

## WPŁYW PRACY JEDNYCH GRUP MIĘŚNIOWYCH NA PRACĘ INNYCH MIĘŚNI DRAŻNIONYCH PRĄDEM ELEKTRYCZNYM

Z Zakładu Fizjologii Pracy Akademii Medycznej w Warszawie

Kierownik: prof. dr Wł. Missiuro

i z Zakładu Fizjologii Człowieka Akademii Medycznej w Warszawie

Kierownik: prof. dr Fr. Czubalski

Zagadnieniem wpływu pracy jednych grup mięśni na pracę innych mięśni interesowano się głównie w związku ze zjawiskiem tzw. „czynnego wypoczynku“, opisanym po raz pierwszy przez *Seczenowa* w roku 1902, a następnie opracowywanym przez *Narikaszwili*, *Czachnaszwili* (1947), *Rozenblata* (1949), *Missiuro* (1938), *Kozłowskiego* (1952 i 1953) i innych. Zjawisko to polega na zwiększaniu skuteczności wypoczynku jednych mięśni przez wykonywanie w czasie jego trwania pracy przez zespoły ruchowe dotychczas w pracy nie zaangażowane. W dotychczasowych badaniach, dotyczących tego zagadnienia, zarówno praca „zasadnicza“, jak i „aktywująca wypoczynek“ wykonywane były przy udziale ruchów dowolnych.

W celu dokładniejszego nieco zbadania mechanizmu wpływu pracy jednych grup mięśni na pracę innych mięśni, oparliśmy się w przedstawionych poniżej doświadczeniach na metodzie stosowanej przez *Mosso* (1890) i *Maggiora* (1890). W metodzie tej pracę „zasadniczą“ stanowiły skurcze mięśnia drażnionego prądem elektrycznym, a więc wykonywane bez udziału impulsów z ośrodkowego układu nerwowego.

### METODYKA

Badania przeprowadzano na studentach A. W. F. i A. M. w wieku 20 — 23 lat. Drażniono mięsień powierzchowny zginacz palców prawej ręki przez skórę prądem indukcyjnym, umieszczając jedną elektrodę (bierną) na ramieniu, drugą zaś (czynną) w odpowiednim punkcie motorycznym na przedramieniu wg *Neoussikine* i *Abramowitscha*. Do drażnienia stosowano prąd indukcyjny przerywany (około 100 cykli/min). Napięcie akumulatora wynosiło 4 V, odstęp cewek w aparacie indukcyjnym typu „Cambridge“ — 9,5 cm. Częstość bodźców była regulowana przez metronom kontaktowy włączony w obwód cewki pierwotnej i wynosiła 32/min. Rękę prawą umocowano w ergografie typu *Mosso*, unieruchamiając 2. i 4. palce. Zgięcia wykonywał trzeci palec, unosząc przy tym ciężarek 0,5 kg. Praca lewej ręki polegała na rytmicznym podnoszeniu do wysokości barku ciężarka 2 kg. Rejestrowano na kimografii krzywą pracy 3 palca prawej ręki, czas drażnienia prądem, pracę lewej ręki oraz czas doświadczenia za pomocą chronometru *Jacqueta*.

