

## Некоторые особенности рабочих движений человека

Ю. В. ВЕРХОШАНСКИЙ

Государственный Центральный ордена Ленина институт физической культуры

Из нервно-мышечной физиологии известно, что предварительное растяжение мышцы повышает рабочий эффект ее последующего сокращения. Установлено, что преодолеваемая работа мышцы, которая начинает сокращаться немедленно после предварительного растяжения в напряженном состоянии, больше преодолеваемой работы той же мышцы при сокращении из состояния изометрического напряжения [6, 8, 9]. Избыток силы в результате растяжения возрастает в зависимости от скорости и длины растяжения мышцы [6, 12, 13, 14] и тем больше, чем скорее сокращение следует за растяжением [8]. Прикладная сторона этого эффекта рассматривалась применительно к рабочим [5] и спортивным [7, 10, 11] движениям человека. На материале спортивных упражнений было, в частности, показано, что предварительное растяжение мышц используется как рабочий механизм, обеспечивающий более эффективное решение двигательной задачи [1, 4], и что в некоторых условиях режим работы, при котором преодоление сопротивления предшествует резкое растяжение мышц, наиболее эффективен для тренировки взрывной силы [1, 3].

Ниже излагаются результаты лабораторных опытов, продолжающих упомянутые выше работы. Задача исследования — изучение влияния различных режимов работы мышц на двигательный эффект баллистического движения.

**Методика.** В качестве экспериментальной модели выбрано отталкивание рукой груза в вертикальном направлении (принципиальная кинематическая схема эксперимента представлена на рис. 1). Отталкивание выполнялось: 1 — от груди, 2 — с предварительным опусканием груза (заманом), удерживаемого в исходном положении в вытянутой руке, 3 — после амортизации падения груза, предварительно поднятого на некоторую высоту. Таким образом, в эксперименте имели место три режима работы мышц, при которых активному отталкиванию предшествовало соответственно: изометрическое напряжение (1) и растяжение мышц плавного (2) и ударного (3) характера. Выбор последнего режима связывался с необходимостью создания экстремальных условий в смысле интенсивности растяжения мышц, предшествующего рабочему усилию. Для этого существует, вероятно, только одна возможность: поста-

вить мышцы в такие условия, где они вынуждены противодействовать на ограниченном пути работе силы тяжести некоторого груза, падающего с некоторой высоты. Физический смысл этого условия можно выразить уравнением:

$$A = P(h + l) - Fl = 0,$$

где  $P(h+l)$  — работа силы тяжести груза  $P$  и  $Fl$  — работа силы его торможения. Если учесть при этом, что путь торможения ограничен длиной рабочей конечности (в данном случае руки), то с увеличением высоты падения ( $h$ ) груза  $P$  сила  $R$  воз-

растает. И так как  $A = \frac{mV^2}{2}$ , то легко ви-

деть, что с увеличением  $h$  растет и скорость ( $V_y = \sqrt{2gh}$ ) падения груза. Следовательно, с увеличением силы торможения  $F$  груза  $P$  увеличивается и скорость растяжения мышц. Наконец следует отметить, что особенности обсуждаемого режима, за исключением некоторых немногочисленных работ [1, 3, 4], мало исследованы, хотя он довольно типичен для ряда видов спорта

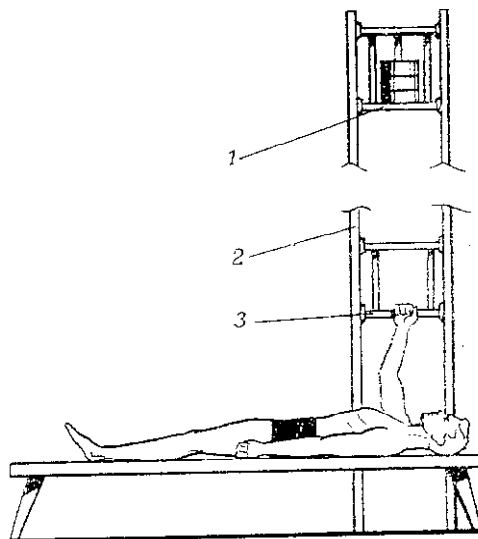


Рис. 1. Принципиальная схема эксперимента: 1 — грузовая каретка, 2 — направляющие рельсы, 3 — буферная каретка

(легкая атлетика, фигурное катание, акробатика, гимнастика и др.).

