ТАВРИЧЕСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.Н. ВЕРНАДСКОГО

Специальность: Физическая реабилитация.

Курсовая работа

По физиологии

На тему: «Основные гемодинамические величины в покое и в условиях функциональных нагрузок»

Выполнила: студентка III курса

Заочного отделения

Группа №Р301

Левицкая Е.В.

Принял: Солдатов А.А

Севастополь 2005.

Введение

Для тренера, инструктора ЛФК, реабилитолога важно знать и правильно понимать то, как целенаправленно воздействовать на организм человека для повышения его здоровья. Целью данной работы является изучение основных гемодинамических величин. Важно знать механизмы физиологической адаптации организма к физическим нагрузкам, особенно, изменения в кровеносной и сердечно-сосудистой системах. Задачей тренера является овладение современными теоретическими и практическими знаниями для достижения максимальных результатов в спорте, для воспитания здорового подрастающего поколения. Начиная работу по описанию основных гемодинамических величин в покое и в условиях функциональных нагрузок, ознакомимся с основами гемодинамики и основными принципами кровообращения.

ГЕМОДИНАМИКА (от гемо - греч. haima, род. п. haimatos - кровь, часть сложных слов, означающая: принадлежащий, относящийся к крови...- и динамика), движение крови по сосудам, возникающее вследствие разности гидростатического давления в различных участках кровеносной системы (разность давления обеспечивает непрерывный ток крови по сосудам, так как она постоянно стремится оттуда, где давление её выше, туда, где оно ниже), зависит от сопротивления току крови стенок сосудов (их радиуса и длины) и вязкости самой крови. Кровоток, или объём крови, протекающий за единицу времени через сосуды каждого из двух кругов кровообращения, прямо пропорционален давлению и обратно пропорционален сопротивлению.

О гемодинамике судят по минутному объему кровотока сердца (сердечному выбросу). Классическая гемодинамика рассматривает сердце как центральный двигатель, который гонит кровь в артерии, переправляя питательные вещества в районы, где происходит непрерывный обмен между кровью и тканями[1]. Здоровое сильное сердце- это важное условие нормальной деятельности человеческого организма. Чем большее количество крови протекает через сосудистую систему за единицу времени, тем обильнее снабжение органов кислородом и питательными веществами, тем больше продуктов жизнедеятельности оттекает от тканей. При физической работе потребность органов в кислороде возрастает. Сердечные сокращения усиливаются и учащаются. Такую работу может обеспечить сильная сердечная мышца, способная выбрасывать в кровяное русло большое количество крови. Потребление кислорода миокардом может максимально увеличиться в 4-5 раз по отношению к уровню покоя, достигая 1,0-1,5 л/мин. При регулярной мышечной работе особенно утолщается стенка левого желудочка , он увеличивает силу своих сокращений и выбрасывает при каждом из них в большой круг кровообращения значительно больше крови, чем при относительном покое организма. Увеличение снабжения органов кровью у тренированных людей происходит не столько за счёт учащения сердечных сокращений, сколько за счёт значительного возрастания их силы. При напряжённой мышечной работе сердечный выброс может увеличиться в 5-6 раз по отношению к уровню покоя и достигать 24л/мин у мужчин и 18 л/мин у женщин[8]. Стенки сердца нетренированного человека значительно тоньше и сила их сокращений гораздо меньше. Пока такой человек находится в состоянии относительного покоя, работа его сердечной мышцы достаточна для снабжения кровью всех органов. Но когда нагрузка на организм возрастает, сила сокращений сердца может увеличиваться лишь в незначительной степени. Зато они становятся очень частыми. При напряжённой мышечной работе, например при продолжительном беге, сердце нетренированного человека может удвоить и даже утроить число сокращений в минуту. В сердечной мышце развивается утомление. Её сокращения становятся всё более слабыми, и количество крови, выбрасываемой в сосудистую систему, не в состоянии удовлетворить возросшие потребности организма. Перегрузка сердца ведёт к его ослаблению и может вызвать сердечное заболевание.

Кровь течёт по различным кровеносным сосудам с разной скоростью. Капиллярная сеть в нашем теле настолько разветвлена, что ширина всех этих тончайших сосудов вместе в 500 раз превышает просветы аорты. Вот почему скорость движения крови в капиллярах очень мала. Она равна примерно 0,5-1,2 мм в секунду.[5] Благодаря этому кровь успевает отдавать клеткам тела кислород и питательные вещества, а также насыщаться продуктами жизнедеятельности клеток. Капилляры собираются в вены, и общая ширина кровяного русла постепенно уменьшается. Поэтому движение крови в венах по мере приближения к сердцу становится более быстрым. Просветы каждой из двух полых вен по величине близки к просвету аорты. Значит скорость тока крови в них вдвое меньше, чем в аорте. Вот почему в единицу времени к сердцу по обеим полым венам притекает столько же крови, сколько выбрасывается им в аорту. «Закон равновесия между объёмом артериальной крови и объёмом венозной крови представляет собой основу всей гемодинамики. » [[1]](#footnote-1) Если в течение только одного часа приток венозной крови уменьшался бы лишь на один грамм при каждой диастоле, то была бы нехватка в 70-80 г в минуту, т.е. от 4 до 5 л в час (80\*60=4800), сердце опустело бы. Сердечные сокращения прекратились бы [1]. Кроме того, благодаря перераспределению крови в организме, интенсивная работа одного из органов не вызывает сколько-нибудь значительного увеличения частоты и силы сокращений сердца. Все эти процессы контролируются нервной и эндокринной системами.

Исходя из всего вышесказанного можно сделать вывод, что основными гемодинамическими компонентами организма являются кровь, сердце, сосуды, а основными характеристиками их работы являются состав крови, частота сердечных сокращений (ЧСС), систолический объём (СО), сердечный выброс (СВ), артериальное давление (АД) и другие.

1. Основные гемодинамические величины в покое и в условиях функциональных нагрузок

«Основными показателями центральной гемодинамики являются минутный и ударный объёмы крови и периферическое сопротивление».[[2]](#footnote-2) Между минутным объёмом крови и периферическим сопротивлением всегда должно быть точное соответствие, от этого зависит нормальный уровень артериального давления. Важнейшим показателем состояния сердечно- сосудистой системы является частота сердечных сокращений. Систематическая тренировка обуславливает ряд существенных изменений крови. Наиболее важными из них являются увеличение объёма крови и её плазмы, прирост концентрации эритроцитов и гемоглобина, повышение щелочного резерва крови. Эти изменения связаны с величиной максимального потребления кислорода, который в свою очередь характеризует мощность упражнений. Кроме мощности упражнения изменения всех гемодинамических величин связано со многими факторами: возрастом, полом и тренированностью спортсмена, длиной дистанции, временем выполнения упражнения, эмоциональным состоянием и природными условиями. Степень изменения гемодинамических показателей зависит в значительной мере от их исходных величин в состоянии покоя.

1.1 Основная терминология и принятые сокращения

В таблице 1 приведены основные гемодинамические характеристики, которые рассмотрены в данной работе, и отмечены общепринятые сокращения.

