

А. И. РОЙТБАК, Ц. М. ДЕДАБРИШВИЛИ, И. К. ГОЦИРИДЗЕ

ВОЛНА ОЖИДАНИЯ (Е-ВОЛНА) ПРИ МЫШЕЧНОМ УТОМЛЕНИИ

В опытах Уолтера и др. [4—7, 16] испытуемому предъявлялись два следующих друг за другом стимула — щелчок и через секунду вспышка света. Когда раздражители становились ассоциированными с моторным актом, то в период между стимулами развивалась электроотрицательность обширной территории коры, включающей лобную ассоциационную, моторную и соматосенсорную области; иначе говоря, Е-волна возникает в ответ на предупредительный сигнал C_1 и длится до пускового сигнала C_2 . Типичной постановкой опыта, при которой возникает Е-волна, является определение простого времени реакции. Е-волна имеет четкую корреляцию с временем реакции: время реакции возрастает при уменьшении амплитуды ее [9]. Увеличение силы, требуемой для выполнения движения после пускового стимула, приводит к увеличению Е-волны [11]. У некоторых молодых людей она может появляться только в ситуациях, которые содержат элемент соревнования [5]. В исследовании Е-волны, проведенном с использованием радиотелеметрии, показано, что она многообразно связана с выполнением естественных актов и решений у свободно действующих людей, например в условиях спортивной деятельности [16].

В настоящее время еще отсутствуют точные сведения о распределении Е-волны в мозге, ее скрытом периоде и о ситуациях, при которых она развивается. Предполагается, что в период $C_1—C_2$ субъект ожидает второго стимула [4, 16]; что субъект в это время готовится к ответу [10]; что произвольному движению предшествует «моторный потенциал», сходный с Е-волной [14]. В опытах на обезьянах [8] получены данные о распределении по коре медленного отрицательного потенциала, связанного с двигательным актом, но они не могут быть безоговорочно перенесены на человека.

В наших ЭЭГ исследованиях были выявлены закономерно возникающие изменения роландического ритма и затылочного альфа-ритма при выполнении мышечной работы, в частности, в связи с развитием утомления [2, 3]. Целью настоящего исследования было использовать Е-волну как показатель изменений деятельности и функционального состояния коркового конца двигательного анализатора в связи с развитием процесса утомления при работе на велоэргометре.

Испытуемыми были учащиеся спортшколы и молодые люди, не занимающиеся спортом. Из 30 человек было отобрано 10, у которых Е-волна была выражена в чернильной записи. «Активный» отводящий электрод приклеивался коллодием над областью коры соответственно соматомоторному представителю руки, т. е. на расстоянии 2—3 см от средней линии [2]; «индифферентный» электрод помещался на сосцевидном отростке. Отводящие электроды располагались слева. Испытуемый сидел в кресле, опыты проводились в лабораторной комнате. Сигналом C_1 («Приготовиться!») служило выключение звука динамика, на который подавался ток 50 гц, сигналом C_2 («Марш!») служило включение звука; после этого испытуемый как можно быстрее нажимал кнопку. Чтобы приблизиться к условиям спортивных соревнований, интервал $C_1—C_2$ не был строго фиксированным: C_2 давался через 1—3 сек после C_1 , но чаще через 1—1,5 сек. С записи на бумаге кривые переносились на кальку, момент C_1 строго совмещался; накладывалось обычно 6 записей. Интервалы между отдельными пробами были не менее 20 сек. Для усиления Е-волны служил усилитель БУ-1, он был соединен с оконечным каскадом электроэнцефалографа «Альвар»; путем изменений в схеме чувствительность установки получилась равной 5 мкв на 1 мм при записи на бумаге; постоянная времени канала 1,5 сек. Одновременно регистрировались ЭКГ и дыхательные движения грудной клетки. До работы производилось до 10 записей Е-волны. Затем испытуемый пересаживался на велоэргометр и работал то или иное время. Был использован велоэргометр «Монарх»; обычно при нагрузке на педаль 2 кг испытуемый удерживал показание спидометра 40 км, совершая 90 оборотов в 1 мин. Затем он вновь садился в кресло, и в разные моменты времени по прекращении работы производились записи Е-волны.