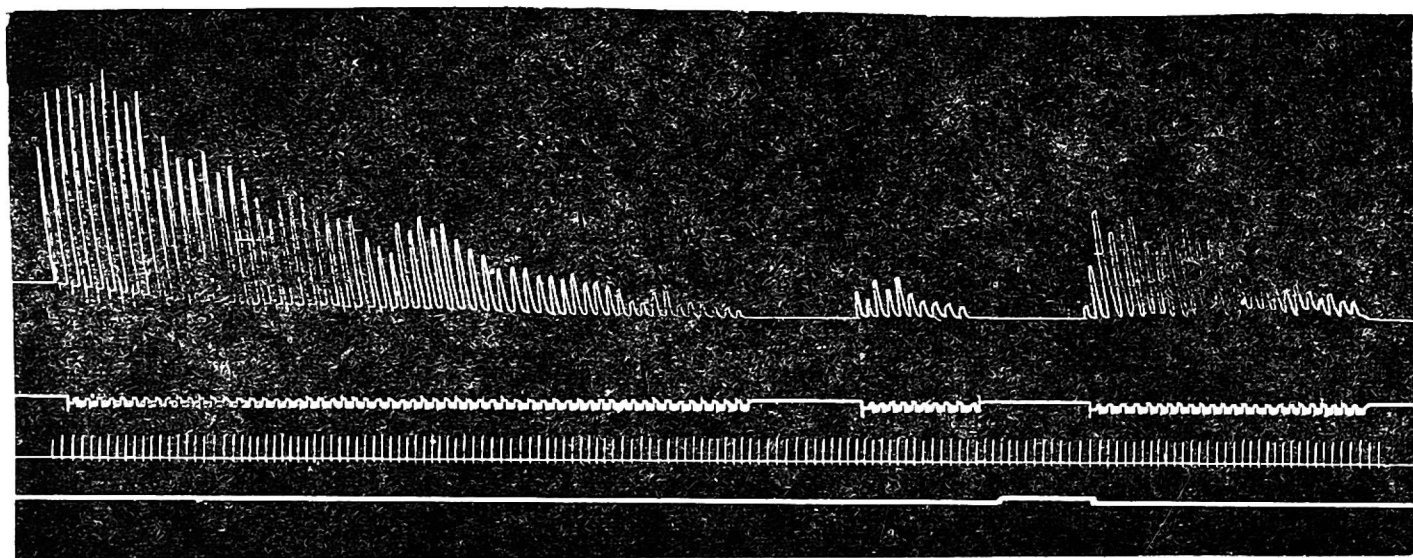
W niektórych doświadczeniach zamiast pracy dynamicznej lewej ręki stosowano pracę statyczną (naciąganie sprężyny), lub dynamiczną prawej,

lub lewej nogi. W innych doświadczeniach porównywano wpływ pracy biernej, polegającej na zginaniu przez prowadzącego doświadczenie ręki badanego z wpływem pracy czynnej, wykonywanej jak w poprzednich doświadczeniach. Kilku badanym wstrzyknięto domięśniowo po uprzednim wykonaniu doświadczenia kontrolnego — na godzinę przed powtórna pracą 0,001 dwuhydroergotaminy (DHE 45 Sandoz).

### WYNIKI

Wykonano 50 doświadczeń na 15 osobach. Na ogół starano się na jednej osobie wykonywać nie więcej niż 3 doświadczenia. Wskutek tego badani nie orientowali się w przebiegu doświadczenia.

1. W pierwszej serii doświadczeń badani w czasie przerwy w pracy mięśnia zginacza powierzchownego palców zmęczonego skurczami wywołanymi drażnieniem prądem elektrycznym, podnosili drugą ręką ciężarek 2 kg. Ryc. 1 ilustruje wyniki tej grupy obserwacji. Z porównania