Таблица1.Основные гемодинамические характеристики

|  |  |
| --- | --- |
| Термин | Сокращение |
| Частота сердечных сокращений | ЧСС |
| Систолический объём | СО=СВ/ЧСС |
| Сердечный выброс  или  Минутный объём кровотока  или  Кровоток | СВ=СО\*ЧСС СВ=ПО2/АВР-О2, где ПО2- потребление кислорода в мин. (ПО2макс при максимальной аэробной нагрузке есть МПК)  МОК  Q=P/R, где Р-давление, R-сопротивление. |
| Артериальное давление  Давление крови | АД  Р=Q\*R, где Q-кровоток |
| Сосудистое или периферическое сопротивление | R=8\*L\*n/3.14\*R^4 |
| Объём циркулирующей крови. | ОЦК |
| Парциальное напряжение кислорода в крови | PaO2, PвO2 Парциальное давление  PaO2-PвO2 =АВР-О2 Арт.-вен. разность по О2 |

1.2 Частота сердечных сокращений

Частота сердечных сокращений (далее ЧСС) является, несомненно, самым важным показателем функциональной активности сердечнососудистой системы. Организм способен управлять ею быстро, гибко и точно.

В спортивной медицине различают четыре фазы динамики сердечной деятельности: «мышечный покой, переходный процесс врабатывания, устойчивое состояние (Steady-state) или относительно стабильная фаза и переходный процесс восстановления»[[3]](#footnote-3).

1.2.1 ЧСС в состоянии относительного мышечного покоя

Колебания ритма сердца в условиях мышечного покоя связано с дыхательными движениями, внешними раздражителями, психическим состоянием человека.

В естественных условиях клетки миокарда постоянно находятся в состоянии ритмического возбуждения. В задней стенке правого предсердия, вблизи вхождения в него верхней полой вены расположен сино- атриальный узел. По сравнению с другими частями проводящей системы сердца, он имеет более высокую частоту ритма возбуждения (около 70 импульсов в минуту). Возникающие в этом узле импульсы распространяются на предсердие и желудочки, стимулируя их. Поэтому сино-атриальный узел называется водителем ритма первого порядка сердца. Он определяет частоту сердечных сокращений в покое.[8]

ЧСС новорождённого составляет в покое 135-140 уд/мин, в 7 лет-85-90 уд/мин, в 14-15 лет приближается к данным взрослых и составляет 70-80 уд/мин. [3] ЧСС покоя у молодых нетренированных мужчин около 60-70 уд/мин. У женщин она выше (около75уд/мин).

В зависимости от направленности тренировочного процесса происходят изменения ЧССпокоя. Для каждого вида спорта имеется некоторая оптимальная ЧСС. В таблице 2 приведены данные о ЧСС, полученные при регистрации ЭКГ в покое в положении лёжа.

Таблица 2. Сравнительные данные о частоте сердечных сокращений в состоянии мышечного покоя у представителей разного вида спорта.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид спорта | Пол | Интервал ЧСС | Средняя ЧСС |
| Лыжники | м | 48,5-56,7 | 52,6 |
| Лыжники | ж | 53,6-61,2 | 57,3 |
| Баскетболисты | м | 56,9-66,5 | 61,7 |
| Баскетболисты | ж | 58,7-69,5 | 64,1 |
| Спринтеры | м | 61,8-71,6 | 66,7 |
| Спринтеры | ж | 65,3-74,3 | 69,8 |

Какая бы не была ЧСС у данного спортсмена, при нарастании тренированности она умеренно понижается, а при детренированности увеличивается. Физиологические изменения в организме, вызванные тренировкой выносливости, у женщин те же, что и у мужчин. Так, ЧССмакс снижается в связи с усилением перасимпатических влияний.

Отклонения ЧСС у спортсменов встречаются довольно часто, и не связаны ни с какими заболеваниями. Подобное наблюдается у высококвалифицированных спортсменов, тренирующихся в видах спорта на выносливость (лыжники, гребцы, велогонщики, бегуны на длинные дистанции и т.д.). ЧСС может снижаться до 60-40уд/мин, обычно по утрам, что связано с многолетними тренировками. Это следует оценивать как признак высокой функциональной способности сердца. Но если такие цифры возникли быстро, в течение 1-2 недель, и этому предшествовали усиленные тренировки в болезненном состоянии, то они могут быть признаками острой перегрузки сердца. «Снижение ЧСС (брадикардия) является специфическим эффектом тренировки выносливости (ЧСС в покое может быть ниже 30уд/мин, «рекордная» ЧСС покоя-21 уд/мин).»[[4]](#footnote-4) При одинаковом сердечном выбросе у спортсменов, тренирующих выносливость, ЧССпокоя на 10-20 уд/мин ниже, чем у неспортсменов или спортсменов скоростно-силовых видов спорта. В покое у нетренированных мужчин среднее значение ЧСС равно 70 уд/мин, у тренированных-55 уд/мин, а у выдающихся спортсменов-50 уд/мин. Механизмы спортивной брадикардии покоя разнообразны. Основную роль играет усиление парасимпатических тормозных влияний на сердце. Определённое значение имеет ослабление возбуждающих симпатических влияний, уменьшение выделения адреналина и норадреналина из коры надпочечников и снижение чувствительности сердца к этим симпатическим медиаторам. Снижение ЧСС у выносливых спортсменов компенсируется за счёт увеличения систолического объёма. Чем ниже ЧСС в покое, тем больше систолический объём.

При повышенной температуре воздуха (например, в жаркий день на солнце) у человека, находящегося в состоянии покоя, усиливается кожный кровоток, увеличивается сердечный выброс за счёт повышения ЧСС. При пониженных температурах ЧСС покоя остаётся неизменной, а скорость потребления кислорода повышается параллельно с увеличением сердечного выброса, за счёт увеличения систолического объёма.

У детей повышение температуры способствует увеличению ЧСС, понижение - уменьшению. У юных спортсменов, особенно тренирующихся в упражнениях на выносливость, в условиях относительного покоя, как и у взрослых, проявляется брадикардия. Однако выражена она меньше.

В горах понижается не только температура и относительная влажность, но и содержание кислорода и давление. В условиях пониженного давления ЧСС увеличивается.

Итак, из всех гемодинамических показателей наиболее простым и нашедшим широкое применение является исследование ЧСС.

1.2.2 ЧСС перед стартом и в процессе врабатывания

Врабатывание, как начальная фаза рабочего периода, определяется только при аэробных нагрузках. Переход от состояния покоя к максимально быстрым движениям осуществляется со стороны локомоторного аппарата почти мгновенно, менее чем за 1 секунду. ЧСС также очень быстро реагирует на такое возмущение, её резкое учащение начинается через 1-2сек после старта. ЧСС растёт быстрее, чем СВ и АД. Длительность переходного процесса врабатывания зависит от мощности физической нагрузки. Чем выше мощность, тем быстрее врабатывание. Причина этого состоит в том, что при мощной нагрузке в организме образуется значительный кислородный дефицит, составные элементы которого (метаболиты) являются стимуляторами роста функций. Чем квалифицированнее спортсмен, тем быстрее у него происходит врабатывание.

У нетренированного человека через несколько минут после начала напряжённой работы часто возникает особое состояние, называемое «мёртвой точкой» (иногда оно отмечается и у спортсменов). Чрезмерно интенсивное начало работы повышает вероятность появления этого состояния. Объективными признаками состояния «мёртвой точки» служат частое дыхание, высокая ЧСС и др.