Вес груза в эксперименте был равен 2, 4, 6 и 8 кг, что составляло в среднем 3,3; 6,6; 10,0 и 13,0% от изометрической силы испытуемых. Высота предварительного падения груза изменялась через 0,5 м в диапазоне 3,0 м.

Экспериментальная методика предусматривала регистрацию механическим путем: высоты падения и взлета груза и кривой  $S_y(t)$  рабочей точки (где можно было четко видеть и измерить длительность фаз уступающей, удерживающей и преодолевающей работы, рис. 2), а также тензо-

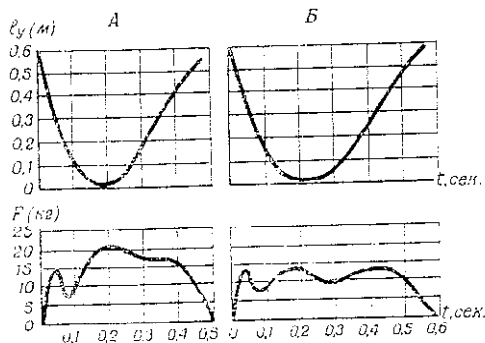


Рис. 2. Образцы записи кривых  $I(t)$  и  $F(t)$  при отталкивании груза весом 6 кг после падения его с высоты 1,0 м у тренированного (А) и нетренированного (Б) испытуемых

метрическую регистрацию кривой  $F(t)$ . По непосредственно измеренным характеристикам, исходя из теоремы о кинетической энергии материальной точки, аналитически рассчитывались значения средней силы движения, работы силы и мощности работы силы в фазах амортизации и отталкивания. В качестве испытуемых ( $n=29$ ) привлекались студенты института физкультуры, специализирующиеся в скоростно-силовых видах спорта.

**Результаты.** В эксперименте обнаружена определенная тенденция в изменении высоты подбрасывания груза в зависимости от его веса и режима работы мышц (рис. 3).

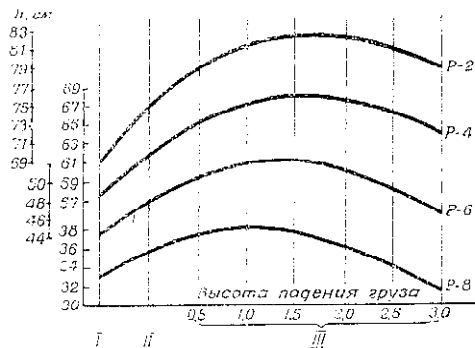


Рис. 3. Изменение высоты ( $h$ ) взлета груза ( $P$ ) в зависимости от начальных условий отталкивания: I — при изометрическом напряжении, II — при плавном и III — ударном растяжении мышц (средние данные 29 испытуемых).

С переходом от 1-го режима к 3-му возрастают величины и градиенты скорости и ускорения движения груза в фазе отталкивания (рис. 4), увеличиваются средние значения скорости сокращения мышц, силы и мощности работы силы (рис. 5), что и обеспечивает большую начальную скорость вылета груза. Увеличение веса подбрасываемого груза, естественно, приводит к снижению высоты его взлета (см. рис. 3), уменьшению значений скорости и ускорения рабочего движения (см. рис. 4), хотя величины средней силы и мощности работы силы, наоборот, увеличиваются (см. рис. 5). Однако, несмотря на увеличение веса груза, максимум его ускорения соответствует начальному участку рабочей амплитуды, что характерно для баллистических движений.

С увеличением высоты предварительного падения груза при 3-м режиме работы мышц высота взлета груза возрастает. Сила, скорость и мощность работы увеличиваются (см. рис. 5), хотя и не столь значительно, как прежде. Однако этот эффект обнаруживает себя только в определенном для каждого груза диапазоне высоты его предварительного падения. Превышение некоторой оптимальной высоты приводит к негативному эффекту, выражающемуся в снижении значений силы, мощности и скорости рабочего движения и в уменьшении высоты взлета груза.