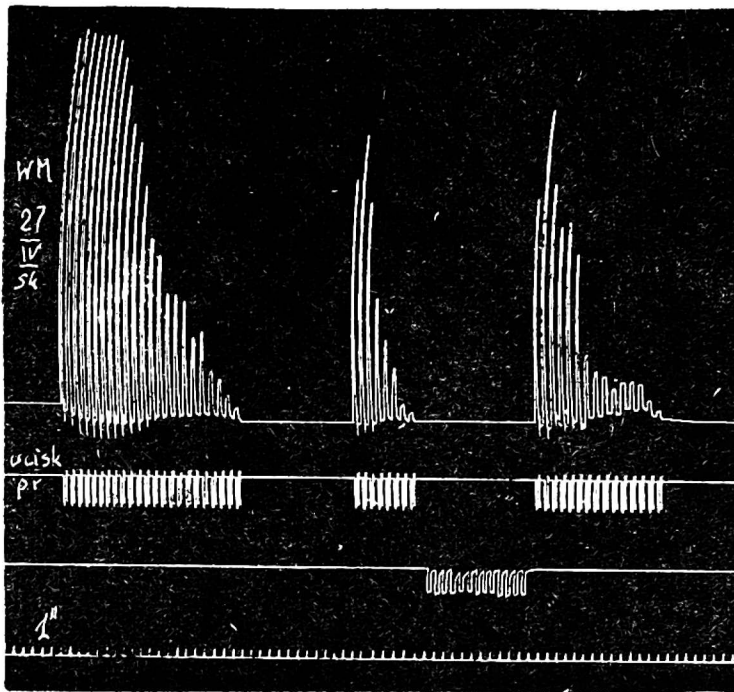


Ryc. 1. Wykres pracy 3-go palca prawej ręki, powodowanej skurczami m. pow. zgin. palców drażnionego prądem indukcyjnym. Od góry: 1) praca prawej ręki, 2) impulsy elektryczne, 3) czas 1", 4) praca lewej ręki

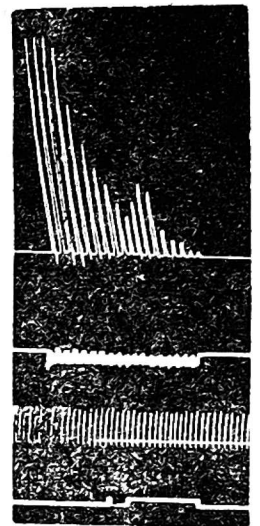
wielkości 3 ergogramów widać dość znaczne zwiększenie pracy mięśnia drażnionego prądem po przerwie, w czasie której pracowała druga ręka. Podobny efekt uzyskano po przerwie, w czasie której pracowała lewa lub prawa noga.

2. Dla wyłączenia ewentualnego udziału czynnika krążeniowego w mechanizmie tego zjawiska — wykonano drugą serię doświadczeń, w których w czasie całego doświadczenia uciskano ramię mankietem pneumatycznym tak, aby zatrzymać krążenie krwi w kończynie, której zginacz palców powierzchowny drażniono prądem. Również w tych warunkach wyniki doświadczeń były podobne do wyników pierwszej serii (ryc. 2), tj. praca mięśnia drażnionego prądem po przerwie wypełnionej pracą drugiej ręki była większa aniżeli po przerwie, w czasie której badany pozostawał całkowicie bierny ruchowo. Jednak porównanie wyników obu rodzajów doświadczeń wskazuje, że stopień zwiększenia pracy mięśnia drażnionego prądem po przerwie wypełnionej pracą drugiej ręki był mniejszy w warunkach niedokrwienia, niż przy zachowanym krążeniu krwi.

3. W dalszej serii doświadczeń zastosowano pracę drugiej ręki w czasie trwania pracy mięśnia drażnionego prądem (ryc. 3). Wystąpił, jak widać



