

характеристика функциональных состояний организма, возникающих в процессе мышечной деятельности.

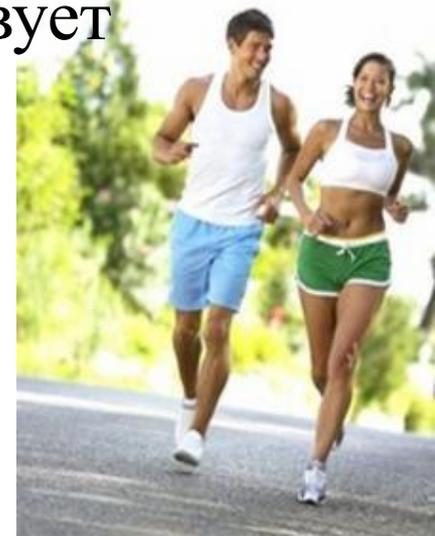


Предстартовые состояния

- Предстартовое изменение функций происходит в определенный период - за несколько минут, часов или даже дней (если речь идет об ответственном соревновании) до начала мышечной работы. Иногда выделяют отдельно стартовое состояние, характерное для последних минут перед стартом (началом работы), во время которого функциональные изменения особенно значительны. Они переходят непосредственно в фазу быстрого изменения функции в начале работы (период вработывания).



- В предстартовом состоянии происходят самые разные перестройки в различных функциональных системах организма: учащается и углубляется дыхание, т. е. растет $L V$, усиливается газообмен (потребление O_2), учащаются и усиливаются сокращения сердца (растет сердечный выброс), повышается артериальное давление (АД), увеличивается концентрация молочной кислоты в мышцах и крови, повышается; температура тела и т. д. Таким образом, организм как бы переходит на некоторый "рабочий уровень" еще до начал деятельности, и это обычно способствует успешному выполнению работы.



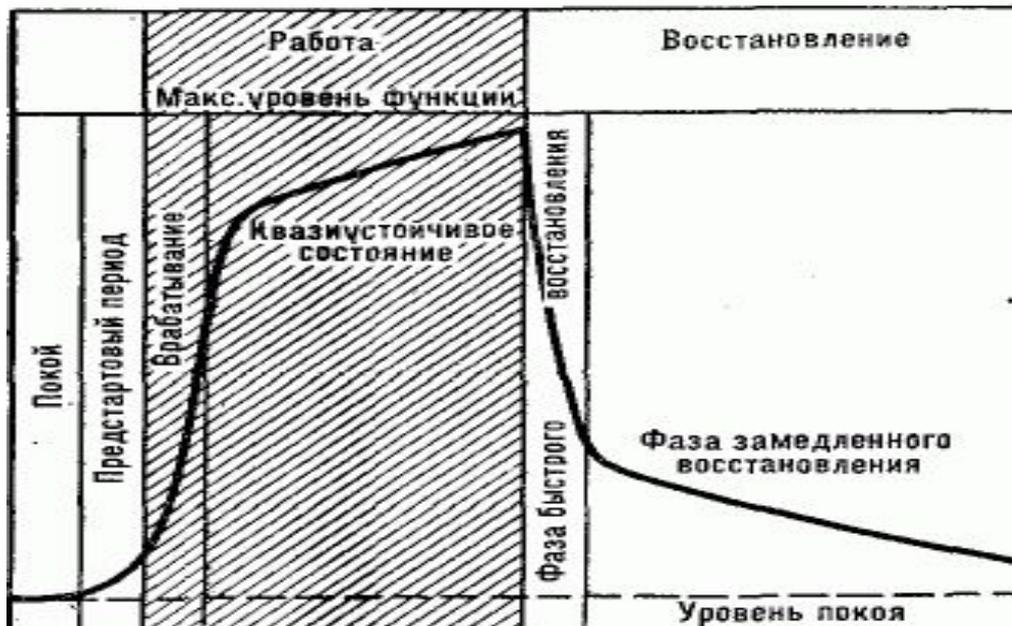
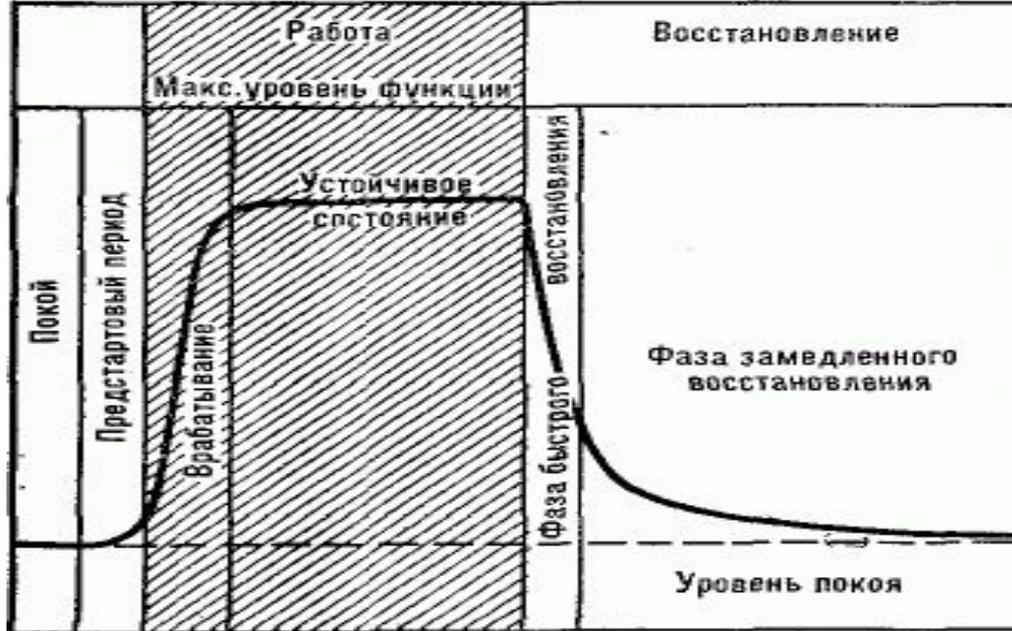


Рис. 9. Динамика изменения физиологических функций перед началом, во время и после работы средней (вверху) и максимальной (внизу) аэробной мощности

● Особенности предстартового состояния во многом могут определять спортивную работоспособность. Не во всех случаях предстартовые изменения оказывают положительное влияние на спортивный результат. В этой связи выделяют три формы предстартового состояния: **состояние готовности** - проявление умеренного эмоционального возбуждения, которое способствует повышению спортивного результата; **состояние так называемой стартовой лихорадки** - резко выраженное возбуждение, под влиянием которого возможно как повышение, так и понижение спортивной работоспособности; слишком сильное и длительное предстартовое возбуждение, которое в ряде случаев сменяется угнетением и депрессией - стартовой апатией, ведущей к снижению спортивного результата.



Разминка

- Под разминкой понимается выполнение упражнений, которое предшествует выступлению на соревновании или основной части тренировочного занятия. Разминка способствует оптимизации предстартового состояния, обеспечивает ускорение процессов вработывания, повышает работоспособность. Механизмы положительного влияния разминки на последующую соревновательную или тренировочную деятельность многообразны.



- 1) **Разминка повышает возбудимость сенсорных и моторных нервных центров** коры больших полушарий, вегетативных нервных центров, усиливает деятельность желез внутренней секреции, благодаря чему создаются условия для ускорения процессов оптимальной регуляции функций во время выполнения последующих упражнений.
- 2) **Разминка усиливает деятельность всех звеньев кислородтранспортной системы** (дыхания и кровообращения): повышаются ЛВ, скорость диффузии O_2 из альвеол в кровь, ЧСС и сердечный выброс, АД, венозный возврат, расширяются капиллярные сети в легких, сердце, скелетных мышцах. Все это приводит к усилению снабжения тканей кислородом и соответственно к уменьшению кислородного дефицита в период вработывания, предотвращает наступление состояния "мертвой точки" или ускоряет наступление "второго дыхания".