Е-волна была ясно выражена при чернильной записи примерно у 25% обследованных нами лиц, что соответствует литературным данным [13]. Регистрировавшиеся нами волны совпадали по своим характеристикам с Е-волной: их латентный период составлял 400—450 мсек, амплитуда не превышала 50 мкв. Отводимый потенциал носил одинаковый характер в случае регистрации при открытых глазах с фиксацией взгляда на светящейся лампочке и при закрытых глазах (рис. 1, А, Б). При закрытых глазах Е-волна имела большую амплитуду, чем при открытых (50 мкв и 35 мкв соответственно). Эти сравнительные опыты имеют большое значение для выяснения доли примешивания электрического поля, генерируемого в связи с произвольными движениями глаз, которые исключаются в значительной мере при фиксации взгляда [9, 13]. Увеличение амплитуды Е-волны при закрытых глазах может быть следствием ее суммации с электрическим полем от движения глаз; но, с другой стороны, оно может быть связано с разным характером ЭЭГ при закрытых и открытых глазах. На записях А и Б рис. 1 видно, что в первом случае в ЭЭГ доминировали медленные волны. Если признать, что Е-волна обусловлена активированием дендритного сплетения поверхностных слоев коры [4], или если признать, что она обусловлена активированием нейрологии [1], то уровень мембранного потенциала дендритов или нейроглиальных клеток должен определять ее амплитуду: при усиленной импульсации из ретикулярной формации ствола мозга—при открытых глазах—она должна уменьшаться [ср. 13].

В наших записях в ходе длительных опытов Е-волны ослабевали и начинали возникать нерегулярно. Это соответствует описанному в ли-

температуре факту быстрого угасания Е-волн у детей, а также у взрослых из-за «утомления» от частых проб.

Как уже говорилось, мы изучали влияние точно дозируемой по мощности работы на велоэргометре той или иной продолжительности на Е-волну.