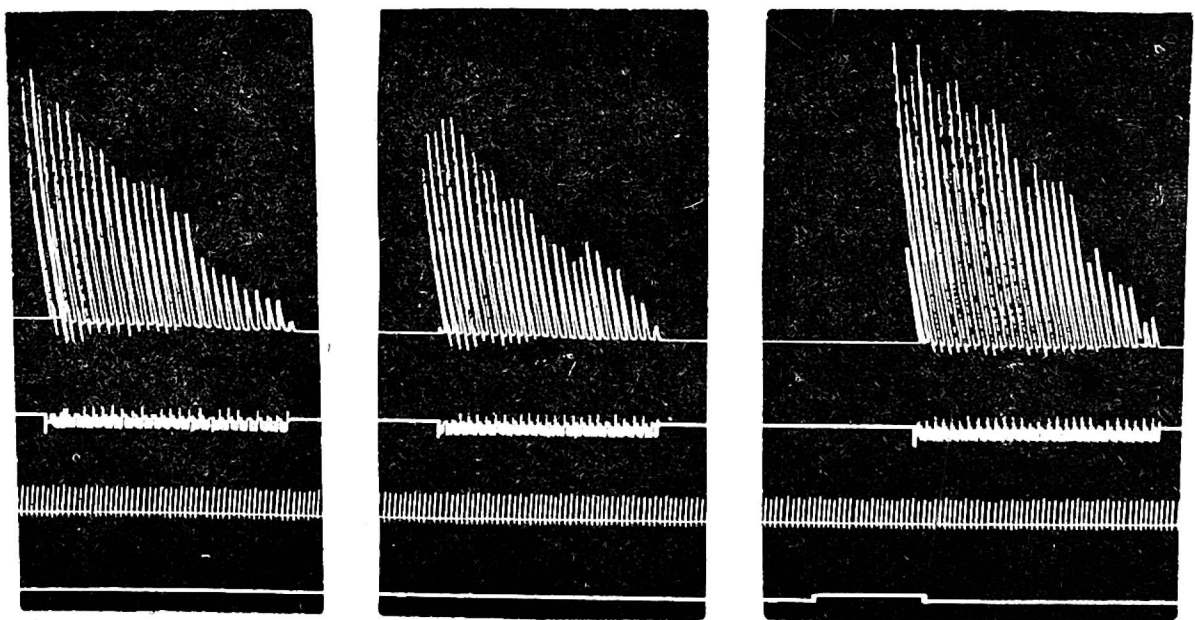
Ryc. 2. Dośw. jak na ryc. 1 z tą różnicą, że przez cały czas ścisano t. ramienną. Od góry: praca prawej ręki, 2) impulsy elektryczne, 3) praca lewej ręki, 4) czas 1''



Ryc. 3. Objasnienia jak na ryc. 1

na krzywej, po krótkim okresie utajenia wzrost amplitudy skurczów mięśnia drażnionego prądem elektrycznym. W opisywanych warunkach doświadczalnych występuje u badanych przyspieszenie czynności serca, podwyższenie ciśnienia krwi, zwiększenie częstości oddechów, co wskazuje na zwiększenie pobudzenia układu współczulnego i nasuwa sugestię łączenia mechanizmu wyników, otrzymanych w tej serii doświadczeń z mechanizmem podobnym do mechanizmów tzw. efektu *Oberliego-Ginecińskiego*.

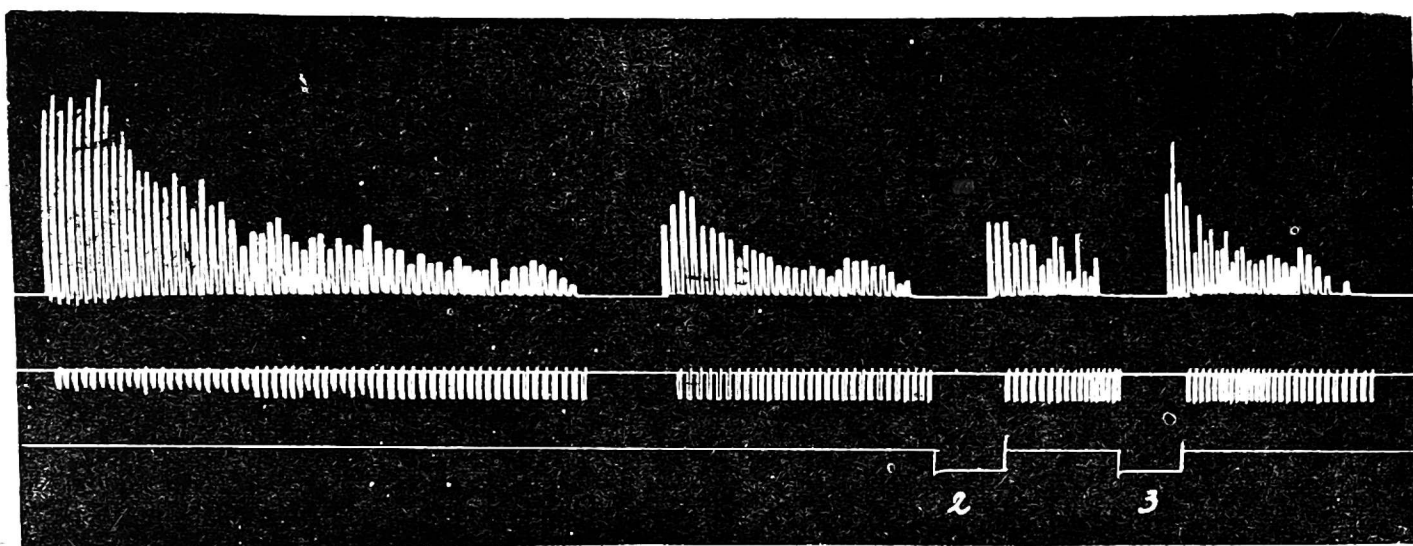
4. Zastosowanie pracy lewej ręki przed rozpoczęciem drażnienia prądem m. zginacza powierzchownego palców prawej ręki również wywołało