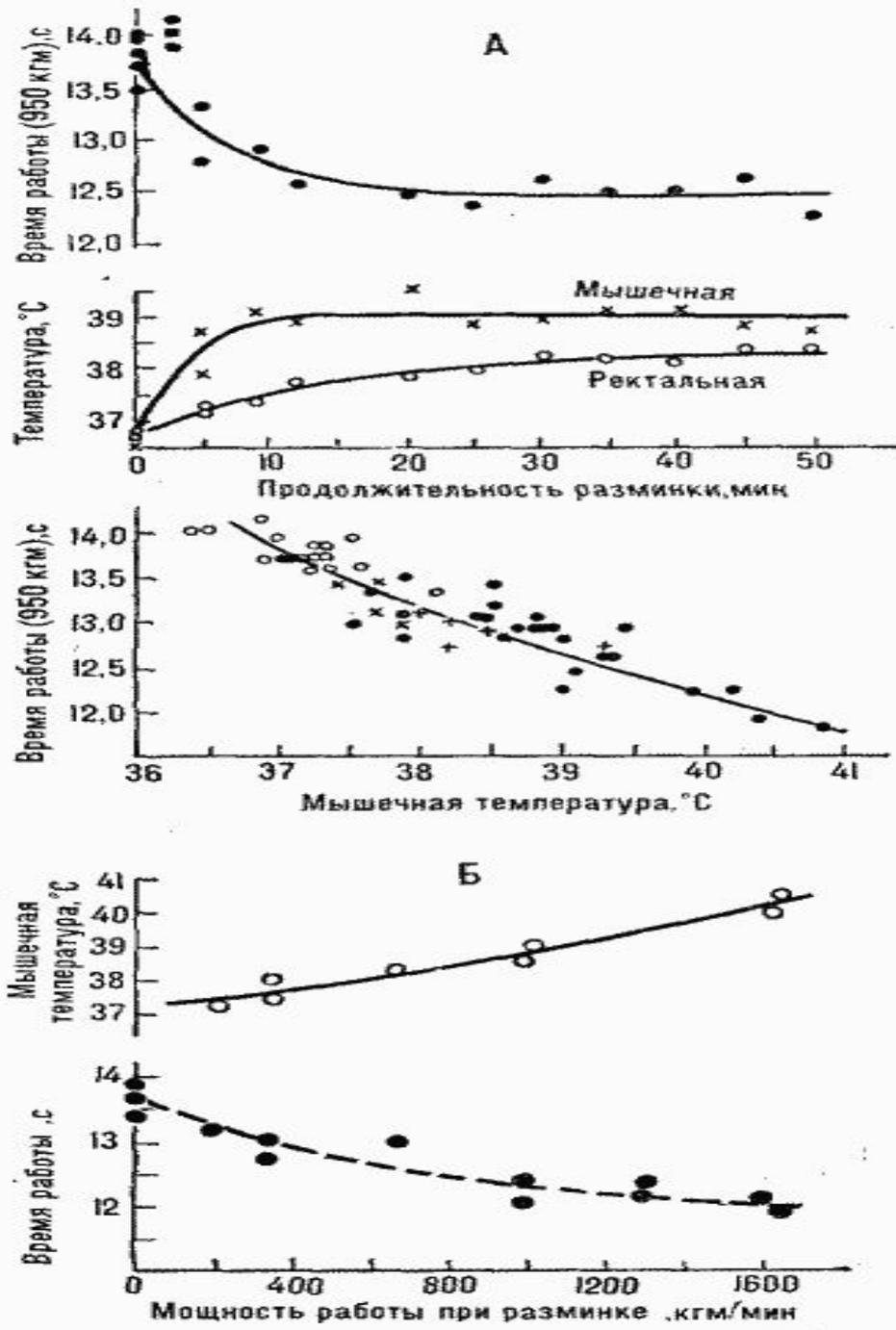
- 3) Разминка усиливает кожный кровоток и снижает порог начала потоотделения, поэтому она **оказывает положительное влияние на терморегуляцию**, облегчая теплоотдачу и предотвращая чрезмерное перегревание тела во время выполнения последующих упражнений.
- 4) Многие из положительных эффектов разминки связаны с **повышением температуры тела, и особенно рабочих мышц**. Поэтому разминку часто называют разогреванием. Оно способствует снижению вязкости мышц, повышению скорости их сокращения и расслабления.



- Вместе с тем эффекты разминки не могут быть объяснены только повышением температуры тела, так как пассивное разогревание (с помощью массажа, облучения инфракрасными лучами, ультразвука, диатермии, сауны, горячих компрессов) не дает такого же повышения работоспособности, как активная разминка.



Рис. 10. Влияние разминки разной продолжительности (А) и интенсивности (Б) на мышечную температуру и работоспособность (по Э. Асмуссену). Работоспособность оценивалась по наименьшему времени, затраченному на выполнение велоэргометрической нагрузки в 950 кгм



- Продолжительность и интенсивность разминки и интервал между разминкой и основной деятельностью определяются рядом обстоятельств: характером предстоящего упражнения, внешними условиями (температурой и влажностью воздуха и др.), индивидуальными особенностями и эмоциональным состоянием спортсмена. Оптимальный перерыв должен составлять не более 15 мин, на протяжении которых еще сохраняются следовые процессы от разминки. Показано, например, что после 45 -мин перерыва продолжительный эффект разминки утрачивается, температура мышц возвращается к исходному, предразминочному, уровню.



Врабатывание, "мертвая точка", "второе дыхание"

- **Врабатывание - это первая фаза функциональных изменений, происходящих во время работы. Тесно связаны с процессом врабатывания явления "мертвой точки" и "второго дыхания".**



- **Врабатывание происходит в начальный период работы, на протяжении которого быстро усиливается деятельность функциональных систем, обеспечивающих выполнение данной работы. В процессе врабатывания происходят:**
- настройка нервных и нейрогормональных механизмов управления движениями и вегетативных процессов;
- постепенное формирование необходимого стереотипа движений (по характеру, форме, амплитуде, скорости, силе и ритму), т. е. улучшение координации движений;
- достижение требуемого уровня вегетативных функций, обеспечивающих данную мышечную деятельность.



● При выполнении нетяжёлых аэробных упражнений (вплоть до работы субмаксимальной аэробной мощности) кислородный дефицит покрывается ("оплачивается") еще во время самого упражнения за счет некоторого излишка в потреблении O_2 в начальный период "устойчивого" состояния. При выполнении упражнений околомаксимальной аэробной мощности кислородный дефицит лишь частично может быть покрыт во время самой работы; в большей степени он покрывается после прекращения работы, составляя значительную часть кислородного долга в период восстановления. При выполнении упражнений максимальной аэробной мощности кислородный дефицит целиком покрывается в период восстановления, составляя очень существенную часть кислородного долга.



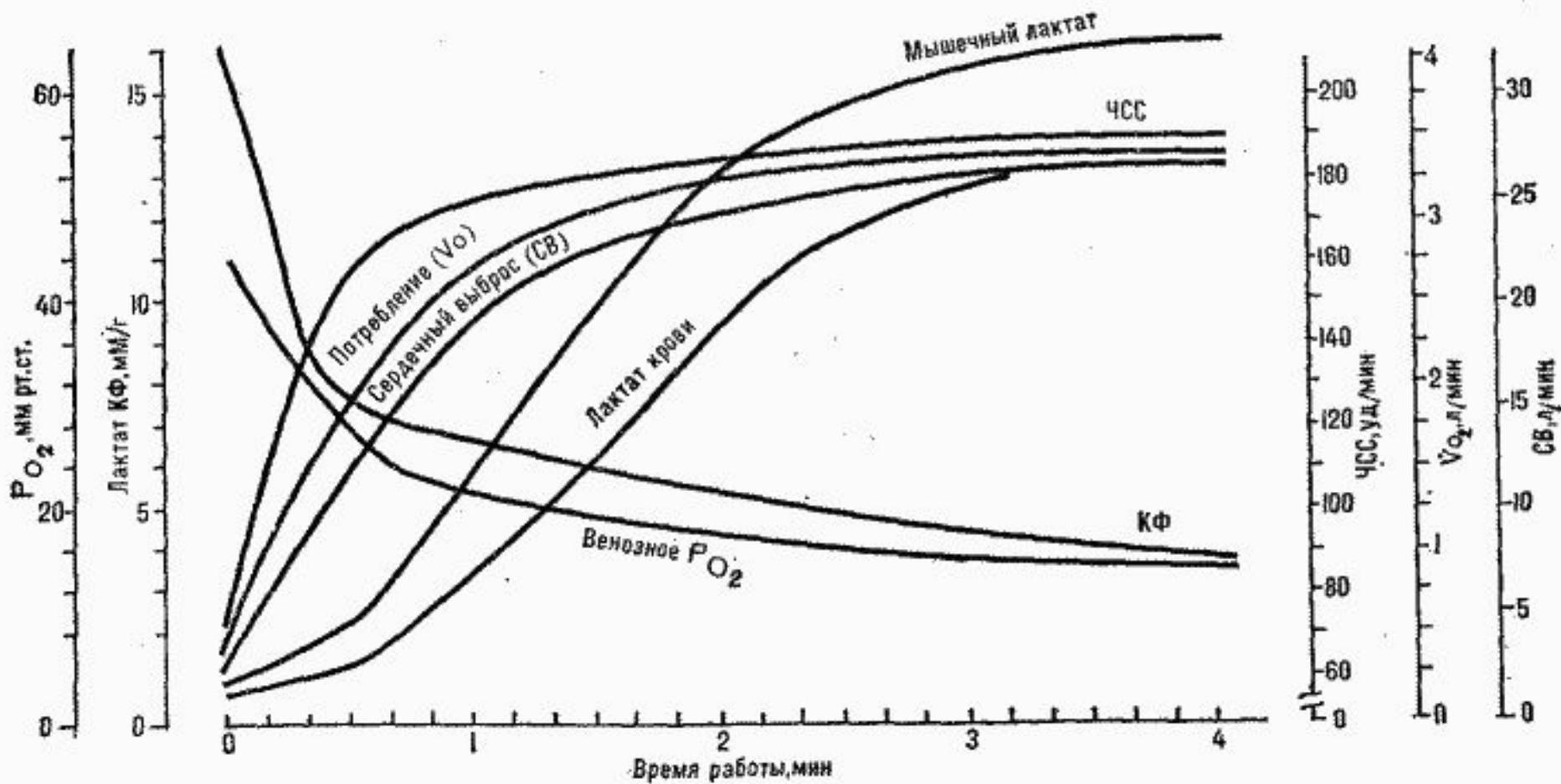


Рис. 11. Динамика изменения различных физиологических и биохимических показателей в начале напряженной работы.