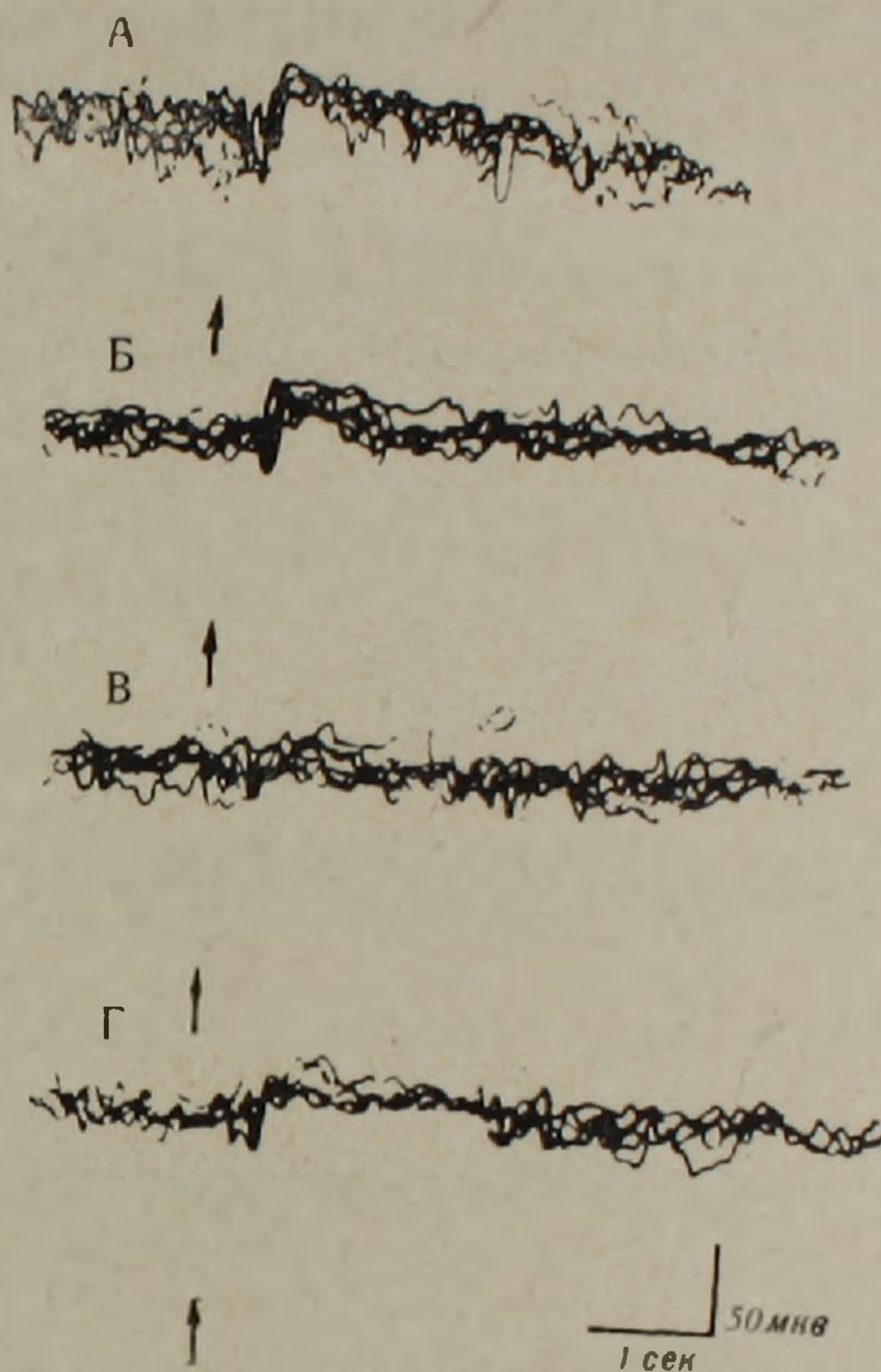


Рис. 1. Испытуемый В; спринтер. А—28.10.71. Опыт при закрытых глазах. Наложение 6 записей Е-волны. Отклонение вверх—отрицательность. Стрелкой обозначен момент предупредительного сигнала C_1 . C_2 и двигательная реакция осуществлялись в промежутке 1,0—1,5 сек после C_1 . Б—23.10.71. Опыт при открытых глазах, остальные обозначения те же. В—через 2—4 мин после прекращения работы на велоэргометре, работа длилась 1 мин 15 сек. Г—через 4—8 мин по прекращении работы (наложение 5 записей). Подробности см. в тексте.

Работа небольшой продолжительности, не приводящая к развитию утомления—ни по объективному показателю сохранения неизменного темпа работы, ни по субъективным показаниям,—могла привести к увеличению амплитуды Е-волны или к лучшей выраженности ее. Явление увеличения Е-волны иногда проявлялось после какой-либо двигательной активности испытуемого, например, после нескольких минут сидения без работы на велоэргометре.

После утомительной работы на велоэргометре, как правило, происходило угнетение Е-волны; это—основной фактический выход нашего исследования (рис. 1, 2).

В опыте, записи которого приведены на рис. 1, испытуемый сидел с открытыми глазами и фиксировал взгляд на неоновой лампочке. В сле-

дующих друг за другом пробах интервал $C_1—C_2$ был непостоянным—от 1,2 до 3 сек; в ответ на C_2 испытуемый нажимал на ключ. Между C_1 и C_2 возникала четко выраженная Е-волна, средняя амплитуда которой равнялась 35 мкв (рис. 1, Б). После 1 мин 15 сек работы, приведшей к ясно выраженному утомлению, Е-волна в течение 4-х мин или не возникала, или, если и возникала, амплитуда ее не превышала 10 мкв (рис. 1, В). В период 4—8 мин по прекращении работы (рис. 1, Г) она почти достигала исходной величины.

