

Вплив припинення кровообігу на біоелектричні струми стомленого м'яза людини

О. Б. Фельдман, Ж. М. Нетяхата, М. О. Серебров

Кафедра нормальної фізіології Донецького медичного інституту ім. О. М. Горького

У 1927 р. в лабораторії академіка В. Н. Данилевського І. М. Журавльов і О. Б. Фельдман встановили, що при стомленні м'язів людини, яка працює на ергографі Моссо перерва в роботі з припиненням кровопостачання м'яза під час цієї перерви («пауза без кровообігу») не призводить до збільшення висоти скорочення стомленого м'яза. З цього автори зробили висновок, що зменшення розміру м'язового скорочення під час стомливої роботи (обмеженої групи м'язів) не є наслідком центрального стомлення.

Я. О. Шейдін (1949) підтвердив дані І. М. Журавльова й О. Б. Фельдмана з тією різницею, що в деякій частині дослідів після паузи скорочення були ще менші, ніж перед паузою. Є ряд праць, в яких встановлено прискорений розвиток втоми м'яза під час обмеження його кровопостачання. Проте, оскільки нам відомо, автори цих праць не ставили дослідів з припиненням кровообігу саме під час перерви в роботі стомленого м'яза. Водночас є дослідження (Піпер, 1909; Альтенбургер, 1924; М. В. Лейнік, 1940; Р. С. Персон, 1960; Р. С. Персон і К. Голубович, 1960), в яких при стомливій м'язовій роботі виявлено зменшення частоти біоелектричних струмів м'яза.

В зв'язку з цим виникає питання про вплив паузи без кровообігу на біоелектричні струми при м'язовій втомі. З'ясування цього питання могло б допомогти уточнити взаємовідношення між змінами центрального імпульсу і м'язового скорочення при втомі, яка настає в результаті м'язової роботи.

Методика досліджень

Біоелектричні струми відводили від м'яза — ліктьового згинача пальців правої руки через шкіру за допомогою пластинчатих електродів з нержавіючої сталі діаметром 8 мм; міжполюсна відстань — 20 мм; електроди фіксували на руці гумовою стрічкою. М'язова робота провадилась на ергографі М. В. Лейніка. Вона полягала в розтягуванні пружини ергографа згинанням середнього пальця правої руки. Оскільки пружина розтягувалась до 10—15 мм і напруження її при цьому збільшувалось, скорочення м'яза було ауксотонічного характеру. Довільне скорочення м'яза здійснювалось досліджуваною особою з максимальним зусиллям при частоті 60 на хвилину (у ритмі ударів метронома: на один удар — скорочення, на другий — розслаблення). Ергограму реєстрували на фотоплівці в осцилографі МПО-2 за допомогою електричного датчика, з'єднаного з ергографом і з шлейфом осцилографа. Внаслідок розтягування пружини ергографа, змінювався опір у датчика, що й призводило до відхилення відхилення шлейфа осцилографа. На тій же фотоплівці за допомогою підсилювача і шлейфа осцилографа реєстрували біоелектричні потенціали м'яза. Третій шлейф осцилографа використовували для відмітки часу — 50 гц.

Пауза без кровообігу, як правило, тривала одну хвилину. Кровообіг припиняли швидким нагнітанням повітря з гумового балона із стисненим повітрям у манжету апарата Ріва-Роччі, одягнену на плече досліджуваного; тиск у цій манжеті доводили до 150—180 мм рт. ст. В частині дослідів досліджуваний робив одне-два скорочення і під час паузи; ці скорочення також вимірювали. Аналізуючи записи біоелектричних м'язових скорочень, підраховували кількість зубців біоелектричних м'язових скорочень на кожну 0,1 сек., а також визначали середню амплітуду біоелектричних м'язових скорочень певного проміжку часу.

Робота досліджуваного проводилась до значного падіння амплітуди ергограми. При цьому в ряді випадків досліджувані заявляли про значну втому, іноді про біль у пальці або в працюючому м'язі.