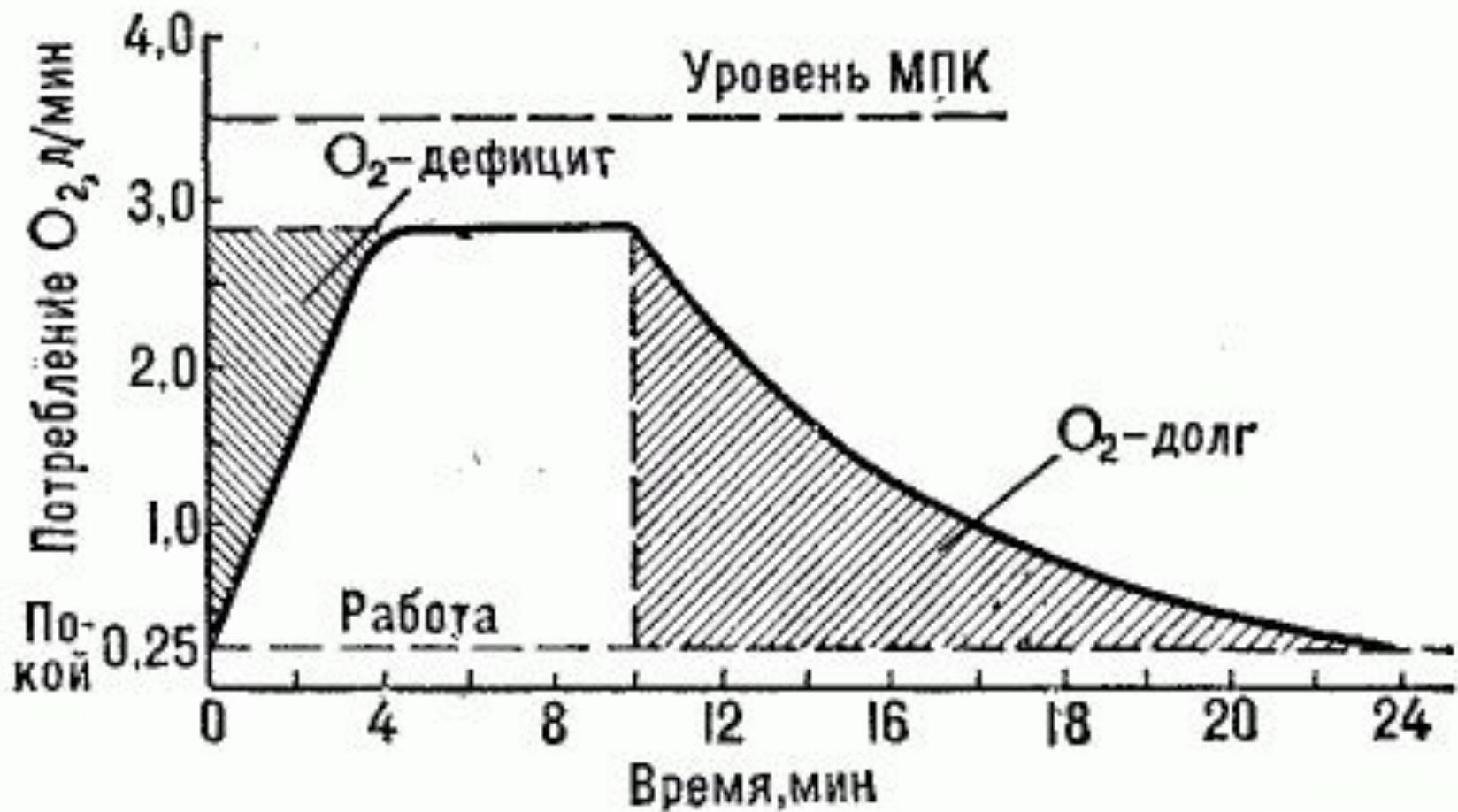


Рис. 12. Кислородный дефицит и кислородный долг при кратковременной работе субмаксимальной аэробной мощности.

- Замедленное увеличение потребления O_2 в начале работы, приводящее к образованию O_2 -дефицита, прежде всего объясняется инертным усилением деятельности систем дыхания и кровообращения, т. е. медленным приспособлением кислородтранспортной системы к мышечной деятельности. Однако имеются и другие причины возникновения кислородного дефицита, связанные с особенностями кинетики самого энергетического метаболизма в работающих мышцах.
- Чем быстрее (короче) протекает процесс вработывания, тем меньше O_2 -дефицит. Поэтому при выполнении одинаковых аэробных упражнений O_2 -дефицит у тренированных спортсменов меньше, чем у нетренированных людей.



"Мертвая точка " и "второе дыхание "

- Через несколько минут после начала напряженной и продолжительной работы у нетренированного человека часто возникает особое состояние, называемое "мертвой точкой" (иногда оно отмечается и у тренированных спортсменов). Чрезмерно интенсивное начало работы повышает вероятность появления этого состояния. Оно характеризуется тяжелыми субъективными ощущениями, среди которых главное - ощущение одышки. Кроме того, человек испытывает чувство стеснения в груди, головокружение, ощущение пульсации сосудов головного мозга, иногда боли в мышцах, желание прекратить работу.



- Общая причина наступления "мертвой точки" состоит, вероятно, в возникающем в процессе вработывания несоответствии между высокими потребностями рабочих мышц в кислороде и недостаточным уровнем функционирования кислород-транспортной системы, призванной обеспечивать организм кислородом. В результате в мышцах и крови накапливаются продукты анаэробного метаболизма и прежде всего молочная кислота. Это касается и дыхательных мышц, которые могут испытывать состояние относительной гипоксии из-за медленного перераспределения сердечного выброса в начале работы между активными и неактивными органами и тканями тела.



- Преодоление временного состояния "мертвой точки" требует" больших волевых усилий. Если работа продолжается, то сменяется чувством внезапного облегчения, которое прежде и чаще всего проявляется в появлении нормального ("комфортного") дыхания. Поэтому состояние, сменяющее "мертвую точку", называют "вторым дыханием". С наступлением этого состояния ЛВ обычно уменьшается, частота дыхания замедляется, а глубина увеличивается, ЧСС также может несколько снижаться. Потребление O₂ и выделение CO₂ с выдыхаемым воздухом уменьшаются, рН крови растет.



Устойчивое состояние

- При выполнении упражнений **постоянной аэробной мощности** вслед за периодом быстрых изменений функций организма (вработыванием) следует период, который был назван А. Хиллом периодом устойчивого состояния (англ. steady - state). Определяя скорость потребления O_2 при выполнении упражнений малой аэробной мощности, он обнаружил, что скорость потребления O_2 вслед за быстрым нарастанием в начале упражнения далее устанавливается на определенном уровне и практически сохраняется неизменной на протяжении многих десятков МИНУТ (см. рис. 9, верхняя схема).



- При более интенсивных нагрузках - средней, субмаксимальной и околوماксимальной аэробной мощности - вслед за периодом быстрого увеличения скорости потребления O_2 (вработывания) следует период, на протяжении которого она хотя и очень мало, но постепенно повышается. Поэтому второй рабочий период в этих упражнениях можно обозначить только как условно устойчивое состояние.



- В упражнениях максимальной аэробной мощности после короткого периода вработывания потребление O_2 достигает уровня МП К (кислородного потолка) и потому больше увеличиваться не может. Далее оно поддерживается на этом уровне, иногда снижаясь лишь ближе к концу упражнения. Поэтому второй рабочий период в упражнениях максимальной аэробной мощности называют периодом ложного устойчивого состояния.



- В упражнениях анаэробной мощности вообще нельзя выделить второй рабочий период, так как на протяжении всего времени их выполнения быстро повышается скорость потребления O_2 (и происходят изменения других физиологических функций). В этом смысле можно сказать, что в упражнениях анаэробной мощности есть только период вработывания.