Ryc. 4. Trzy wykresy pracy prawej ręki, otrzymane po 10 min. przerwach. W okresie oznaczonym sygnałem dołączono pracę drugiej ręki. Układ jak na ryc. 1 zwiększenie pracy tego mięśnia (ryc. 4). Dwie pierwsze krzywe są ergogramami, uzyskanymi przez drażnienie mięśnia prądem, przy czym przerwa między jedną i drugą pracą trwała 10 min. Trzecia krzywa jest

wykresem pracy mięśnia w ten sam sposób drażnionego prądem, z tym, że przed tym drażnieniem zastosowano pracę lewej ręki. Praca tym razem była większa niż w dwu poprzednich przypadkach. Zatem praca mięśnia odbywająca się w warunkach, jak można przypuścić zwiększonego napięcia układu współczulnego jest większa, aniżeli praca w warunkach zwykłych.

5. Opisany powyżej tonizujący wpływ pracy jednych mięśni na pracę innych mięśni drażnionych prądem elektrycznym nie występuje, jeżeli zamiast pracy „czynnej“ lewej ręki stosować naśladowujące ją ruchy bierne (ryc. 5).



Ryc. 5. Wykres pracy 3-go palca prawej ręki. W okresie oznaczonym sygnałem (2) dołączono ruchy bierne lewej ręki, a (3) ruchy czynne. Od góry: 1) praca prawej ręki, 2) impulsy elektryczne, 3) praca lewej ręki

6. W ostatniej serii doświadczeń wstrzykiwano badanym domięśniowo 0,001 dwuhydroergotaminy na godzinę przed doświadczeniem. We wszystkich przypadkach ciśnienie tętnicze krwi spadło w ciągu tego czasu o 10—15 mm Hg. W ergogramach jednoznacznych różnic w porównaniu z ergogramami tych samych doświadczeń, ale przed wstrzyknięciem DHE — nie uzyskano. Można to jednak tłumaczyć tym, że zdaniem szeregu autorów dwuhydroergotamina, podobnie jak ergotamina (Beatier 1930) i ergotoksyna (Luco 1930) nie znosi działania adrenaliny i nerwów współczulnych na mięśnie.

#### OMÓWIENIE WYNIKÓW

Wyniki otrzymane w opisanych warunkach doświadczalnych wskazują na to, że praca jednych grup mięśni zwiększa zdolność do pracy innych mięśni zarówno wypoczywających po serii skurczów, wywołanych drażnieniem prądem elektrycznym, jak i pracujących, czy też pozostających w spoczynku. Ponieważ wpływ ten utrzymuje się także po zatrzymaniu krążenia krwi w badanych mięśniach, zachodzić musi on na drodze nerwowej. Wydaje się, że dzieje się to wskutek wpływów troficznych, wywieranych na mięsień za pośrednictwem układu współczulnego, pobudzonego w związku z pracą lewej (w naszych doświadczeniach) ręki.

Mechanizm adaptacyjno-troficznych wpływów układu współczulnego na mięśnie nie jest jeszcze całkowicie wyjaśniony. Obok niewątpliwego wpływu, jaki ma układ współczulny na przebieg procesów biochemicznych w mięśniach, Goffart (1952) wskazuje ostatnio na możliwość wpływu nerwów współczulnych na substancję kurczliwą mięśnia. Autor ten po-

wołuje się na koncepcję *Strauba, Feuera i Lajosa* (1948), wg której adrenalina ma zwiększać polimeryzację aktynu.