Увеличение веса груза приводит к увеличению длительности фаз кратковременной удерживающей работы мышц, разделяющей фазы амортизации и отталкивания (см. таблицу). Увеличение же высоты

Длительность фазы, разделяющей уступающую и преодолевающую работу мышц, м/сек

Режим работы мышц	Вес груза, кг				
	2	4	6	8	
2-й	$h=0,5$	46	52	55	59
	$h=1,0$	46	49	51	55
	$h=2,0$	46	47	49	52
3-й	$h=2,0$	48	49	51	55
	$h=3,0$	48	50	52	57

предварительного падения груза вызывает вначале сокращение, а затем увеличение ее длительности.

В комплексе исследуемых характеристик (относящихся главным образом к 3-му режиму) четко выявились индивидуальные особенности, присущие двигательным способностям испытуемых. Это выразилось, во-первых, в высоте подбрасывания груза и в соответствии ее максимального значения различной высоте предварительного падения груза и, во-вторых, в длительности фазы удерживающей работы мышц. Как правило, испытуемые с лучшими показателями в высоте подбрасывания груза отличаются более быстрым переходом от уступающей работы мышц к преодолевающей. Сравнительный анализ показал, что эти различия связаны главным образом с

спецификой их спортивной деятельности. У тех испытуемых, спортивная деятельность которых требует взрывного проявления двигательного усилия, максимальная высота взлета груза сдвинута вправо относительно оси абсцисс, а длительность перехода от уступающей работы к преодолевающей короче, чем у других спортсменов.

Уровень подготовленности испытуемых к специфической работе в обсуждаемом режиме отразился и на характере кривых  $F(t)$ . Для более подготовленных людей, демонстрирующих быстрый переход от уступающей работы мышц к преодолевающей, типичен однопиковый характер кривой  $F(t)$ , а для менее подготовленных — двух-