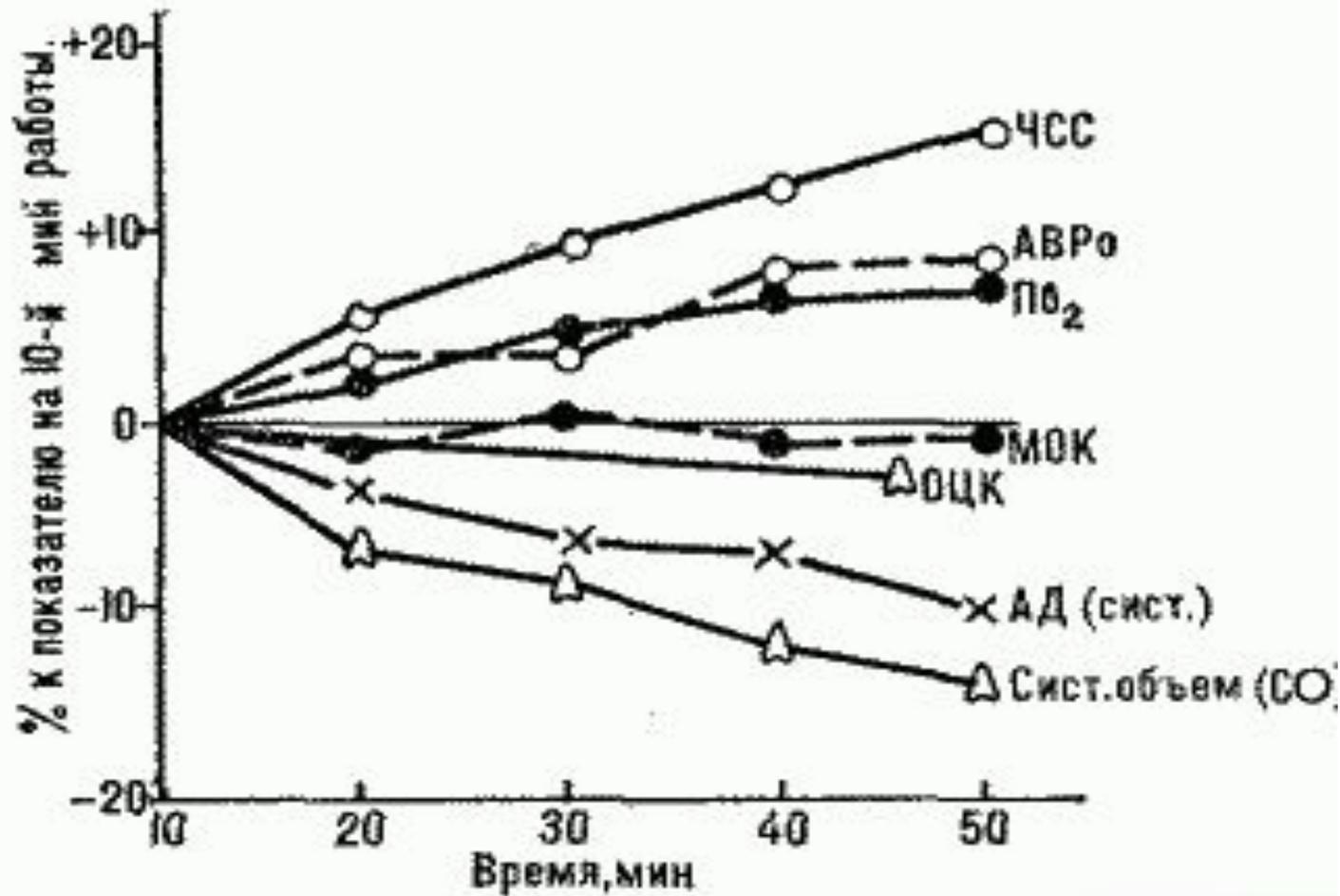


Рис. 13. Изменение ("дрейф") показателей деятельности сердечно-сосудистой системы на протяжении субмаксимальной аэробной работы. За 0 приняты показатели на 10-й мин работы.

- **При** выполнении упражнений любой аэробной мощности на протяжении второго периода (с истинно, условно или ложно устойчивым состоянием, определяемым по скорости потребления O_2) многие ведущие физиологические показатели медленно изменяются (рис. 13). Эти относительно медленные функциональные изменения получили название "дрейфа". Чем больше мощность упражнения, тем выше скорость "дрейфа" функциональных показателей (рис. 14), и наоборот, чем ниже мощность упражнения (чем оно продолжительнее), тем ниже скорость "дрейфа".



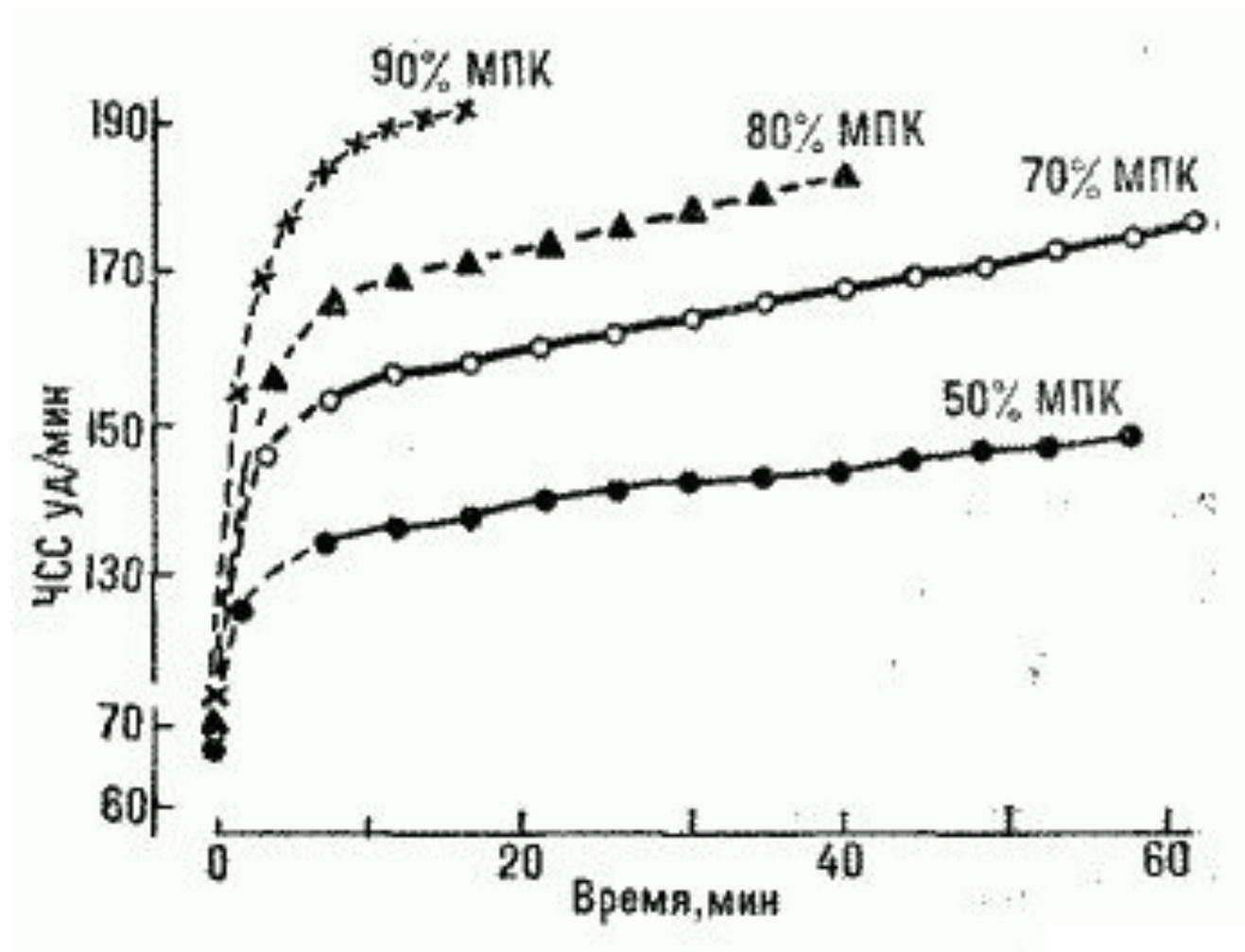
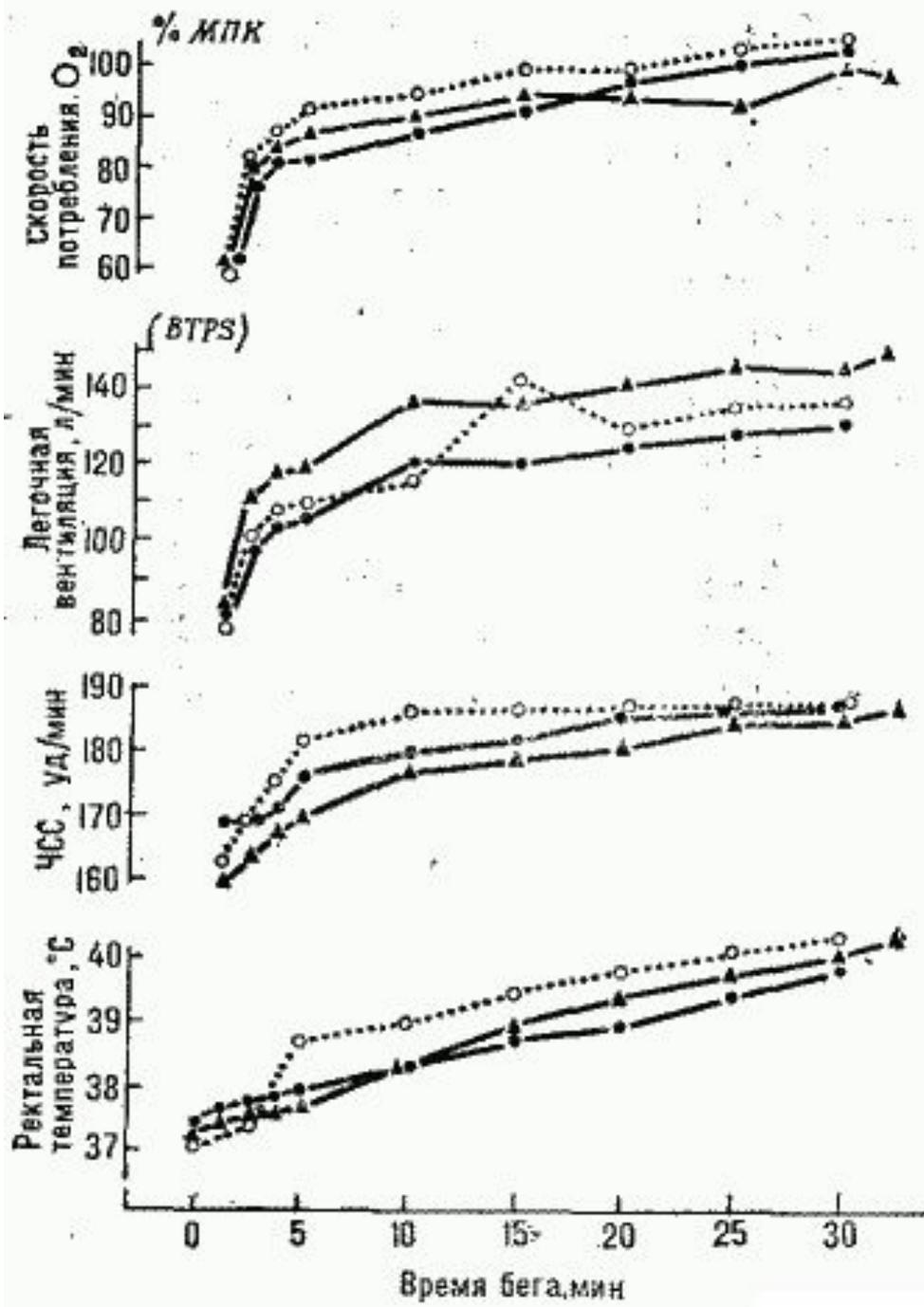