Уровень и характер предстартовых сдвигов часто соответствует особенностям тех функциональных изменений, которые происходят во время выполнения самого упражнения. Например, ЧСС перед стартом в среднем тем выше, чем короче дистанция предстоящего бега, т.е. чем выше ЧСС во время выполнения упражнения.

У высококлассных спортсменов условно рефлекторная стимуляция сердца может достигать значительной степени. Например, многолетние наблюдения над ведущими фехтовальщиками показали, что величина ЧСС уже в предстартовом состоянии достигает 120 уд/мин.[2] При этом выявилось, что если спортсмен, к началу поединка не достигает привычных для себя цифр ЧСС, то он проигрывает первые схватки. Самые высокие предстартовые сдвиги ЧСС наблюдаются перед особо ответственными соревнованиями, достигая 160 уд/мин.[2] Предстартовые реакции сильно выражены при упражнениях субмаксимальной анаэробной (анаэробно-аэробной с преобладанием анаэробного компонента энергообеспечения) мощности (бег на 800м, плавание на 200м, бег на коньках 1000-1500м, заезды на 1км на велотреке), минимальное время упражнения от 1 до 2 мин. Мощность и предельная продолжительность этих упражнений таковы, что ЧСС в процессе выполнения может быть близка к максимальной для данного спортсмена. ЧСС на старте 120-130 уд/мин; при упражнениях максимальной анаэробной мощности (бег на 60-100м,спринтерская велогонка на треке, плавание на 50м, минимальная продолжительность упражнений- несколько секунд)- ЧСС до старта составляет около 140-150[7] уд/мин и во время упражнения продолжает расти, достигая наибольших значений сразу после финиша-80-90% от максимальной(160-180уд/мин)[3]; при упражнениях околомаксимальной анаэробной мощности( бег на 200-400м, плавание на 100м, бег на коньках на 500м, минимальная продолжительность 20-50сек)- ЧСС 150-160уд/мин[7]. Наибольших значений она достигает сразу после финиша или на финише (80-90% от максимальной). «У спринтеров, горнолыжников ЧСС на старте может достигать 160 уд/мин. Это связано с усилением деятельности симпатоадреналовой системы, активируемой лимбической системой головного мозга (гипоталамусом, лимбической долей коры). Активность этих систем увеличивается ещё до начала работы, о чём свидетельствуют, в частности, повышение концентрации норадреналина и адреналина».[[5]](#footnote-5) При аэробных упражнениях предстартовая ЧСС - не более 100 уд/мин[7].

1.2.3 ЧСС устойчивого состояния

В современной функциональной диагностике эта фаза ЧСС в ответ на физическую нагрузку имеет первостепенное значение. Наступление устойчивого состояния ЧСС можно определять с помощью прибора кардиотахографа визуально. Физиологический уровень ЧСС зависит от тренированности данного спортсмена к выполняемой нагрузке. Чем выше тренированность, тем ниже у него ЧСС в фазе устойчивого состояния. Это самая важная закономерность при оценке адаптации к выполняемой физической нагрузке по ЧСС.

Измеряя ЧСС в фазе устойчивого состояния на каждой ступени нагрузки при ступенчатом её повышении, получим график зависимости ЧСС от выполняемой мощности нагрузки. (Рис.1) Однако устойчивое состояние не является абсолютно устойчивым, так как при длительных нагрузках одной и той же большой мощности ЧСС увеличивается.



Рис.1.Зависимлсть ЧСС от мощности нагрузки.

Максимальные показатели работы сердца регистрируются при выполнении максимальной аэробной нагрузки. У нетренированных мужчин среднее значение ЧСС равно 200 уд/мин, у тренированных - 195 уд/мин, а у выдающихся спортсменов - 190 уд/мин. Максимум ЧСС у спортсменок выше, чем у мужчин и ниже, чем у нетренированных женщин (195 против 205уд/мин)[3]. Такая высокая ЧСС может быть как следствием продолжительной многолетней тренировки, так и конституциональных (врождённых) особенностей. Сердечно сосудистая система испытывает влияние наследственных факторов. ЧСС покоя не очень подвержена этому влиянию, хотя у нетренированных людей ЧСС покоя ниже 60 уд/мин, как правило, наследственно обусловлена. Максимальная ЧСС генетически предопределена (коэффициент наследственности 0,9). Без различия для пола и возраста[3].

При немаксимальных аэробных нагрузках ЧСС у спортсменов, как и у нетренированных людей, повышается линейно с увеличением нагрузки или скорости потребления кислорода. При одинаковой нагрузке (одинаковой скорости потребления кислорода) ЧСС у спортсменов ниже, чем у не спортсменов. Чем выше тренированность, тем ниже ЧСС. Снижение ЧСС при выполнении любой не максимальной аэробной работы является наиболее постоянным и наиболее выраженным функциональным изменением в деятельности сердца, связанным с тренировкой выносливости. Сравнительно низкая ЧСС при относительно большом систолическом объёме указывает на эффективную работу. В отличии от брадикардии покоя, которая у тренированного человека является в основном результатом усиления парасимпатического торможения, относительная рабочая брадикардия связана с уменьшением симпатических возбуждающих влияний на сердце.

У детей при напряжённых физических упражнениях максимальная ЧСС находится в обратной зависимости от возраста: чем младше ребёнок, тем она выше. В качестве простого правила определения ЧССмакс в школьном возрасте может служить следующая формула: 220-возраст. Например, у 10-летних ребят ЧССмакс составляет в среднем около 210 уд/мин (220-10). Таким образом, ЧССпокоя и любая ЧССрабочая при одинаковых немаксимальных аэробных нагрузках и ЧССмакс у детей выше, чем у взрослых.

1.2.4ЧСС в переходный процесс восстановления

Переходный процесс восстановления ЧСС начинается с момента прекращения нагрузки. После прекращения физической нагрузки ЧСС обычно начинает понижаться. Однако при кратковременных и интенсивных нагрузках она может повышаться и после них. Например,при упражнениях максимальной анаэробной мощности ЧСС достигает наибольших значений сразу после финиша-160-180уд/мин[3]; При нарастании длительности нагрузок растёт ЧССмакс. После нагрузки, но обычно не больше 10 секунд, по «инерции» вегетативных механизмов устойчивое состояние может несколько секунд сохранять свой уровень. Но, чем выше адаптируемость спортсмена к данной нагрузке, тем быстрее восстанавливается ЧСС. Это главная физиологическая закономерность переходного процесса восстановления.[2] Показатели кардио-респираторной системы (ЧСС, ЧД, АД, ЛВ и т.д) возвращаются к уровню покоя за 3-10 минут.[7] После интенсивных нагрузок образуется избыток кислорода (кислородный долг), который потребляется организмом в период восстановления. Время, необходимое для восстановления функционального состояния (ликвидации утомления), колеблется от минут до часов и даже суток. Это зависит от характера тренировочной нагрузки, её объема, интенсивности и направленности, индивидуальных особенностей спортсмена и т.п.