Досліди проводились на восьми особах: двох чоловіках і шести жінках, віком 18—23 роки. Контрольні досліди ставились з введенням у стомлюючу роботу паузи тривалістю 1 хв. із збереженням кровообігу в м'язі.

Результати досліджень

Втома при роботі на ергографі М. В. Лейніка у всіх досліджених і в усіх дослідах призводила до зменшення амплітуди м'язового скорочення. У 95 дослідах із 100, включаючи сюди як досліди з паузою

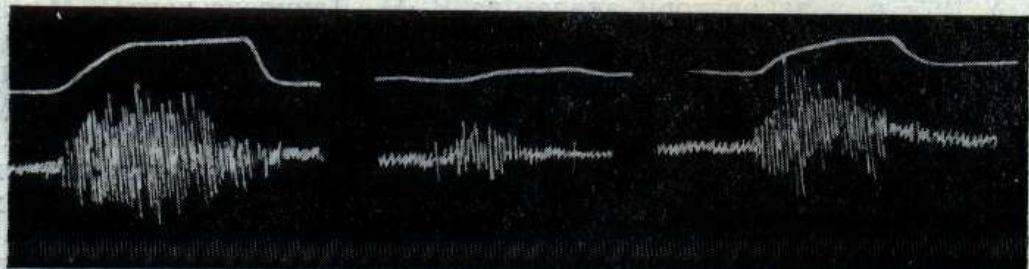


Рис. 1. Вплив паузи при збереженому кровообігу на ергограму і біоелектричні м'язові скорочення стомленого м'яза (з дослідів № 12).

Позначення кривих зверху донизу: ергограма, крива біоелектричних м'язових скорочень, відмітка часу через кожні 0,1 сек. Перші зліва ергограма і крива біоелектричних м'язових скорочень відповідають скороченню нестомленого м'яза, друга пара — скороченню стомленого м'яза перед паузою при збереженому кровообігу, третя пара — скороченню після цієї паузи. Як можна бачити, пауза при наявності кровообігу приводить до часткового відновлення зменшених під час втоми ергограми, частоти й амплітуди біоелектричних м'язових скорочень.

без кровообігу, так і контрольні, при стомленні знижувалась частота біоелектричних м'язових скорочень; тільки в чотирьох дослідах, незважаючи на зниження висоти м'язового скорочення, частота біоелектричних м'язових скорочень майже не змінилась, а в одному досліді збільшилась. Амплітуда біоелектричних м'язових скорочень у частині дослідів (63) знизилась, у частині (30) — збільшилась; у 7 дослідах мало змінилась.

Пауза при збереженому кровообігу («звичайний» відпочинок) тривалістю 1 хв. викликає у м'язі процеси відновлення: збільшення величини скорочень, підвищення частоти й амплітуди біоелектричних м'язових скорочень (якщо вона внаслідок втоми була знижена) або зниження амплітуди (якщо вона внаслідок втоми була підвищена) (див., наприклад, рис. 1).

Розгляд даних, одержаних при застосуванні в дослідах паузи без кровообігу (63 дослідів) показує, що висота скорочення стомленого м'яза в 39 дослідах з 63 не збільшувалась внаслідок цієї паузи порівняно з висотою, яка спостерігалась перед паузою; у восьми дослідах (із згаданих 39) вона навіть знизилась порівняно з відповідною величиною до паузи. У 24 дослідах (з 63) помічалось деяке збільшення (в трьох дослідах незначне) висоти скорочення, тобто пауза без кровообігу викликала деяку відновну дію.

Розглянемо окремо характер зміни біоелектричних м'язових скорочень у першому варіанті паузи без кровообігу (величина скорочень не змінилась) і в другому

(наявність деякого збільшення цієї величини). У першому випадку пауза без кровообігу здебільшого підвищувала частоту біострумів, часом навіть до «нормальної» (при нестомленому м'язі). У 28 дослідів з 38, в яких частота біострумів перед паузою була знижена, після цієї паузи їх частота збільшувалась при відсутності в той же час збільшення висоти скорочення м'яза (див. рис. 2 і 3).