Рис. 14. Связь скорости и величины (амплитуды) "дрейфа" ЧСС с мощностью выполняемой нагрузки (В. М. Алексеев и Я. М. Коц, 1983)

Рис. 15. Скорость потребления O_2 , легочная вентиляция, ЧСС и ректальная температура на протяжении бега на 10 000 м (на тредбане) у трех спортсменов



- Таким образом, во всех упражнениях аэробной мощности с уровнем потребления O_2 более 50% от МПК, как и во всех упражнениях анаэробной мощности, нельзя выделить рабочий период с истинно устойчивым, неизменным состоянием функций ни по скорости потребления O_2 , ни тем более по другим показателям. Для упражнений такой большой аэробной мощности основной рабочий период можно обозначить как псевдо (квази) устойчивое состояние или как период с медленными функциональными изменениями ("дрейфом").



- В процессе выполнения упражнения все время повышается ЛВ (*см. рис. 15*), как за счет частоты, так и за счет глубины дыхания. Растет альвеолярно-артериальная разность по кислороду. Парциальное напряжение CO_2 и pH артериальной крови имеют тенденцию к снижению. Постепенно увеличивается АВР- O_2 , что при относительно неизменном сердечном выбросе обеспечивает некоторое повышение скорости потребления O_2 , а при тенденции к снижению сердечного выброса - поддержание относительно постоянной скорости потребления O_2 .

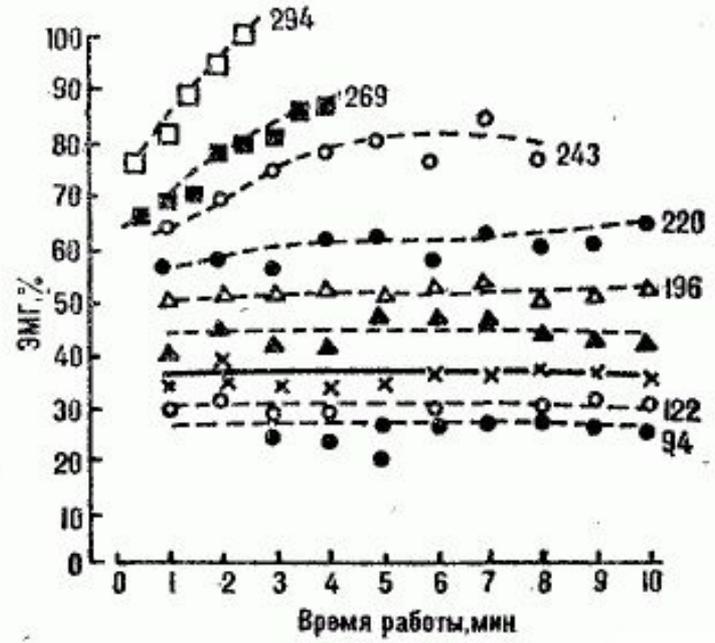
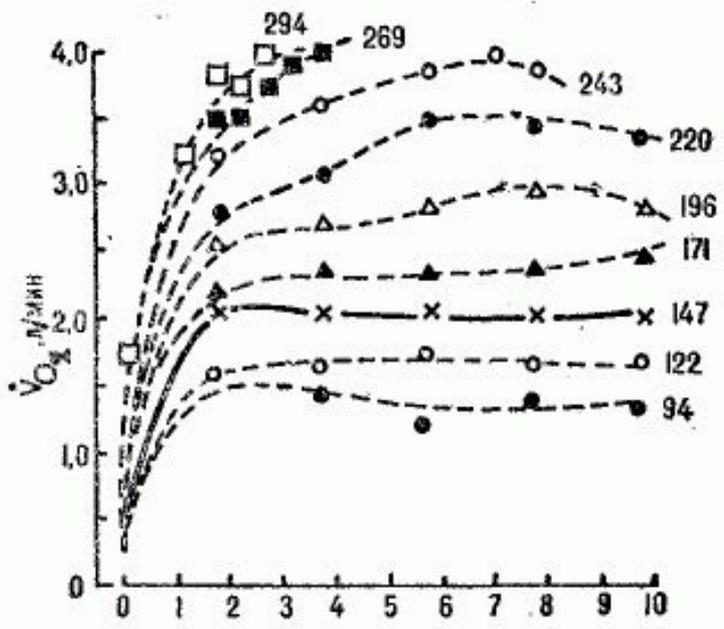


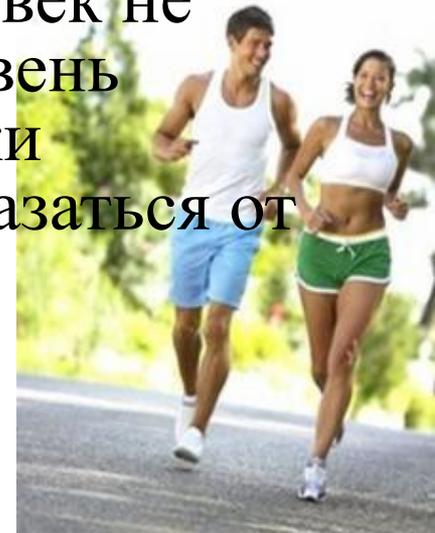
Рис. 16. Динамика скорости потребления O_2 (наверху) и интегрированной электромиограммы (ЭМГ) четырехглавой мышцы бедра (внизу) во время выполнения на велоэргометре упражнений разной мощности (И. Мияшита и др., 1981). Мощность в ваттах указана числами около кривых.

- Дыхательный коэффициент на протяжении периода квазиустойчивого состояния постепенно снижается, что указывает на увеличение доли участия окисляемых жиров и соответственно уменьшение доли участия окисляемых углеводов в аэробном обеспечении работы.
- В процессе выполнения упражнения непрерывно растет электрическая активность мышц (*рис. 16*), что говорит об усилении импульсации их спинальных мотонейронов. Это усиление отражает процесс рекрутирования новых двигательных единиц (ДЕ) для компенсации мышечного утомления. Такое утомление заключается в постепенном снижении сократительной способности мышечных волокон активных ДЕ.



Утомление

Процесс утомления - это совокупность изменений, происходящих в различных органах, системах и организме в целом, в период выполнения физической работы и приводящих в конце концов к невозможности ее продолжения. Состояние утомления характеризуется вызванным работой временным снижением работоспособности, которое проявляется в субъективном ощущении усталости. В состоянии утомления человек не способен поддерживать требуемый уровень интенсивности и (или) качества (техники выполнения) работы или вынужден отказаться от ее продолжения.