1.2.5 Определение интенсивности тренировочной нагрузки по ЧСС

«В настоящее время планирование тренировочных нагрузок (объём и интенсивность) проводится подчас не только в метрах или каких – либо других единицах, но и по ЧСС.»[[6]](#footnote-6)

Существует несколько физиологических методов определения интенсивности нагрузки при выполнении глобальных циклических упражнений (например, бег, велосипедный спорт) в процессе тренировки выносливости. Они основаны на определённой связи между интенсивностью аэробной нагрузки и физиологическими показателями во время её выполнения. Ввиду общей простоты и изученности чаще используется ЧСС.

В основе определения интенсивности тренировочной нагрузки по ЧСС лежит прямая связь между ними : чем больше аэробная циклическая нагрузка, тем выше ЧСС. Для определения интенсивности нагрузки используют относительные показатели ЧСС: относительная рабочая ЧСС или относительный рабочий прирост ЧСС, которые описаны в таблице3.

Таблица3. Относительные показатели ЧСС.

|  |  |
| --- | --- |
| Относительная рабочая ЧСС | Относительный рабочий прирост ЧСС |
| (%ЧССмакс) – это выраженное в % отношение ЧСС во время нагрузки, т.е. рабочей ЧСС (ЧССр), к максимальной для данного человека ЧСС (ЧССмакс):  %ЧССмакс = ЧССр/ЧССмакс\*100% | (ЧССорп) – это выраженное в процентах отношение рабочего прироста ЧСС (ЧССрп) к пульсовому рабочему резерву (ЧССрз):  ЧССорп = ЧССрп/ЧССрз\*100%,  Если ЧССрабочего прироста=90уд/мин, а ЧССрабочего резерва = 130 уд/мин то ЧССорп составляет почти 70% (90/130\*100%) . |
| Рабочая ЧСС(ЧССр) должна регистрироваться во время выполнения тренировочного упражнения или на протяжении первых 10 секунд сразу после его окончания. | Рабочим приростом ЧСС (ЧССрп) называется разница между ЧССрабочей и ЧССпокоя :  ЧССрп=ЧССр-ЧССп  Если ЧССрабочая составляла 160 уд/мин, ЧССпокоя-70уд/мин,то ЧССрп = 90 уд/мин (160-70) |
| Приближенно ЧССмакс рассчитывается по формуле:  ЧССмакс= 220- возраст(в годах).  Например, у мужчины 50 лет ЧССмакс в среднем равна 170 уд/мин(220-50). Однако, надо иметь в виду довольно значительные различия ЧССмакс у разных людей даже одного и того же возраста. | Пульсовой рабочий резерв (ЧССрз) – разница между ЧССмакс и ЧСС в условиях полного покоя у данного человека (ЧССп):  ЧССрз = ЧССмакс – ЧССп.  Например, у спортсмена с ЧССмакс = 200 уд/мин, и ЧССп, равной 70 уд/мин, ЧССрз составляет 130 уд/мин (200-70) |

При определении интенсивности тренировочных нагрузок по ЧСС используются три показателя : пороговая, пиковая и средняя ЧСС. Пороговая ЧСС – это наименьшая ЧСС (интенсивность),ниже которой не возникает тренирующего эффекта. Пиковая ЧСС – это наибольшая ЧСС (интенсивность), которая может быть достигнута, но не должна быть превышена в процессе тренировки. Средняя ЧСС – это ЧСС, которая соответствует средней интенсивности нагрузки данного тренировочного занятия. При определение интенсивности тренировочных нагрузок для молодых здоровых женщин и мужчин, занимающихся физкультурой, можно ориентироваться на относительные показатели ЧСС,приведенные в таблице 4.

Таблица 4. Примерные относительные показатели ЧСС для тренировки выносливости.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Показатель | Относительная ЧСС,% | Относительный рабочий прирос ЧСС, % |
| Порогов. ЧСС  Пиковая ЧСС  Средняя ЧСС | 75  95  85 – 95 | 60  90  80 – 90 |

Чем ниже уровень функциональной подготовленности (выносливости) человека, тем ниже должна быть интенсивность (абсолютная и относительная) тренировочной нагрузки: тренировочные занятия должны проходить при более низких относительных уровнях скорости потребления кислорода (%МПК) и ЧСС (%ЧССмакс или ЧССорп). Так, начинать заниматься бегом рекомендуется на уровне 50%-60% МПК или 60%-70% ЧССмакс.[3]

Простая формула для определегния тренировочной нагрузки по ЧСС 180-возраст. По мере роста тренированности относительная интенсивность нагрузки должна постепенно увеличиваться до 80-85 %МПК (до 95% ЧССмакс).[3] Примерные величины тренировочной ЧСС для людей разного возраста, рассчитанные по ЧССорп, приведены в таблице5.(ЧССпок принята за 75уд/мин.) [3]

Таблица 5. Примерные величины тренировочной ЧСС для людей разного возраста.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Возраст лет | ЧСС макс уд/мин. | Пороговая ЧСС | Пиковая ЧСС | Средняя ЧСС |
| 20 – 29  30 – 39  40 – 49  50 – 59  60 – 69 | 190  185  180  170  160 | 144  141  138  132  126 | 179  174  170  161  152 | 155  152  149  141  135 |

1.2.6 Врачебная оценка реакции на нагрузку по ЧСС

ЧСС и АД чаще всего используется для оценки состояния ССС. Считается что по ЧСС можно определить энергетическую стоимость работы. Принято считать, что увеличение ЧСС до 100-130 уд/мин наблюдается при нагрузке небольшой интенсивности, от 140 до 170- при средней , от 180 до 200- характеризует предельную нагрузку[4].

Оценка степени реакции на нагрузку должна обязательно учитывать не только её интенсивность, но и длительность. У людей с различным уровнем функционального состояния качественной разницы в реакции на нагрузку нет, разница есть только количественная. У больного, которому дали нагрузку в 10-20 шагов может быть такая же ЧСС и ЧД, как и у спортсмена, пробежавшего 100м. Исследование ССС является основным при врачебном контроле.

ССС обладает рядом механизмов, обеспечивающих доставку О2 к работающим мышцам и выведение из тканей СО2. Прежде всего, это гемодинамические факторы: увеличение ЧСС, СО , ускорение кровотока в 3 раза (эритроцит проходит большой круг кровообращения за 8сек вместо 24сек в покое), увеличение массы циркулирующей крови, а также изменение АД. Сердце спортсмена приспосабливается к длительной нагрузке в основном за счёт увеличения СО, меньше за счёт увеличения ЧСС. У нетренированных людей –больше за счёт увеличения ЧСС. Однако при нагрузке, требующей максимального напряжения в течение короткого времени (например, при спринте), сердце спортсмена может сокращаться с частотой, доходящей до 200 в минуту.