W doświadczeniach z zachowanym krążeniem krwi można jeszcze przypuścić wpływ na mięśnie adrenaliny wydzielanej przez nadnercza. Możliwość takiego wpływu stwierdzona została przez *Olivera i Schäfer'a*, (1895), *Grubera* (1914), *Czubalskiego* (1913), *Radwańską* (1910), *Brown, Bulbring i Burnes'a* (1948) i innych. Zaś fakt wzrostu poziomu adrenaliny we krwi podczas pracy mięśniowej stwierdzony został przez *Lehmana, Gunthera i Michaelisa* oraz *Eulera i Hellera* (1953) i in. Można tu również myśleć o działaniu tyroksyny „uczulającym“ mięśnie na działanie adrenaliny (*De Visser Gerbault i Foutenelle* 1951). Obydwa te związki wydzielane do krwi w zwiększonej ilości, a zwłaszcza adrenalina, podczas stosowanej w naszych doświadczeniach pracy mięśniowej, mogłyby się przyczyniać do rozwoju uzyskiwanego w opisywanych doświadczeniach efektu. W doświadczeniach z zachowanym krążeniem krwi niewątpliwie odgrywa pewną rolę odruchowe rozszerzenie naczyń krwionośnych w obrębie zmęczonego mięśnia, zachodzące podczas pracy innej kończyny i związany z nim lepszy dowóz materiałów odżywczych oraz usuwanie produktów przemiany. Dołączenie się tych czynników do przypuszczalnych wpływów pobudzenia układu wegetatywnego, o których była mowa wyżej, tłumaczyłoby fakt, że w doświadczeniach z zachowanym krążeniem wpływ pracy czynnej jednych grup mięśni na pracę innych mięśni, wywołaną drażnieniem ich prądem elektrycznym, jest większy, aniżeli w doświadczeniach, w których krążenie było wyłączone.

С. Козловски В. Романовски.

## ВЛИЯНИЕ РАБОТЫ ОДНИХ МЫШЕЧНЫХ ГРУПП НА РАБОТУ ДРУГИХ МЫШЦ ПРИ РАЗДРАЖЕНИИ ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

### С о д е р ж а н и е

Авторы исследовали с помощью эргографа Моссо влияние работы левой руки, состоящей в поднимании гирьки весом в 2 кгр на работу 3-го пальца правой руки, вызванную сокращением поверхностного сгибателя пальцев (*musc. flexor digitorum superficialis*), путем раздражения индукционным током. Работа левой руки производилась до, во время и в периоде отдыха — после раздражения мышцы электрическим током. В большинстве опытов сдавливалась правая плечевая артерия (*arteria brachialis*), таким образом, чтобы прервать кровообращение в этой конечности. Активная работа левой руки всегда увеличивала размах сокращения сгибателя пальцев, раздражаемого электрическим током, как во время исполнения ее в периоде отдыха (рис. 1), перед раздражением током (рис. 4), так и во время работы (рис. 3). Этот эффект оказывался больше, когда в конечности сохранялось кровообращение (рис. 1), чем тогда, когда кровообращение прерывалось (рис. 2). Пассивная работа левой руки, исполняемая таким образом, что производящий опыт сгибал руку исследуемого, не давала эффекта (рис. 5—2), между тем как активная работа увеличивала сокращения мышцы (рис. 5—3). Внутримышечное впрыскивание 0,001 дигидроэрготамина за час до опыта не уничтожало влияния активной работы на увеличение мышцы, раздражаемой током.

Авторы приписывают этот эффект влиянию возбужденной работой левой руки симпатической нервной системы на мышцу, раздражаемую током. Так как в описываемых опытах эффект получается при задержке кровообращения в исследуе-

мой конечности, механизм его происхождения состоит в непосредственном воздействии симпатических нервов на мышцу. При сохраненном кровообращении к этому еще присоединяется действие адреналина, который выделяется в повышенном количестве надпочечниками во время мышечной работы.