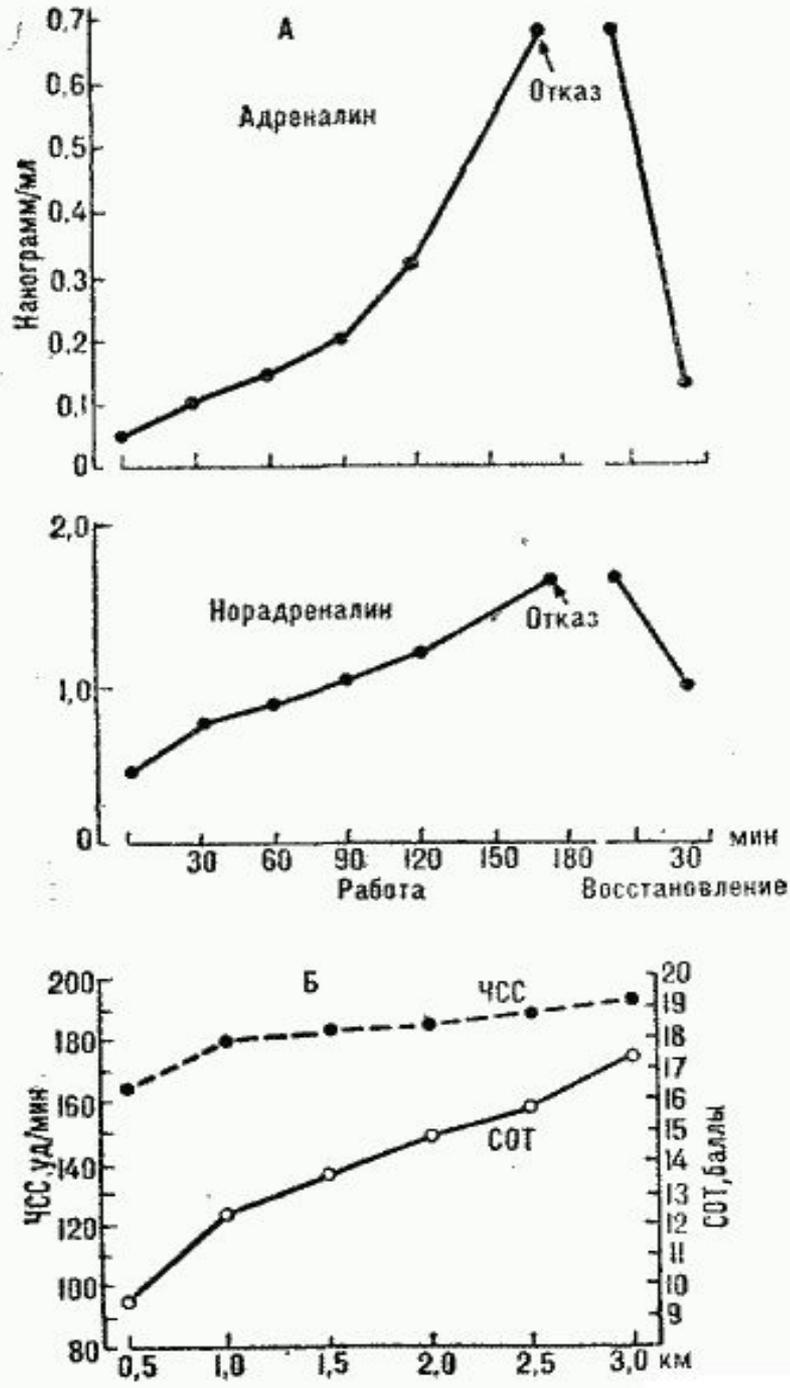


Локализация и механизмы утомление

- Степень участия тех или иных физиологических систем в выполнении упражнений разного характера и мощности неодинакова. В выполнении любого упражнения можно выделить основные, ведущие, наиболее загружаемые системы, функциональные возможности которых определяют способность человека выполнить данное упражнение на требуемом уровне интенсивности и (или) качества. Степень загруженности этих систем по отношению к их максимальным возможностям определяет предельную продолжительность выполнения данного упражнения.



Рис. 17. "Дрейф" концентрации адреналина и норадреналина в крови на протяжении упражнения на уровне около 60% МПК, выполняемого до отказа (Л); ЧСС и субъективной оценки тяжести (СОТ) нагрузки в процессе бега на 3 км (б) определяют, но и лимитируют интенсивность и предельную продолжительность и (или) качество выполнения данного упражнения.



- По локализации утомления можно, по существу, рассматривать три основные группы систем, обеспечивающих выполнение любого упражнения:

- регулирующие системы - центральная нервная система, вегетативная нервная система и гормонально-гуморальная система;
- система вегетативного обеспечения мышечной Деятельности - системы дыхания, крови и кровообращения;
- исполнительная система - двигательный (периферический нервно-мышечный) аппарат.



- Утомление может быть связано с изменениями в деятельности вегетативной нервной системы и желез внутренней секреции. Роль последних особенно велика при длительных упражнениях (А. А. Виру). Изменения в деятельности этих систем могут вести к нарушениям в регуляции вегетативных функций, энергетического обеспечения мышечной деятельности и т. д.
- Причиной развития утомления могут служить многие изменения, в деятельности систем вегетативного обеспечения, прежде всего дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Главное следствие таких изменений - снижение кислородтранспортных возможностей организма работающего человека.



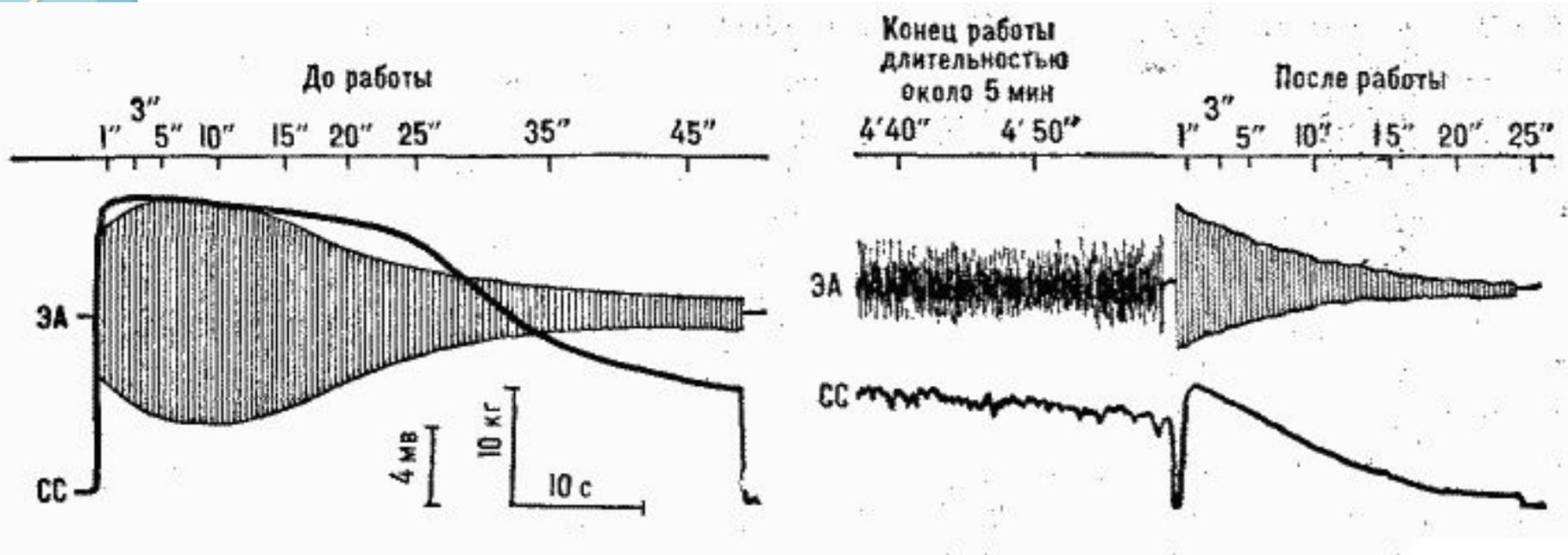


Рис. 18. Мышечное утомление, проявляющееся в снижении электрической активности (ЭА) и сократительной способности (СС) рабочих мышц в ответ на стандартное электрическое раздражение их нерва до и после статической работы до отказа (Я. М. Код и С. П. Кузнецов, 1975)

- Утомление может быть связано с изменениями в самом исполнительном аппарате - в работающих мышцах. При этом мышечное ! (периферическое) утомление является результатом изменений, возникающих либо в самом сократительном аппарате мышечных волокон, либо в нервно-мышечных синапсах, либо в системе электромеханической связи мышечных волокон. При любой из этих локализаций мышечное утомление проявляется в снижении сократительной способности мышц (рис. 18).