«Сочетание увеличения ЧСС, повышения максимального, уменьшение минимального и пульсового АД свидетельствует о хорошей приспособляемости к физической нагрузке. Другие изменения (например, резкое увеличение ЧСС, снижение максимального, повышение минимального и уменьшение пульсового АД) являются показателями плохой адаптации к нагрузке». [[7]](#footnote-7)

Разные величины сдвигов ЧСС зависят и от степени подготовки. При медицинском обследовании изменение ЧСС на первой минуте после нагрузки определяется в % к исходной величине. ЧССпокоя принимается за 100%, разница в её величинах до и после нагрузки за Х. Составив пропорцию, определяют на какую величину (%) увеличилась ЧСС. После 20 приседаний ЧСС в норме увеличивается в пределах 60-80% от исходного, после 2-х минутного бега- не более чем на 100%. Увеличение ЧСС выше этих цифр свидетельствуют об ухудшении функциональной способности сердца. При функциональной неполноценности ССС, при переутомлении, после заболеваний у спортсменов может наблюдаться гипотоническая или астеническая реакция на нагрузку. Процент увеличения ЧСС велик и составляет 120-150%, в то время как пульсовое давление повышается всего на 12-25% или даже снижается. Такая реакция считается неблагоприятной, потому что повышение функции кровообращения происходит не за счёт увеличения СО, а за счёт увеличения ЧСС.

У спортсменов при перенапряжении или переутомлении возможна гипертоническая реакция на нагрузку (значительное увеличение АДмакс и ЧСС). В основе гипертонической реакции -повышение периферического сопротивления.

У лиц старших возрастов, у спортсменов при переутомлении ухудшается реакция ССС к скоростной нагрузке. Увеличение ЧСС происходит за счёт неспособности быстро перераспределить кровь к работающим мышцам.

У здоровых спортсменов после очень тяжёлой мышечной работы, у лиц, перенёсших инфекционные заболевания, в норме у подростков и юношей возможна дистоническая реакция на нагрузку. При увеличении ЧСС и АДмакс (до 200мм рт.ст.) АДмин доходит до нуля, то есть определяется феномен бесконечного тона. Тон этот является следствием звучания стенок сосудов.

В медицине всё чаще оспаривают тот факт, что признаком высокого уровня состояния ССС является брадикардия. Поэтому если ЧСС у спортсмена меньше 30-40 уд/мин, то он обязательно должен быть подвергнут тщательному врачебному исследованию.

1.3 Систолический объём

Систолический объём (СО)- это количество крови, выбрасываемое каждым из желудочков сердца при одном сокращении (одну систолу). Эта величина, вместе с минутным объёмом крови (МОК) и периферическим сопротивлением является основным показателем центральной гемодинамики. СО характеризуется развитием неспецифических адаптивных реакций к стрессору (раздражителю) - (повышение уровня адреналина, глюкокортикоидов, уровня обмена веществ, формирующих гуморальный фон для адаптивных перестроек)[7].

1.3.1Теоретический расчёт систолического объёма сердца

Проведя приблизительные расчёты, можно вычислить соответствие между объёмом сердца, максимальным систолическим (ударным) объёмом и сердечным выбросом (минутным объёмом). Измеряя объём сердца, можно представить, что этот объём состоит из объёма четырёх камер сердца и объёма самой сердечной мышцы. Согласно медицинским заключениям, масса сердца у человека в среднем составляет 310грамм, а у активно тренирующихся спортсменов колеблется в пределах 300-550 грамм.[2]

1.Масса сердца зависит от объёма (согласно физической формулы m=ρ\*V,где m-масса, ρ - плотность,V-объём).

2. Если учитывать, что плотность мускулатуры сердца больше единицы, то согласно формуле, следующей из вышеуказанной V=m/p, объём миокарда в миллилитрах чуть меньше его массы в граммах.

3. Пусть ρ =1,033 – приблизительное значение плотности сердечной мышцы, m=310грамм - значение массы сердца, тогда объём миокарда, вычисленный по формуле V=310/1,033 приблизительно равен 300мл.

В таблице 6 приведён заключительный этап расчёта объёма сердца.

4. Если взять диастолический объём сердца (графа1 таблицы6) и вычесть из него приблизительное значение объёма миокарда (графа2 таблицы6), то получим суммарный объём четырёх камер.

5.Если делить эту цифру на 4 , получим приблизительно максимальный анатомический объём левого желудочка. Это можно назвать анатомическим ударным (систолическим) объёмом. Такие расчётные значения представлены в графе 3 таблицы 6.

Объём сердца (диастолический объём) у нетринерованных людей составляет в среднем 600-800 мл, а у спортсменов – до 1200 мл. Увеличение размеров сердца встречается у спортсменов-аэробников. Максимально известное значение 1700мл связано с названием «бычье сердце».[7]

Фактически сердце никогда не опорожняется в систоле до конца. Если считать, что минимальный остаточный объём крови в конце систолы составляет 10-15мл[2], получим анатомо-физиологический максимум (графа4 таблицы 6).

Таблица 6. Зависимость теоретического максимума систолического объёма (СО) крови от величины сердца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Диастолический объём сердца, мл | Предполагаемая масса миокарда, г | Анатомический СО, мл | Анатомо- физиологический максимум СО, мл |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1300  1200  1100  1000  900  800  700  600  500 | 450  400  350  300  275  250  225  200  175 | 212  200  187  175  156  137  118  100  82 | 200  190  177  165  146  127  108  95  80 |

Графическое выражение зависимости максимальных систолических и минутных объёмов крови от диастолического объёма сердца (размера сердца) (HV) представлено на рисунке 2.



Рисунок 2.Максимальные теоретически возможные значения МОК и СО в зависимости от диастолического объёма сердца (HV).

Расчётный СО можно получить также зная СВ (МОК) и ЧСС. (СО=СВ/ЧСС) При максимально интенсивной физической нагрузке у спортсменов пульс приблизительно повышается до 180 уд/мин. Если допускать, что сердце при такой частоте сокращения способно сохранить максимальный систолический объём, получим значения СО, представленные в таблице7.

Таблица 7. Величина систолического объёма крови в зависимости от минутного объёма крови, при частоте сердечных сокращений 180 уд/мин.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| МОК, л/мин | 36 | 34 | 32 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 |
| ЧСС | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| СОК, мл | 36000/180=200 и т.д. | 188 | 177 | 166 | 155 | 144 | 133 | 122 | 111 | 100 | 89 |

1.3.2 СО в покое и при физической нагрузке

СО в покое у нетренированных мужчин составляет в среднем 70-80мл/уд, у тренированных-90 мл/уд, у выдающихся спортсменов-100-120мл/уд. [3]

Наибольшие значения СО наблюдаются при максимальной аэробной нагрузке. СО у нетренированных молодых мужчин не превышает 120-130мл, у тренированных 150 мл/уд, тогда как у лучших представителей видов спорта, требующих проявления выносливости, он достигает 190-210мл.

По сравнению с мужчинами у женщин уменьшен ОЦК, а также объём сердца. Размеры полостей сердца у женщин в среднем меньше и меньше максимальный СО. У нетренированных женщин он составляет около 90мл, у выдающихся стайеров он достигает 140-150мл. [3]

Большой систолический объём при относительно сниженной ЧСС определяет и количество потребляемого кислорода, приходящееся на каждое сокращение сердца. Увеличение СО связано с дилятацией желудочков, повышением сократительной способности миокарда, увеличением венозного возврата к сердцу. Резервом для увеличении СО при физической работе является увеличение количества крови в желудочке после его сокращения (≈ 60мл)[7].