W. Romanowski and S. Kozłowski

## THE INFLUENCE OF THE WORK OF SOME MUSCULAR GROUPS UPON THE WORK OF OTHER MUSCLES STIMULATED WITH ELECTRIC CURRENT

### Summary

The authors investigate with the Mosso ergograph the influence of the work of the left hand, which consists in rising a 2 kg weight, upon the work of the middle finger of the right hand caused by the twitches of *musc. flexor digitorum superficialis* stimulated with the inductive electric current. The left hand was made to work before, during stimulation and also during the rest of the muscle which had been stimulated. In most cases the brachial artery was pressed with a pneumatic armlet so as to stop the blood circulation in the right arm. The active work of the left hand always increased the twitches of the stimulated muscle whether the work was being done before the stimulation with electric current (Fig. 4), during it (Fig. 3), or during the rest (Fig. 1). The effect was greater when the blood circulation was not hindered. (Fig. 1) than in case when it was (Fig. 2). The passive work of the left hand, when the hand of the examined person was being bent, gave no effect (Fig. 5/2) whereas the active work increased the twitches of the muscle (Fig. 5/3). Intramuscular injection of 0,001 of dihydroergotamine 1 hour before the experiment did not affect the influence of the active work upon the increase of the twitches of the stimulated muscle.

The authors think the effect is being caused by the activity of the sympathetic system, stimulated during the work of the left hand, influencing the muscle stimulated with the electric current. Since the effect appears when the circulation in the examined extremity is hindered — its mechanism consists in a direct influence of the sympathetic nerves upon the muscle. In a case when the blood circulation is not hindered, the influence of blood adrenaline upon the muscle appears also.

### PIŚMIENNICTWO

1. *Beatier A. M.*: Am. Journ. of Physiol. 1930, 93, 41—56. — 2. *Brown G. L., Bulbring E., Burns B. D.*: J. of Physiol. 1948, 107, 115—128. — 3. *Czubalski Fr.*: Rozpr. W. Mat. Przyr. Ak. Um. w Krakowie 1913, S. B. 53, 101—113. — 4. *Euler U. S., Heller S.*: Acta Physiol. Scand. 1952, 26, 183—191. — 5. *Goffart M.*: Arch. Int. de Physiol. 1952, 60, 318—418. — 6. *Gruber Ch. M.*: Am. Journ. of Physiol. 1914, 33, 335—355. — 7. *Kozłowski St.*: Acta Physiol. Pol. 1952, 3, 85—92. — 8. *Kozłowski St.*: Acta Physiol. Pol. 1952, Supl. 84—90. — 9. *Lehman, Gunther, Michaelis*: Arbeitsphysiologie 1943, 12/1, 3, 4. — 10. *Luco J. V.*: Am. J. of Physiol. 1939, 125, 196—204. — 11. *Maggiore A.*: Arch. f. Physiol. 1890, 3/4, 191—243. — 12. *Missiuro Wł.*: Przegl. Fizjol. Ruchu 1936/37, 1/2, 149. — 13. *Mosso A.*: Arch. f. Physiol. 1890, 1/2, 89—168. — 14. *Narikaszwili S. P., Czachanaszwili Sz. A.*: Biull. Eksp. Biol. Med. 1947, 24, 97—100. — 15. *Neoussikine, Abramowitsch*: „Elektrodiagnostik“ Wien, 1947. — 16. *Oliver, Schäfer*: J. of Physiol. 1895, 18, 263. — 17. *Radwańska A.*: Rozpr. W. Mat. Przyr. Akad. Um. w Krakowie 1910, S. B. 50. — 18. *Rozenblat W. W.*: Teoria i Praktyka Fiz. Kult. 1949, 10, 733—740. — 19. *Seczenow I.*: „Selected Works“ Moskwa 1935. — 20. *Straub F. B., Feuer G., Lajos I.*: Nature 1948, 162, 217—218. — 21. *Visscher M., Gerbault J., Fontelle E.*: Ann. d'Endocrin. 1951, 12, 1119—1121.