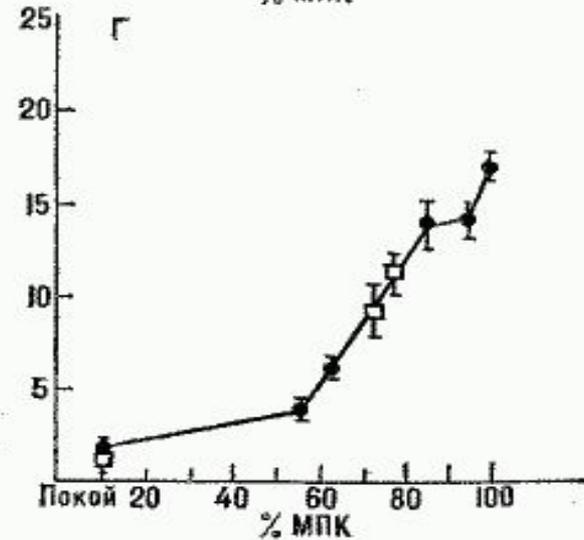
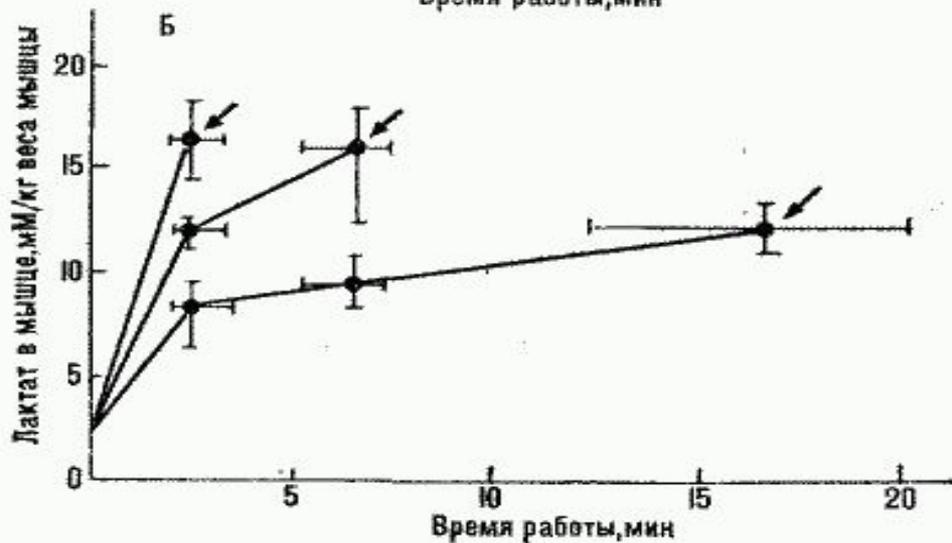
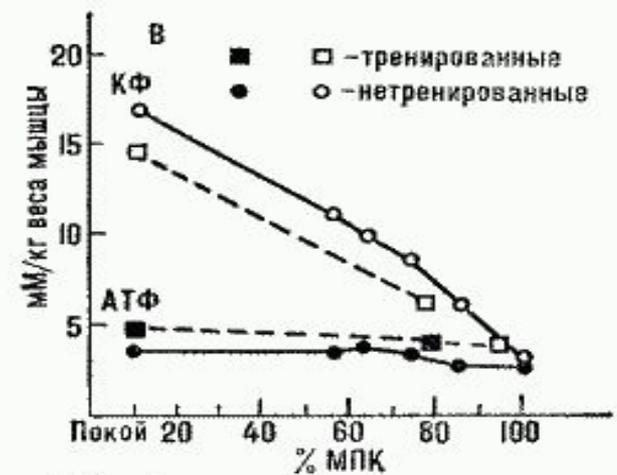
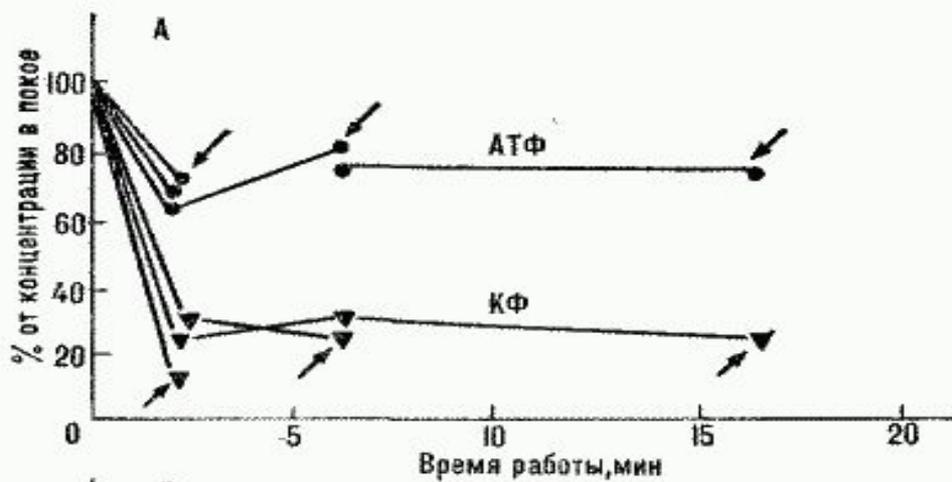


Рис. 19. Концентрация фосфагенов (А) и лактата (Б) в рабочих мышцах на протяжении анаэробных и аэробных упражнений разной предельной продолжительности (стрелки соответствуют моменту отказа от работы); концентрация фосфагенов (В) и лактата (Г) в рабочих мышцах после упражнений разной относительной аэробной мощности (по Д. Карлссону и др., 1971).

- За время выполнения упражнений максимальной анаэробной мощности мышечный гликогенолиз не успеваает развернуться (см. рис. 5), поэтому накопление лактата в мышечных клетках невелико. Чем ниже мощность нагрузки в упражнениях аэробной мощности, тем меньше роль анаэробного гликолиза в мышечной энергопродукции и соответственно тем ниже содержание лактата в мышцах в конце работы (рис. 19, Г).
- Следовательно, как и при выполнении упражнений максимальной анаэробной мощности, так и при выполнении упражнений не максимальной аэробной мощности не происходит значительного накопления лактата в мышцах, и потому этот механизм не играет сколько-нибудь значительной роли в развитии мышечного утомления.





Рис. 20. Содержание мышечного гликогена после упражнений разной относительной мощности и (соответственно) разной предельной продолжительности. Числа около кривых указывают, относительную мощность работы в процентах от МПК -120% МПК соответствует, околوماксимальной анаэробной мощности.

- Значение углеводных ресурсов организма для субмаксимальной аэробной работоспособности доказано в специальных исследованиях. Испытуемые выполняли в них упражнение субмаксимальной аэробной мощности (на уровне около 75% от МПК) один раз до отказа при нормальном исходном содержании гликогена в мышцах и печени на фоне обычного, смешанного пищевого рациона, (контрольное упражнение). В среднем предельная продолжительность . упражнения составляла около 90 мин. В конце работы содержание гликогена в мышцах падало почти до нуля - " истощающая" гликоген нагрузка (рис. 21).



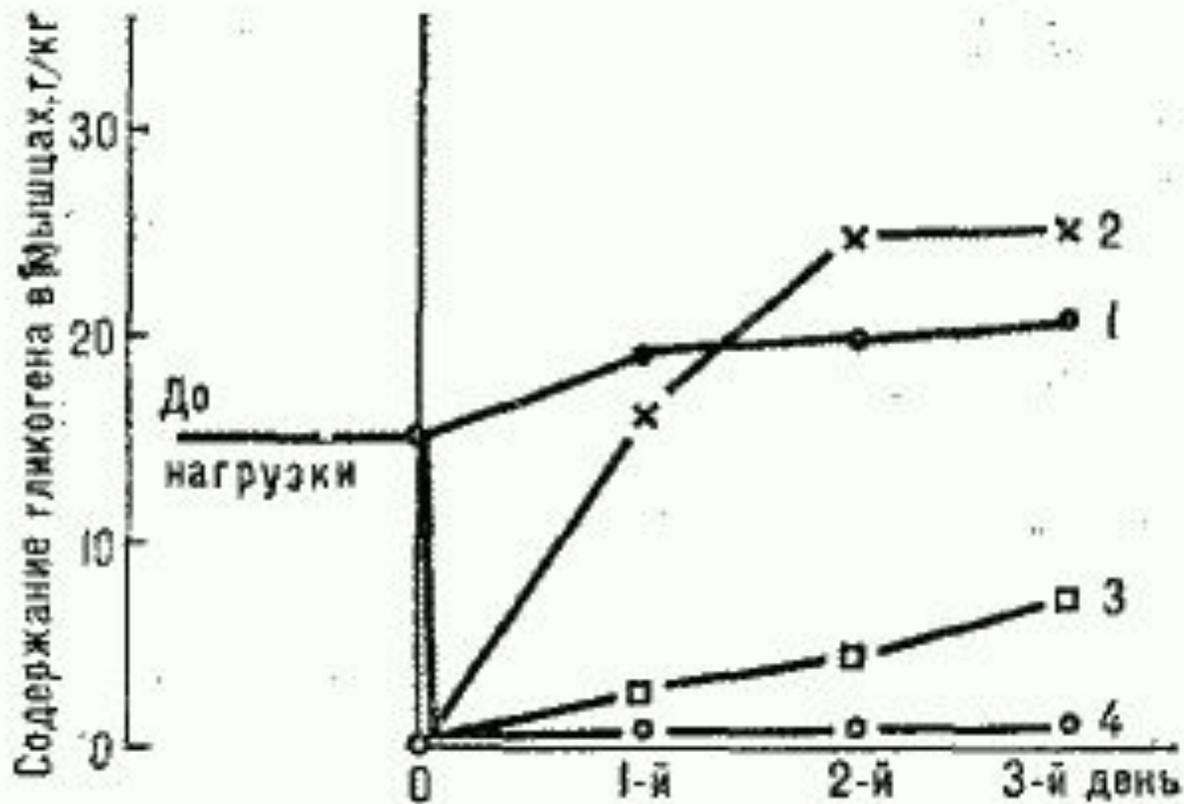


Рис. 21. Содержание мышечного гликогена на протяжении трех дней углеводного рациона без нагрузки (1); после истощающей нагрузки с углеводным рационом (2); с безуглеводным рационом без тренировок (3) и с интенсивными тренировками (4) (по Д. Бергстрёму и Д. Хултману)



Рис. 22. Связь предельной продолжительности субмаксимального аэробного упражнения (педалирование на велоэргометре, около 75% МПК) с предрабочим содержанием гликогена в мышцах.