Фазы динамики сердечной деятельности связаны с периодом работы спортсмена. В предстартовом состоянии организм как бы готовится к предстоящей нагрузке. Существует некоторая зависимость СО от вида предстоящего упражнения. Например, в ожидании бега на средние дистанции систолический объём увеличивается значительно больше, чем перед спринтерским бегом. В период нагрузки большие аэробные возможности высококвалифицированных спортсменов в основном определяются высокой производительностью сердца, способного обеспечивать большой сердечный выброс, который достигается за счёт увеличения СО. Тип гипертрофии сердца определяется особенностями тренировочной деятельности. Увеличение СО и СВ в результате тренировки является признаком повышения эффективности работы сердца. Исходя из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что увеличенный максимальный СО возможен благодаря прежде всего:

-большим размерам желудочков сердца, то есть увеличенной конечно-диастолической и функциональной остаточной ёмкости желудочков;

-увеличенному венозному возврату крови к сердцу, что обеспечивается за счёт больших общего объёма циркулирующей крови и центрального объёма крови;

-повышенной сократимости миокарда, что обеспечивает более полное опорожнение желудочков, более полное использование резервного объёма крови тренированным сердцем;

Увеличение размеров сердца происходит двумя путями. Для спортсменов, тренирующих анаэробную выносливость с одновременным проявлением большой скорости и силы (представителей скоростно- силовых видов спорта (бег на короткие и средние дистанции, плавание, лыжный спорт то есть спринтеров, «средневиков» и т.д., которым необходимо в короткий срок развить большой СО, характерна гипертрофия миокарда (утолщение мышечной стенки желудочка до 2см). Благодаря этому в максимально короткое время обеспечивается большой сердечный выброс. Размеры полостей желудочков у них слегка увеличены, но гипертрофия стенок заметна. Способность увеличить СО почти такая же, как и у неспортсменов.

Для стайеров характерно явление дилятации (увеличение внутренней полости сердца) за счёт избыточного давления венозного возврата при физической нагрузке, увеличения объёма плазмы и ОЦК у спортсменов- аэробников. Спортсмены, тренирующие выносливость, имеют дилятированные желудочки и слегка увеличенную толщину их стенок. Дилятированное сердце работает эффективнее обычного за счёт увеличения СО и сократительной способности миокарда, как в покое, так и при физических нагрузках разной мощности. Это позволяет обеспечить необходимый СВ при меньшей ЧСС. Спортсмены с большим объёмом полостей сердца способны поддерживать большой СО даже при высокой ЧСС.

1.3.3 Зависимость СО от природных условий и возраста

У детей систолический объём крови с возрастом повышается. В 7 лет систолический объём крови составляет 23мл, в 13-16 лет-50-60мл. При мышечной работе СО у детей увеличиваются меньше, чем у взрослых.

По мере роста и развития детей при мышечной работе максимально возможный СО становится больше. В 8-9 лет он достигает 70мл, в 14-15 лет-100-120мл, к 18годам -110-130мл. Таким образом, с возрастом потенциальные возможности сердца повышаются. « Существенная особенность адаптации детского сердца состоит в том, что прирост сердечного выброса происходит преимущественно за счёт увеличения ЧСС при относительно невысоком повышении систолического объёма крови»[[8]](#footnote-8)

В условиях гипертермии : увеличивается ЧСС, снижается СО, что на фоне гемоконцентрации (увеличение вязкости крови и гематокрита) значительно увеличивает нагрузку на сердце. На холоде в покое происходит рост СО без изменения ЧСС. При понижении содержания кислорода в воздухе повышается веноконстрикция (сужение вен), что увеличивает венозный возврат и способствует увеличению СО при нагрузке. При адаптации к жизни и физической нагрузке в горах в остром периоде происходит снижения СО, что влечёт за собой уменьшение СВ.

1.4 Сердечный выброс (Минутный объём кровотока)

Сердечный выброс является общим показателем работы сердца. Синонимом понятию сердечный выброс (СВ) служит минутный объём кровотока (МОК).

Сердечный выброс прямо связан с систолическим объёмом и частотой сердечных сокращений и равен их произведению . Количественно он равен объёму крови, выбрасываемому каждым желудочком за 1 мин. Если учесть, что этот объём примерно одинаков, то можно утверждать, что объём крови, прокачиваемый каждую минуту левым сердцем через системную циркуляцию, равен объёму крови, прокачиваемой правым сердцем через лёгочную циркуляцию. Между МОК, периферическим сопротивлением и артериальным давлением всегда существует взаимосвязь. [2].

1.4.1 Теоретически возможные и реальные величины СВ

В покое у мужчин в равен 4-5 л/мин, у женщин-3-5 л/мин. При этом лишь 15-20 % СВ направляется к мышцам. Большая часть к внутренним органам брюшной полости, головному мозгу и сердцу. Если в состоянии мышечного покоя проявляются гиперфункции сердца, то возможно это связано с хронической перегрузкой сердца. Например, если у здорового спортсмена в покое СВ=3,75 л/мин при СО=66,9мл, то у спортсмена с хронической перегрузкой СВ=5,17л/мин при СО=85,5мл.[2]

С точки зрения диагностики максимальный СВ (МОК) является ценным, но трудноопределяемым показателем функционального состояния аппарата кровообращения. Легче определяется СВ в покое, но он не так информативен.

Максимальные, теоретически возможные значения МОК в зависимости от объёма сердца представлены на рисунке2. Реальные значения МОК обычно меньше этих цифр и зависят от многих причин: возраста, пола, размеров тела, объёма сердца, мощности работы, длины дистанции,времени выполнения упражнения, природных факторов и т.д.

Максимальный СВ у нетренированных мужчин составляет в среднем 24 л/мин, у хорошо тренированных спортсменов (тренирующихся на выносливость) и имеющих относительно большой объём сердца (1200-1300мл) минутный объём может достигать 30л/мин и выше. СВмакс зарегистрирован у лыжников и равен 42л/мин[7]. У нетренированных женщин-18 л/мин. У спортсменок он больше. У выдающихся лыжниц достигает 28-30л/мин.[2] Уменьшенный максимальный СВ у женщин лимитирован сниженным по сравнению с мужчинами систолическим объёмом.

При напряжённой мышечной работе СВ может увеличиваться в 5-6 раз по отношению к уровню покоя. При этом происходит перераспределение СВ: большая часть направляется к работающим мышцам, к миокарду, коже. У нетренированных людей в среднем при нагрузке СВ составляет 16 л/мин.