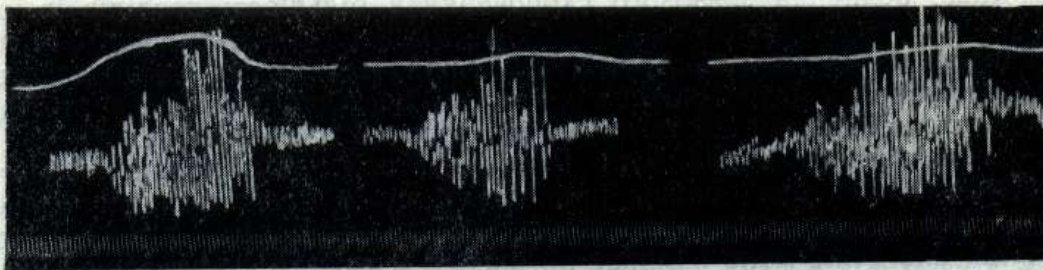


Рис. 2. Вплив паузи без кровообігу на ергограму і біоструми стомленого м'яза (з дослідів № 17).

Позначення кривих таке саме, як і на рис. 1. Перші зліва ергограма і крива біострумів відповідають скороченню нестомленого м'яза, друга пара — скороченню стомленого м'яза перед паузою без кровообігу, третя пара — скороченню після цієї паузи. Видно, що зменшена під час втоми ергограма не збільшується після паузи без кровообігу, але ця пауза збільшує зменшені частоту й амплітуду біострумів.

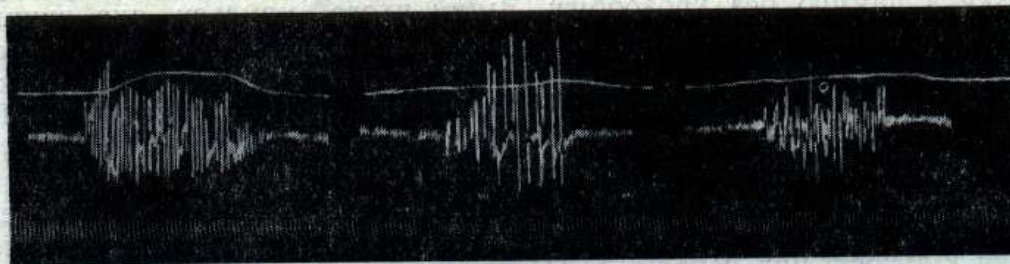


Рис. 3. Вплив паузи без кровообігу на ергограму і біоструми стомленого м'яза (з дослідів № 16).

Позначення кривих таке саме, як і на рис. 1. Перші зліва ергограма і крива біострумів відповідають скороченню нестомленого м'яза, друга пара — скороченню стомленого м'яза перед паузою без кровообігу, третя пара — скороченню м'яза після цієї паузи. Видно, що зменшена під час втоми ергограма не збільшується після паузи без кровообігу, водночас частота біострумів збільшується, амплітуда зменшується.

У 10 дослідів з названих 39 збільшення частоти імпульсів після паузи без кровообігу не спостерігалось, і ця пауза фіксувала зниження як висоти скорочення, так і частоти біострумів. В дослідів, в яких перед паузою без кровообігу відзначалась зміна амплітуди біострумів (порівняно з «нормою»), після паузи здебільшого спостерігалось її зрушення до норми (див. рис. 3). В інших дослідів амплітуда після паузи не змінилась.

В тому варіанті дослідів, коли висота м'язового скорочення внаслідок паузи без кровообігу збільшувалась, одночасно на частоті й амплітуді біоелектричних струмів здебільшого позначався відновний вплив паузи.

У частині дослідів, коли пауза без кровообігу не збільшувала ергограму, досліджений робив одне-два скорочення м'яза і під час паузи без кровообігу. Треба зазначити, що і в цих випадках нерідко спостерігалась розбіжність між змінами ергограми і частоти біострумів: перша не виявляла збільшення, друга — підвищувалась порівняно з її величиною перед паузою.

Обговорення результатів досліджень

На основі результатів наших дослідів можна прийти до такого висновку: пауза без кровообігу здебільшого фіксує стан м'язової втоми при ауксотонічній роботі обмеженої групи м'язів. Але іноді відзначається невелике збільшення м'язового скорочення після паузи без кровообігу, тобто часткове відновлення.