- В энергообеспечении аэробных упражнений более низкой мощности (средней и ниже) значительную роль наряду с углеводами играют жиры (их относительная роль тем больше, чем ниже мощность упражнения). В конце выполнения таких упражнений содержание гликогена в рабочих мышцах снижено существенно, но не до такой степени, как при субмаксимальных аэробных упражнениях (*см. рис. 20*). Поэтому истощение его не может рассматриваться как ведущий фактор утомления.



Восстановление

● После прекращения упражнения происходят обратные изменения в деятельности тех функциональных систем, которые обеспечивали выполнение данного упражнения. Вся совокупность изменений в этот период объединяется понятием восстановление. На протяжении восстановительного периода удаляются продукты рабочего метаболизма и восполняются энергетические запасы, пластические (структурные) вещества (белки и др.) и ферменты, израсходованные за время мышечной деятельности. По существу, происходит восстановление нарушенного работой гомеостаза.

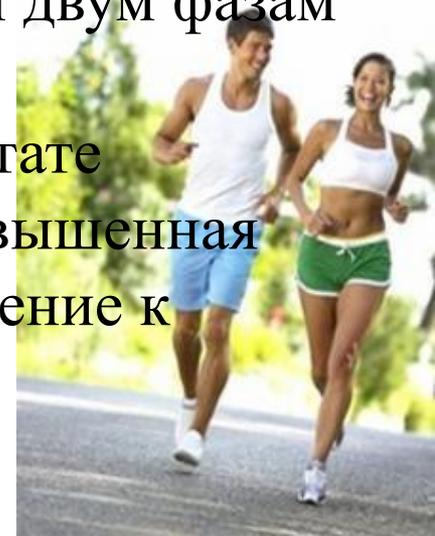


- Однако восстановление -это не только процесс возвращения организма к предрабочему состоянию". В этот период происходят также изменения, которые обеспечивают повышение функциональных возможностей организма, т. е. положительный тренировочный эффект.



Восстановление функций после прекращения работы

- Сразу после прекращения работы происходят многообразные изменения в деятельности различных функциональных систем. В периоде восстановления можно выделить 4 фазы: 1) быстрого восстановления, 2) замедленного восстановления, 3) суперкомпенсации (или "перевосстановления"), 4) длительного (позднего) восстановления. Наличие этих фаз, их длительность и характер сильно варьируют для разных функций. Первым двум фазам соответствует период восстановления работоспособности, сниженной в результате утомительной работы, третьей фазе - повышенная работоспособность, четвертой - возвращение к нормальному (предрабочему) уровню работоспособности (рис. 23).



- восстановление различных функций протекает с разной скоростью, а в некоторые фазы восстановительного процесса и с разной направленностью, так что достижение ими уровня покоя происходит неодновременно (гетерохронно). Поэтому о завершении процесса восстановления в целом следует судить не по какому-нибудь одному и даже не по нескольким ограниченным показателям, а лишь по возвращению к исходному (предрабочему) уровню наиболее медленно восстанавливающегося показателя.



- Работоспособность и многие определяющие ее функции организма на протяжении периода восстановления после интенсивной работы не только достигают предрабочего уровня, но могут и превышать его, проходя через фазу "**перевосстановления**" (см. рис. 23). Когда речь идет об энергетических субстратах, то такое временное превышение предрабочего уровня носит название суперкомпенсации.



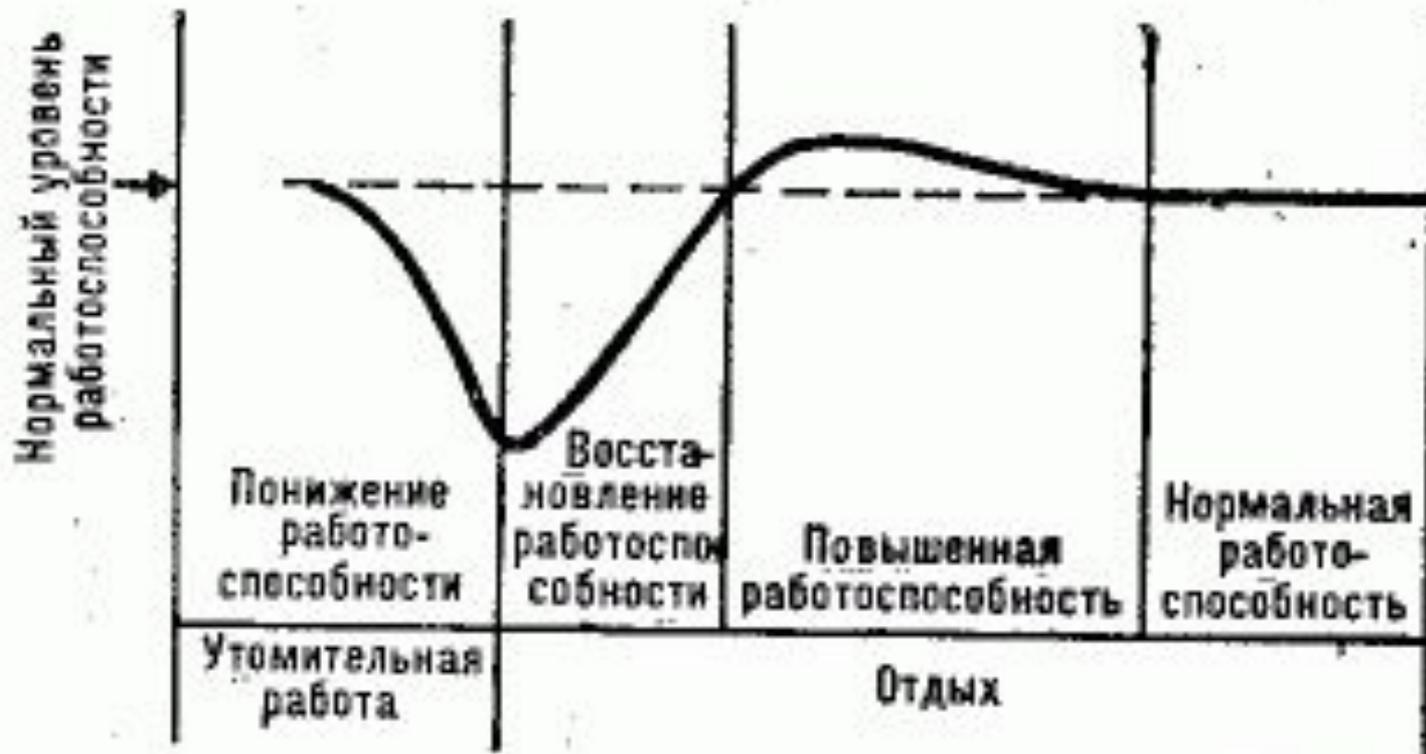


Рис. 23. Схематическое представление изменения работоспособности на протяжении работы до отказа и в период восстановления (по Г. В. Фольборту)

АКТИВНЫЙ ОТДЫХ

- Характер и длительность восстановительных процессов могут изменяться в зависимости от режима деятельности спортсменов в послерабочий, восстановительный, период. В опытах И. М. Сеченова было показано, что в определенных условиях более быстрое и более значительное восстановление работоспособности обеспечивается не пассивным отдыхом, а переключением на другой вид деятельности, т. е. активным отдыхом.
- В частности, он обнаружил, что работоспособность руки, утомленной работой на ручном эргографе, восстанавливалась быстрее и полнее, когда период отдыха ее был заполнен работой другой руки.



- Анализируя этот феномен, И. М. Сеченов предположил, что афферентные импульсы, поступающие во время отдыха от других работающих мышц, способствуют лучшему восстановлению работоспособности нервных центров, как бы заряжая их энергией. Кроме того, работа одной рукой вызывает увеличение кровотока в сосудах другой руки, что также может способствовать более быстрому восстановлению работоспособности утомленных мышц.



- Положительный эффект активного отдыха проявляется не только при переключении на работу других мышечных групп, но и при выполнении той же работы, но с меньшей интенсивностью. Например, переход от бега с большой скоростью к бегу трусцой также оказывается эффективным для более быстрого восстановления. Молочная кислота устраняется из крови быстрее при активном отдыхе, т. е. в условиях работы сниженной мощности, чем при пассивном отдыхе (см. рис. 27). С физиологической точки зрения, положительный эффект заключительной работы невысокой мощности в конце тренировки или после соревнования является проявлением феномена активного отдыха.