1.4.2 Зависимость СВ от объёма сердца

Максимальный МОК, а также МПК и максимальная физическая работоспособность существенно зависят от анатомической величины сердца. «Под величиной сердца подразумевается его объём в диастоле по внешнему контуру».[[9]](#footnote-9) В таблице 8 представлены величины объёма сердца у мужчин. При этом, если средний объём сердца у мужчин -850мл, то у женщин он меньше-600мл.[7]

Таблица8. Величины объёма сердца

|  |  |
| --- | --- |
| Вид спорта | Абсолютный объём сердца (мл) |
| Лыжный | 1073±42 |
| Велоспорт(шоссе) | 1030±20 |
| Спортивная ходьба | 970±28 |
| Баскетбол | 1125±30 |
| Современное пятиборье | 955±16 |
| Борьба | 953±24 |
| Теннис | 980±46 |
| Гимнастика | 790±24 |
| Прыжки в воду | 770±27 |
| Незанимающиеся спортом. | 760±11 |

У не занимающихся спортом объём сердца от двухлетнего возраста до глубокой старости находится в стабильных соотношениях: 11мл на 1кг массы тела. Чем больше в тренировках нагрузок на выносливость, тем больше этот показатель. У марафонцев и стайеров он находится в пределах 18-20мл/кг. Объём сердца у спортсменок в среднем заметно больше, чем у нетренированных женщин, и достигает размеров сердца у нетренированных мужчин. Максимальный объём сердца обнаружен у лыжницы-1150 мл [3]. Для каждого вида спорта существует свой оптимальный объём сердца. Чрезвычайно большие размеры сердца необходимо тщательно исследовать для раннего выявления чрезмерной гипертрофии. Интересно, что объём сердца у спортсменов зависит от тренировочной нагрузки и при прекращении тренировок он уменьшается. Тип гипертрофии сердца определяется особенностями тренировочной деятельности. Так как упражнения на выносливость характеризуются многократными, но относительно небольшими по силе сокращениями большого числа скелетных мышц, то требуют поддержания большого объёма СВ. В ответ на действие таких тренировочных стимулов возникает тоногенная дилятация (тонос-давление), т.е большое количество крови, заполняющей сердце, вызывает повышение конечно-диастолического давления.

1.4.3 СВ и мощность нагрузки

Способность сердца прокачивать большое количество крови по сосудам и обеспечивать высокую объёмную скорость кровотока через лёгкие определяет кислородтранспортные возможности. Потребление кислорода (ПО2) находится в прямой зависимости от СВ и от АВР-О2.

Из уравнения Фика

ПО2=СВ\*АВР-О2

можно вычислить значение сердечного выброса.

СВ= ПО2/ АВР-О2

Также

СВ=СО\*ЧСС

Между СВ и потреблением кислорода (мощностью работы) существует почти линейная зависимость. У нетренированных людей СО нарастает с увеличением рабочей нагрузки чаще всего до 40%МПК. При дальнейшем повышении нагрузки он заметно не меняется и СВ растёт почти исключительно за счёт увеличения ЧСС. У спортсменов СО часто увеличивается вплоть до максимальной аэробной нагрузки (мощность 95-100% МПК). Это означает, что рост СО ( наряду с повышением ЧСС ) является резервом для увеличения СВ при работе большой мощности, например, в беге на 1000-3000м, в беге на коньках на 3000-5000м, плавании на 400-800м, в заездах на 4000м на велотреке.

При немаксимальных аэробных нагрузках СВ у спортсменов в среднем такой же, как и у нетренированных людей. У спортсменов максимальная скорость потребления кислорода на единицу объёма тренированных мышц примерно в 1,5 раза выше, значит тренированным мышцам требуется меньше крови, чтобы получить такое же количество кислорода, следовательно доля СВ, направляемая к работающим мышцам, у спортсменов ниже. Поэтому к другим органам и тканям, например в чревную область и кожную сеть, может направляться больше крови. Значит, во время упражнений внутренние органы спортсмена снабжаются кровью лучше. Возможность направить более значительную часть СВ в систему кожной циркуляции означает, что у спортсменов лучше условия для усиления теплоотдачи. Температура тела у тренированного человека ниже, чем у нетренированного при выполнении одинаковой работы.

Максимальные аэробные нагрузки по мощности и продолжительности таковы, что, как правило, недоступны неспортсменам. Возможность их выполнения определяется высокой способностью кислородтранспортной системы доставить к работающим мышцам большое количество О2 в единицу времени, что обеспечивается большим СВ и увеличенного процента его, направленного к мышцам (до 85-90%). Несмотря на такой огромный процент, кровоснабжение других жизненно важных органов и тканей у высокотренированного спортсмена лучше, чем у слаботренированных людей.

Одним из главных эффектов тренировки выносливости является увеличение максимального СВ за счёт увеличения СО. Резервом для увеличения СО при физической работе является увеличенная остаточная ёмкость сердца.

Большое МПК у спортсменов обусловлено , в основном, большими значениями максимального СВ, например, у шведских лыжников, при МПК равном 6л, СВ составил 38-42 л/мин[7].

1.4.4 Зависимость СВ от природных условий и возраста

При высокой температуре в условиях прямого нагревания тела в состоянии покоя СВ увеличивается за счёт увеличения ЧСС, избыточный СВ направляется в кожные сосуды для усиления теплоотдачи. При выполнении работы СВ в жарких условиях также выше. Из-за ухудшения мышечного кровотока работоспособность снижается, так как увеличивается доля СВ, направляемая в кожные сосуды. В холодных условиях величина СВ также растёт. Скорость потребления кислорода в покое повышается параллельно с увеличением СВ. Так при температуре воздуха 5градусов скорость потребления кислорода и СВ у обнажённого человека увеличиваются вдвое.

На высоте (в горах) пониженное насыщение крови кислородом при выполнении субмаксимальной аэробной работы (бег 30-42 км, лыжные гонки 20-50км,спортивная ходьба до 20км) компенсируется увеличением СВ за счёт увеличения ЧСС. СВмакс при предельных аэробных нагрузках одинаков на уровне моря и на высоте, но достигается в горах при менее интенсивной работе. Важным механизмом увеличения СВ на высоте является усиленная веноконстрикация(увеличивается центральный объём крови и венозный возврат). При адаптации к жизни и физической нагрузке в горах происходит уменьшение СВ за счёт снижения СО.

У детей сердечный выброс с возрастом повышается. Увеличение сердечного выброса определяется ростом СО. В покое в возрасте 6-9 лет сердечный выброс равен 2,6 л/мин, в 10-12лет-3,2л/мин, в 13-16 лет-3,8л/мин. При мышечной работе СВ у детей увеличиваются меньше, чем у взрослых. У детей 8-9 лет при напряжённой мышечной деятельности сердечный выброс может достигать максимально 13-16 л/мин, у подростков 14-15 лет- 20-24 л/мин. Следовательно, в возрасте 8-9 лет по сравнению с покоем СВ увеличивается в 4 раза, в 14-15 лет- в 5-6 раз, у 18-летних- в 6-7 раз.[3] Прирост СВ происходит преимущественно за счёт увеличения ЧСС, при относительно невысоком повышении СО.

К старости существенно снижается способность сердца к максимальным напряжениям, что проявляется в возрастном уменьшении максимальной частоты сердечных сокращений (хотя ЧСС в покое изменяется незначительно).С возрастом функциональные возможности сердца снижаются даже при отсутствии клинических признаков ишемической болезни сердца. Так, ударный объем сердца в покое в возрасте 25 лет к 85 годам уменьшается на 30 %, развивается гипертрофия миокарда. МОК в покое за указанный период уменьшается в среднем на 55-60 %. Возрастное ограничение способности организма к увеличению ударного объема и ЧСС при максимальных усилиях приводит к тому, что МОК при предельных нагрузках в возрасте 65 лет на 25-30 % меньше, чем в возрасте 25 лет.