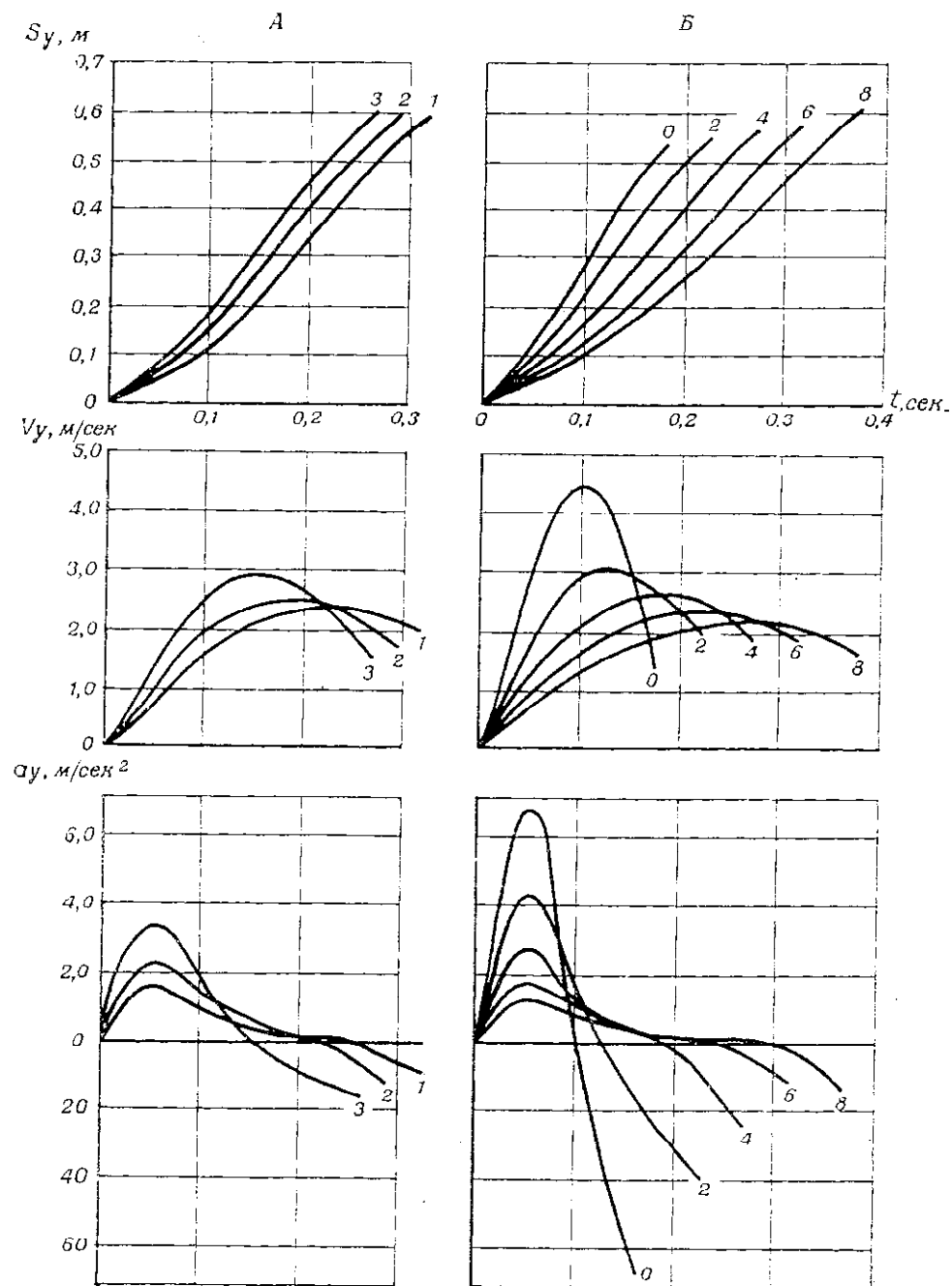


Рис. 4. Типичные графики пути ( $S_y$ ), скорости ( $V_y$ ) и ускорения ( $a_y$ ) груза в фазе отталкивания: А — отталкивание груза 5 кг в условиях предварительного изометрического напряжения (1), внезапного (2) и ударного (3) растяжения мышц; Б — отталкивание груза (2, 4, 6, 8 кг) в условиях предварительного изометрического напряжения мышц. 0 — неотягощенное движение, имитирующее отталкивание (данные одного испытуемого)

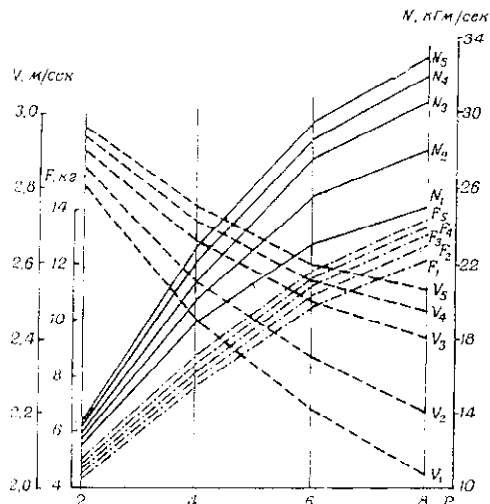


Рис. 5. Измерение средних значений скорости движения ( $V$ ), силы ( $F$ ) и мощности работы силы ( $N$ ) в фазе отталкивания в зависимости от веса груза ( $P$ ) и начальных условий отталкивания при 1-м(1), 2-м(2) и 3-м(3, 4, 5) соответственно после падения груза с высоты 3,5, 1,0 и 1,5 м) режимах работы мышц.

пиковый (см. рис. 2, соответственно А и Б). В последнем случае отмечено, что чем больше длительность фазы, разделяющей уступающую и преодолевающую работу мышц, тем более значительно западение кривой  $F(t)$ . При чрезмерном удлинении этой фазы (случайного или намеренного характера) величина динамической силы падала до значения веса груза, а высота взлета последнего снижалась.

С помощью корреляционного анализа исследовалась взаимосвязь между высотой взлета груза, с одной стороны, и средней скоростью неотягощенного разгибательного движения рукой, имитирующего отталкивание груза, а также изометрической силой мышц испытуемых (измеренной в позе, соответствующей началу отталкивания) — с другой. Для первого случая характерно уменьшение тесноты связи с увеличением веса груза и высоты его падения. Причем статистически значимые величины коэффициентов корреляции (порядка 0,5–0,4) соответствуют только грузу 2 кг. Во втором случае теснота связи уменьшается с повышением высоты предварительного падения груза (для  $P=2$  с 0,73 до 0,41; для  $P=4$  с 0,82 до 0,73; для  $P=6$  с 0,90 до 0,63 и для  $P=8$  с 0,93 до 0,81) и возрастает, как нетрудно видеть, с увеличением веса груза. Коэффициент корреляции между силой мышц и скоростью неотягощенного движения (0,185) несущественно отличается от нуля.

