направленное вперед; боковое усилие правой руки; усилие левой руки, направленное вниз; ЭМГ двуглавой мышцы плеча; ЭМГ трехглавой мышцы плеча

У инвалидов до обучения тензограммы свидетельствуют о несколько более выраженной дискоординации движений, чем у здоровых необученных испытуемых, при том же характере электрической активности мышц. В результате обучения инвалидов (рис. 2) движения по их внешней картине — динамике приложения усилий — становятся почти неотличимыми от движений здоровых обученных испытуемых (сохраняется лишь нерезко выраженная толчкообразность). Однако внутренняя структура движений у инвалидов имеет ряд отличий. На неповрежденной руке инвалидов процесс сокращения времени возбуждения мышцы не заходит так далеко, как у здоровых испытуемых, в результате чего

четкие реципрокные отношения мышц-антагонистов устанавливаются далеко не всегда, а залпы импульсов, в тех случаях, когда они формируются, сильно растянуты. На протезированной руке в результате обучения вместо реципрокных отношений вырабатывается такая координация, при которой одновременно с залпами трехглавой мышцы возникают залпы импульсов в двуглавой мышце (рис. 2).

Сокращение времени возбуждения мышцы при выработке двигательного навыка, появление при этом в ЭМГ периодов покоя были опи-

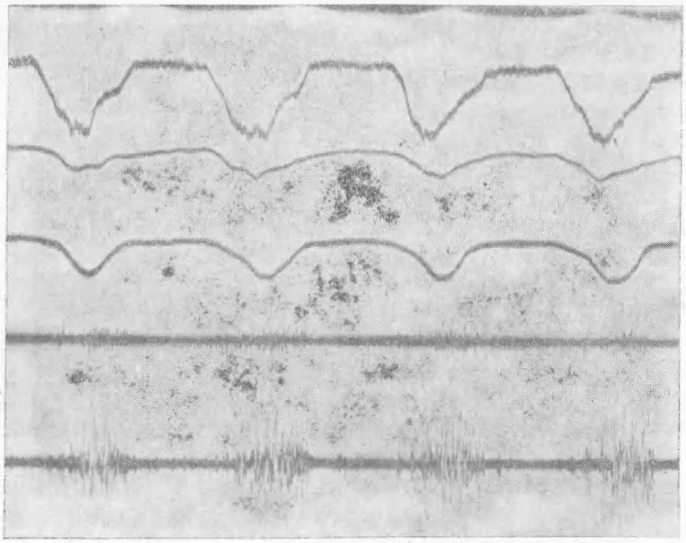


Рис. 2. Электромиограммы и тензограммы, снятые при опиловке у инвалида С. после обучения. Обозначения те же

саны для одной мышцы и ранее ([6], [7]). Сопоставление ЭМГ двух мышц-антагонистов здоровых людей позволяет выявить становление в процессе выработки навыка реципрокных отношений. Исследование инвалидов показывает, что при иных условиях осуществления того же движения (ограничении проприорецепции и менее благоприятных биомеханических соотношениях) могут выработаться и другие взаимоотношения мышц-антагонистов. В наибольшей степени это выражено на самой протезированной руке, где основное рабочее движение, требующее точности и приложения значительного усилия,— перемещение напильника вперед осуществляется при активном участии антагониста. Это парадоксальное явление представляет собой, вероятно, компенсаторный акт, дающий возможность обученному инвалиду осуществлять движение с необходимой точностью.

Таким образом, реципрокные отношения мышц-антагонистов при опиловке вырабатываются в процессе обучения. Из этого, конечно, не следует, что всякое движение в результате обучения должно нормально совершаться при реципрокных отношениях мышц-антагонистов. Напротив, хорошо известно, что антагонисты в ряде движений могут функционировать как синергисты. Однако полученные данные дают основание полагать, что в тех случаях естественных движений, когда реципрокные отношения наблюдаются, они являются результатом выработки соответствующих двигательных стереотипов в раннем или позднем онтогенезе. В частности, нами в настоящее время получены данные о том, что в процессе обучения рубке зубилом (движению, по своему характеру резко отличному от опиловки) также наблюдается вышеописанное явление: реци-

прокные отношения мышц-антагонистов устанавливаются лишь по мере развития двигательного навыка. Задача дальнейших исследований — установить формы взаимодействия кортикальных и спинальных механизмов в осуществлении естественных движений у высших животных и человека.

Поступило
7 IV 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] П. А. Спиро, Военно-медиц журнал, 110, 3, 79 (1871). [2] Н. Е. Введенский, Журнал Русск. общ. охранения нар. здравия, 1 (1897). [3] C. S. Sherrington, The integrative action of the nervous system, 1906. [4] Э. А. Асратян, Физиология центральной нервной системы, 1953. [5] Ю. М. Уфлянд, Физиол. журн. СССР, 38, 2 (1952). [6] М. Киселев, М. Маршак, Физиол. журн. СССР, 18, 2 (1935). [7] Д. Г. Квасов, Физиол. журн. СССР, 38, 4 (1952).