В опытах на другом испытуемом, записи которых приведены на рис. 2, видно, что Е-волна достигала пика значительно позже, чем в предыдущем случае. Таким образом, мы столкнулись с двумя типами Е-волны—«быстрым» и «медленным» — о чем сообщалось другими авторами [12]. После 1 мин работы Е-волна в течение 7 мин была угнетена, степень угнетения была несколько меньшей, чем в предыдущем случае (рис. 2, Б); но даже через 14—18 мин по прекращении работы она не достигала исходной величины (рис. 2, В).

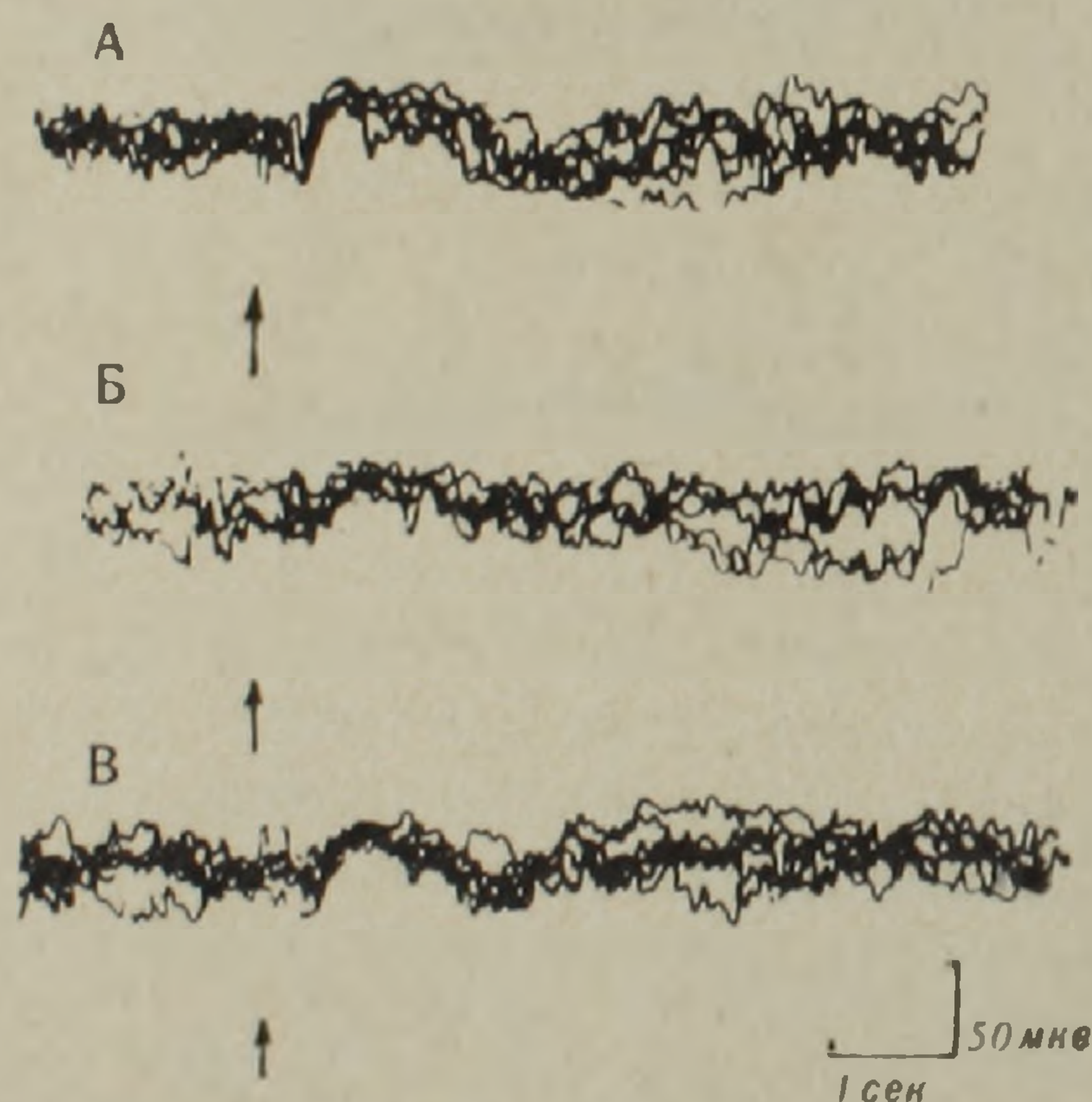


Рис. 2. Испытуемый М, не спортсмен. Опыт при закрытых глазах. А—до работы. Б—3—7 мин после 1 мин работы. В—14—18 мин после работы. Остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

Длительность угнетения Е-волны после утомительной работы была тем больше, чем утомительнее была работа. Так, у испытуемого В (записи Е-волн на нем показаны на рис. 1) после 1 мин работы она была угнетена в течение 4 мин; после 1,5 мин работы—7 мин; после 2,5 мин работы—13 мин; после 3 мин работы—17 мин. Е-волна начинала восстанавливаться в период, когда глубина дыхания и частота сердцебиений еще не достигали исходного уровня.

Результаты наших опытов свидетельствуют о том, что Е-волна является более тонким показателем утомления коркового конца двигательного анализатора, чем фоновая электрическая активность, т. е. обычная ЭЭГ. Опыты с регистрацией Е-волны у спортсменов в условиях спортив-

ной деятельности и в лабораторных условиях сулят большие возможности получения новой информации о механизме осуществления произвольных движений, тренированности, способностей к тому или иному виду спорта и др.

Таким образом, работа на велоэргометре строго определенной интенсивности, производившаяся до той или иной степени утомления, вызывала, как правило, угнетение Е-волны. Длительность угнетения была тем большей, чем утомительнее была работа, т. е. чем дольше она длилась. Е-волна начинала восстанавливаться в период, когда глубина дыхания и частота сердцебиений еще не достигали исходного уровня. Работа на велоэргометре малой продолжительности, при которой не развивалось утомление, могла приводить к лучшей выраженности Е-волны.