**Обсуждение результатов.** В условиях опыта различия в режиме работы мышц связывались со степенью и механическими условиями их напряжения, предшествующего активному сокращению. В первом случае (толчок от груди) разгон груза начинался в условиях предварительного изометрического напряжения мышц, постоян-

ного по величине и равному весу удерживаемого груза. Во втором случае активному движению предшествовало плавное растяжение мышц с быстрым возрастанием их напряжения к концу фазы амортизации, достигаемым за счет активного торможения груза, который приобрел некоторую скорость с начала фазы амортизации. В третьем случае имело место резкое растяжение мышц ударного характера в связи с необходимостью быстрого торможения груза, обладающего значительной кинетической энергией. Причем с увеличением высоты падения груза возрастала интенсивность растяжения мышц и, следовательно, скорость нарастания их напряжения. По мере перехода от 1-го режима к 3-му, как уже отмечалось, независимо от веса груза увеличивалась высота его взлета в результате активного отталкивания.

Причину этого явления можно связать по меньшей мере с тремя факторами:

1. С увеличением быстроты нарастания механической силы раздражителя что, как известно со времени Дюбуа-Реймона, влияет на степень возбуждения мышц и конечный эффект их сокращения (закон силы).

2. С наличием собственных (по Р. Ноттманн) рефлексов мышц (сухожильного и миотатического), которые увеличивают силу напряжения мышц тем больше, чем быстрее и больше их растяжение.

3. Со способностью мышц как упругой системы накапливать механическую энергию и возвращать ее затем в виде избытка рабочей силы.

Поскольку в исследовании использовался биомеханический метод анализа движений, рассмотрим экспериментальные данные с позиции 3-го фактора.

В общем случае для того, чтобы сообщить телу ускорение, мышцы, сокращаясь, должны проявить силу, превышающую его вес. В 1-м режиме происхождение и величина этой силы обусловлены преимущественно эффекторной импульсацией мышц. Если же мышцы предварительно растягиваются внешней силой, они совершают работу, которая поглощается ими и частично сохраняется в виде упругой энергии, выделяемой в ходе последующего сокращения. Таким образом, перед активным сокращением (в условиях 2-го и 3-го режимов работы) мышцы обладают некоторым избыточным потенциалом напряжения, который и увеличивает ускоряющую силу, развиваемую за счет эффекторной импульсации. Естественно, что чем больше предварительная работа, совершенная мышцами (которая в условиях 3-го режима численно определяется кинетической энергией падения груза), тем большим потенциалом напряжения они обладают к моменту активного сокращения, тем, следовательно, больше конечный рабочий эффект движения, измеряемый в данном случае высотой взлета груза.

Экспериментальный материал дает повод полагать, что полезное использование избыточного потенциала напряжения зависит главным образом от быстроты переключения мышц с уступающей работы на преодолевающую. Чем короче время, разделяю-

шее эти работы, тем полнее реализуется избыточный потенциал напряжения. Наоборот, чрезмерное увеличение этого времени приводит к рассеиванию избытка напряжения. Последнее быстро падает до величины веса удерживаемого груза, и эффект предварительного растяжения мышц теряется.

Рассмотренное обстоятельство послужило ранее основанием для выделения качественно специфической двигательной способности человека, названной реактивной способностью нервно-мышечного аппарата [1, 3]. Последняя типична для спортивной деятельности, связанной с необходимостью проявления значительных усилий в минимальное время в движениях, содержащих элемент переключения мышц от уступающей работы к преодолевающей. Наиболее характерными показателями уровня развития реактивной способности являются мощность преодолевающей работы, следующей сразу же вслед за интенсивным механическим растяжением мышц, а также быстрота переключения мышц от уступающей работы к преодолевающей, совершаемого в момент, когда мышцы испытывают максимальную динамическую нагрузку. Уменьшение корреляции между изометрической силой мышц и высотой взлета груза по мере повышения высоты его предварительного падения, установленное в данном эксперименте, следует рассматривать как аргумент в пользу реальности реактивной способности нервно-мышечного аппарата.