Якщо величина м'язового скорочення в більшості дослідів в результаті паузи без кровообігу не підвищувалась, то відновлюючий вплив цієї паузи на частоту біострумів у більшій частині тих самих дослідів не викликає сумніву. Знижена в деяких дослідах амплітуда біострумів також найчастіше після паузи без кровообігу збільшувалась.

Зміни частоти й амплітуди біострумів при втомі можна пояснити по-різному. По-перше, можна припустити, що відбувається центральна втома, яка проявляється у зниженні частоти імпульсів і змінах її амплітуди, але дуже мало впливає на висоту м'язового скорочення. Пауза без кровообігу усуває в тій чи іншій мірі цю втому центрів, скорочення м'яза при цьому може не зазнати змін.

Але той факт, що в деякій частині дослідів після паузи без кровообігу не спостерігалось відновлення зниженої перед паузою частоти біострумів, говорить проти такого пояснення, бо відновлення після втоми є закономірним явищем.

Тому ми пропонуємо інше пояснення змін нервового імпульсу в зв'язку з паузою без кровообігу. Зміну цього імпульсу, яка виникає внаслідок втоми, на підставі висловлювань ряду авторів про залежність стану рухового апарата від м'язової пропріоцепції (К. М. Биков, Г. В. Фольборт, Ю. М. Уфлянд, К. Голубович, Л. П. Доріна, Р. С. Персон та інші) можна вважати рефлекторною. Гальмуючий вплив від стомленого м'яза зменшує частоту центральних імпульсів і може викликати зниження їх амплітуди (зменшення кількості збуджених центральних нейронів) або підвищення амплітуди (компенсаторне збільшення кількості цих нейронів). Під час паузи без кровообігу в певних частинах центрального апарата стомленого м'яза розвивається «адаптація до гальмівного впливу». Адаптація до парабіотизуючого впливу була встановлена Л. Л. Васильєвим щодо нервового волокна. О. Б. Фельдман (1956, 1958), посилаючись, в основному, на дослідження феномена Сеченова — Пашутіна при центральному гальмуванні, вказує на адаптацію до центральних гальмівних імпульсів під час центральних взаємодій.

На підставі наших дослідів можна припустити «адаптацію до пропріоцептивних гальмівних імпульсів», що виникають під час втоми м'яза.

Висновки

1. Втома м'яза характеризується зменшенням частоти біострумів м'яза, різними змінами їх амплітуди.
2. «Пауза при збереженому кровообігу» тривалістю 1 хв., як правило, призводить до часткового відновлення величини скорочення, частоти й амплітуди біострумів м'яза.
3. «Пауза без кровообігу» (тривалістю 1 хв.) найчастіше не збільшує м'язового скорочення; в деякій частині дослідів спостерігається деяке відновлення. В більшості дослідів, в яких після паузи без кровообігу висота скорочення не зростає, збільшується частота біострумів і змінюється їх амплітуда в напрямку відновлення, тобто відзначається розбіжність між змінами висоти скорочення і біострумів м'яза.

4. Цю розбіжність можна пояснити тим, що під час паузи без кровообігу в нервових центрах розвивається адаптація до того гальмівного впливу пропріоцепторів м'яза, який зумовлює зменшення частоти біо-струмів і зміну їх амплітуди в умовах втоми.

ЛИТЕРАТУРА

- Голубович К., Дорина Л. П., Персон Р. С., IX съезд Всесоюзного общества физиологов, биохимиков и фармакологов. Тезисы докладов, т. 1, 1959, с. 159.
Журавлев И. Н. и Фельдман А. Б., Медико-биол. журн., в. 3, 1927, с. 129.
Лейник М. В., Мед. журн. АН УРСР, № 10, 1940, с. 1239.
Персон Р. С., Физиол. журн. СССР, т. 46, № 7, 1960, с. 810.
Персон Р. С. і Голубович К., Физиол. журн. СССР, т. 46, № 10, 1960, с. 1181.
Фельдман О. Б., Физиол. журн. АН УРСР, т. II, № 1, 1956, с. 12.
Фельдман А. Б., в сб. «Вопросы физиологии процессов утомления и восстановления», Изд-во АН УССР, 1958, с. 112.
Шейдин Я. А., Ученые записки Ленингр. гос. ун-та. Серия биол. наук, в. 16, 1949, с. 161.
Altenburger, Pflügers Archiv, 202, 1924, S. 645.
Piper H., Archiv für Anatomie u. Physiologie, 1909, S. 491.