Грузинский научно-исследовательский институт
физической культуры

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ройтбак А. И. В кн.: Материалы VI Всес. конф. по электрофизиологии центральной нервной системы. 223. Л., 1971.
2. Ройтбак А. И., Дедабришвили Ц. М., Гоциридзе И. К. Проблемы физиологии спорта, М., 2, 100, 1960.
3. Ройтбак А. И., Таварткиладзе Б. В. Теория и практика физической культуры, 17, 35, 1954.
4. Уолтер Г. В. В кн.: Рефлексы головного мозга. 365, М., 1965.
5. Уолтер Г. В. Живой мозг. М., 1966.
6. Уолтер Г. В. В кн.: Глубокие структуры головного мозга человека в норме и патологии. 164, М.—Л., 1966.
7. Уолтер Г. В. В кн.: Проблемы динамической локализации функций мозга. 194, М., 1968.
8. Donchin E., Otto D., Gerbrandt L. K., Pribram K. H. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 31, 115, 1971.
9. Hillyard S. A., Galambos R. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 22, 297, 1967.
10. Kornhuber H. H., Deeke L. *Pflügers Arch. ges. Physiol.*, 284, 1, 1965.
11. Low M. D., McSherry J. W. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 25, 203, 1968.
12. Tecce J. J. In: *Attention—Contemporary Theory and Analysis*, N. Y., 331, 1970.
13. Tecce J. J. *Arch. Gen. Psychiat.*, 24, 1, 1971.
14. Vaughan H. G., Costa L. D., Ritter W. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 25, 1, 1968.
15. Walter W. G., Cooper R., Aldridge V. J., McCallum W. C., Winter A. L. *Nature*, 203, 380, 1964.
16. Walter W. G., Cooper R., Crow H. J., McCallum W. C., Warren W. J., Aldridge V. J., Storm van Leeuwen W., Kamp A. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* 23, 197, 1967.