Здесь следует подчеркнуть, исходя из таблицы, что повышение интенсивности предварительного растяжения мышц уже содержит в себе условие для сокращения длительности перехода мышц от уступающей работы к преодолевающей и эффективного использования избыточного потенциала напряжения мышц. Именно в этом заключен смысл, вкладываемый в понятие реактивной способности нервно-мышечного аппарата. Однако, рассматривая в целом итоги эксперимента, добавим, что положительный (или, следуя Бведенскому, — оптимальный) эффект предварительного растяжения мышц имеет определенный диалектический предел, превышение которого приводит к негативному (пессимальному) эффекту. Он тем дальше, чем более спортсмен тренирован к этому специфическому режиму работы, или, иными словами, чем более высоким уровнем развития реактивной способности нервно-мышечного аппарата он отличается.

Таким образом, способность мышц накапливать и затем полезно реализовать

механическую энергию представляется как универсальный механизм, расширяющий двигательные возможности человека. В спортивной практике этот механизм используется весьма широко, хотя и не всегда сознательно и полноценно. Нелишне заметить, что, начиная с Н. А. Беряштейна, силы, обуславливающие движение, представляются в виде геометрической суммы трех составляющих: внутренних, внешних и реактивных сил. Однако совершенно очевидно, что в подавляющем большинстве спортивных действий равноправно присутствует и четвертая составляющая — избыточная сила, «запасенная» мышцами в подготовительных фазах движений. Наиболее четко это прослеживается в результатах биомеханического анализа сочетания маховых движений с работой опорной ноги в прыжковых упражнениях [1].

### Заключение

1. Из трех исследованных режимов баллистической работы мышц, различающихся состоянием последних, предшествующим активному сокращению (изометрическое напряжение, плавное и ударное растяжение), наибольший рабочий эффект соответствует 3-му режиму. В качестве одной из возможных причин, ответственных за этот эффект, рассматривается способность мышц как упругой системы накапливать механическую энергию и возвращать ее в виде избытка силы в фазе активного сокращения.

2. Степень полезного использования избыточного потенциала напряжения мышц, накопленного при уступающей работе, тем выше, чем быстрее совершается переход к активной преодолевающей работе. Задержка приводит к рассеиванию избыточного потенциала напряжения и снижению рабочего эффекта преодолевающей работы.

3. Существует оптимальный предел в величине кинетической энергии (и интенсивности предварительного растяжения), которую мышцы способны аккумулировать и вернуть в виде избытка силы. Этот предел индивидуален и возрастает в результате тренировки в соответствующем специфическом режиме работы мышц.

4. Итоги эксперимента рассматриваются как аргумент в пользу реальности так называемой реактивной способности нервно-мышечного аппарата человека и целесообразности использования в определенных условиях «ударного» метода развития реактивной способности и взрывной силы мышц спортсмена [2, 3].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Верхошанский Ю. В. Канд. дисс. М., 1963. — 2. Верхошанский Ю. В. «Теор. и практ. физ. культ.», 1966, № 9, 3. — 3. Верхошанский Ю. В. «Теор. и практ. физ. культ.», 1968, № 8, 4. — 4. Озолин Н. Г., Чхандзе Л. В. «Теор. и практ. физ. культ.», 1951, № 5. — 5. Сеченов И. М. Очерки рабочих движений человека. М., 1901. — 6. Abbott W. C., Anbert X. M. J. Physiol., 1952, 117. — 7. Cavagna G. A., Saibene F. P., Margaria R. J. Appl. Physiol., 1964, 19. — 8. Cavagna G. A., Saibene F. P., Margaria R. J. Appl. Physiol., 1965, 20. — 9. Cavagna G. A., Dismar B., Margaria R. J. Appl. Physiol., 1968, 24. — 10. Fenn W. O. Am. J. Physiol., 1930, 92. — 11. Fenn W. O. Am. J. Physiol., 1930, 93. — 12. Hill A. V. Proc. Roy. Soc. B, 1938, 126. — 13. Katz B. J. Physiol., 1939, 96. — 14. Walker S. M. Am. J. Physiol., 1953, 172.