Надійшла до редакції
30.V 1961 р.

Влияние прекращения кровотока на биоэлектрические токи утомленной мышцы человека

А. Б. Фельдман, Ж. Н. Нетяхата, М. А. Серебров

Кафедра нормальной физиологии Донецкого медицинского института
им. А. М. Горького

Резюме

И. Н. Журавлев и А. Б. Фельдман (1927), Я. А. Шейдин (1949) показали, что перерыв в работе на эргографе Моссо, во время которого прекращается кровоснабжение утомленной мышцы («пауза без кровотока») не приводит к увеличению сокращения данной мышцы. В настоящей работе изучались изменения эргограммы, биоэлектрических токов, утомленной мышцы (локтевого сгибателя пальцев), производящей ауксотонические сокращения (эргограф М. В. Лейника) в условиях паузы без сохранения кровотока.

В результате исследования установлено, что утомление мышцы приводит к уменьшению высоты ее сокращения; частота биотоков в подавляющем большинстве опытов снижалась; амплитуда биотоков большей частью уменьшалась. Пауза в условиях сохранения кровотока неизменно обуславливает восстанавливающий эффект в отношении величины мышечного сокращения, большей частью и в отношении частоты и амплитуды биотоков.

Пауза без кровотока в 39 опытах из 63 не увеличивала высоты сокращения утомленной мышцы; в 24 опытах наблюдалась некоторая степень восстановления мышечного сокращения и в большинстве случаев также частоты и амплитуды биотоков.

В 28 опытах после паузы без кровотока при отсутствии увеличения мышечного сокращения частота биотоков явно увеличивалась (иногда до величин, характеризующих неустойчивую мышцу). В 10 опытах

частота биотоков, так же, как и эргограмма, после такой паузы не повышалась. Амплитуда биотоков в опытах, в которых высота мышечного сокращения после паузы без кровотока не увеличивалась, также большей частью отражала восстанавливающее влияние паузы.

Таким образом, в условиях паузы без кровотока может отмечаться расхождение между изменениями эргограммы и биоэлектрических токов утомленной мышцы.

Effect of Cutting Off the Blood Stream on the Bioelectric Currents of Fatigued Human Muscles

A. B. Feldman, Zh. N. Netakhata and M. A. Serebrov

Department of normal physiology of the A. M. Gorky Medical Institute of Donetsk

Summary

As a result of investigations it was established that muscle fatigue leads to a reduction in the level of muscular contraction; the frequency of the bioelectric currents was decreased in the vast majority of experiments; the amplitude of the currents for the most part decreased. A pause under conditions of preservation of the blood stream invariable leads to a recuperative effect in respect to the magnitude of muscular contraction and, in most cases, in respect to the frequency and amplitude of the biocurrents as well.

A pause without blood stream failed to increase the level of the contraction of the fatigued muscle in 39 experiments out of 63; in 24 experiments a certain degree of restoration of muscular contraction was noted, and in most cases, of the frequency and amplitude of the biocurrents as well.

In 28 experiments the frequency of the biocurrents distinctly increased after a pause without blood stream in the absence of an increase in muscular contraction (the frequency sometimes attaining values typical of unfatigued muscles). In ten experiments the frequency of the biocurrents, as well as the ergogram, did not increase after such a pause. The amplitude of the biocurrents in the experiments in which the level of muscular contraction after a pause without blood stream did not increase also reflected the restorative effect of the pause in most cases.

Thus, under conditions of a pause without blood stream may be divergence between the alterations in the ergogram and the bioelectrical currents of fatigued muscle.