1.5 Артериальное давление

АД- артериальное или кровяное давление, измеряется в миллиметрах ртутного столба. Создаётся силой сердечного выброса при сокращении миокарда желудочков и сократительной способностью артерий мышечного типа. САД- систолическое АД - максимальное давление крови на стенку аорты, достигаемое в момент СВ, ДАД – диастолическое АД- давление крови с которым она возвращается в предсердие в диастоле. «Нормативы АД (100-129 мм рт.ст. для максимального и 60-79 мм рт.ст. для минимального) для лиц до 39 лет подтверждены серией работ последнего времени.»[[10]](#footnote-10)

Гемодинамический удар – это прирост давления, связанный с превращением кинетической энергии крови в давление. Конечное систолическое давление есть сумма потенциальной и кинетической энергии, которой обладает масса крови, движущаяся на определённом участке сосудистой системы. Наилучшей методикой для определения давления является механокардиография.[2]

« Артериальное давление в состоянии мышечного покоя у спортсменов должно находиться в пределах общепринятых норм. Верхней границей нормы для систолического давления у лиц от 21 года до 60 лет является 140 мм рт.ст., для диастолического-90мм рт.ст.»[[11]](#footnote-11) Истинное диастолическое давление практически никогда не бывает менее 50мм рт.ст.[2] Уровень АД у здоровых людей нестабилен и колеблется в течение суток в зависимости от влияния различных факторов. Эти колебания обычно не превышают 10 мм рт.ст.[9]

В норме при физической нагрузке ЧСС и АД меняются однонаправлено. АД реагирует на нагрузку повышением максимального давления, что указывает на увеличение силы сердечных сокращений, и некоторым снижением минимального АД, так как уменьшается периферическое сопротивление вследствие расширения артериол, что обеспечивает доступ большего количества крови к работающим мышцам. Соответственно повышается пульсовое давление. Все эти изменения возвращаются к исходным данным через 3-5 мин, причём, чем быстрее это происходит, тем лучше функция ССС. Такая реакция называется нормотонической и является благоприятной. Чем интенсивнее нагрузка, тем выраженнее изменения АД. Помимо нормотонической, встречается ещё 4 типа реакций: гипотоническая, гипертоническая, реакция со ступенчатым подъёмом максимального АД и дистоническая.

По изменению АДмакс, измеряемого обычно вместе с ЧСС, по степени его повышения можно судить о степени физической нагрузки. При небольшой по интенсивности нагрузке АДмакс повышается до 130-140 мм рт.ст., при средней интенсивности до 140-170, при большой до 180-200 мм рт.ст. При чрезмерно больших физических и эмоциональных напряжениях АД может достигать 220-240 мм рт.ст.[2] Минимальное АД, обычно, при физической нагрузке уменьшается. Однако АДмин может не меняться или даже повышаться. Это может быть показателем того, что организм плохо приспосабливается к физической нагрузке. Занятия спортом способствуют снижению АД, однако АД не выходит за пределы нормы.

Уровень АД зависит от направленности тренировочного процесса. На первом месте по склонности к повышения АД стоят штангисты и все тяжелоатлеты (21,2%). Далее идут футболисты(16,6%), волейболисты (15,6%), конькобежцы ( 14,2%), гребцы (13,6%), борцы (12,6%), лыжники (11,6%), легкоотлеты (10,6%).Диаметрально противоположное влияние на уровень АД оказывают занятия спортивной гимнастикой. Гимнасты возглавляют группу спортсменов с наклонностью к понижению АД. Учитывая наследственность, детям, родители которых страдают гипертонической болезнью, рекомендуют заниматься видами спорта, тренирующими выносливость. Наклонность к гипотонии даёт все основания рекомендовать тренировки на развитие силы.[2] Рациональные занятия спортом не могут быть причиной повышения АД. У слабо тренированных спортсменов возможно острое утомление, при котором максимальное АД повышается на 40-60мм рт.ст и резко снижается минимальное.[6]

1.5.1 Врачебная оценка реакции на нагрузку по АД

АД является одним из наиболее простых гемодинамических показателей, нашедших широкое применение в исследовании сердечно-сосудистой системы при врачебном контроле, как в покое, так и при нагрузке. Разные величины сдвигов АД зависят и от степени подготовки обследуемого. При медицинском обследовании степень изменений АД на первой минуте после нагрузки определяется в % к исходной величине. АД в покое принимается за 100%, разница в её величинах до и после нагрузки за Х. Составив пропорцию определяют на какую величину (%) увеличилось АД После 20 приседаний Максимальное АД не должно возрастать более чем на 15-30%, а минимальное уменьшаться более чем на 10-35 %.

Уровень АД чётко отражает степень утомления. Обычно при нарастании утомления АД повышается на 20 – 50 мм.рт ст. При остром утомлении после большёй физической нагрузки минимальное давление падает до нуля (феномен бесконечного тона). В процессе диагностики утомления проводятся различные тесты и пробы.

Среднее АД – является одним из важных параметров гемодинамики.[6] Математический метод вычисления среднего давления:

среднее АД= АДдиаст.+ АДпульсов./2.

Наблюдения показывают, что при физическом утомлении среднее АД повышается на 10 – 30 ммртст.

По характеру восстановления АД после кратковременных интенсивных нагрузок (15с бег на месте в максимальном темпе) различают 5 типов реакции на нагрузку. Нормальной считается нормотонический тип реакции, другие варианты считаются атипическими.[2]

Гипотоническая (астеническая) реакция на нагрузку заключается в незначительном повышении или понижении максимального АД при практически неизменном пульсовом давлении. Такая реакция на нагрузку считается неблагоприятной. Не только у лиц, страдающих гипертонической болезнью, но и у спортсменов при физическом перенапряжении или переутомлении возможна гипертоническая реакция на нагрузку. Она характеризуется значительным увеличением максимального АД ( иногда свыше 200 мм рт.ст). К гипертонической реакции относится также повышение минимального АД свыше 90 мм рт.ст. без значительного повышения максимального. В основе гипертонической реакции лежит повышение периферического сопротивления. Время восстановления при этой реакции замедленно.

У лиц старших возрастов, у спортсменов при переутомлении ухудшается реакция сердечно-сосудистой системы к скоростной нагрузке. Ступенчатый подъём максимального АД происходит за счёт неспособности организма достаточно быстро обеспечить перераспределение крови к работающим мышцам.

У здоровых спортсменов после очень тяжёлой мышечной работы, у лиц, перенёсших инфекционные заболевания, в норме у подростков и юношей возможна дистоническая реакция на нагрузку. При значительном увеличении ЧСС и максимального давления (до 200мм рт. ст.) минимальное давление, определяемое слуховым методом Короткова, доходит до нуля, то есть определяется феномен бесконечного тона. Этот феномен не отражает истинного уровня минимального АД, которое фактически значительно выше. Тон этот является следствием звучания стенок сосудов, амплитуда и частота колебаний которых изменяется под влиянием различных факторов.

Гипертонические состояния у спортсменов встречаются чаще(11,07%), чем у лиц, не занимающихся спортом(9,9%). Становление гипертонической болезни может осуществляться различными гемодинамическими механизмами. При этом в начальный период заболевания в повышении АД более значительна роль увеличенного СВ, тогда как в более поздние периоды возрастает роль периферического сопротивления сосудистой сети.[2] Спортсмен подлежит тщательному клиническому обследованию, чтобы решить вопрос, проявлением чего является это повышенное давление: гиперреактивности сосудодвигательных центров или гипертонической болезни. При установлении диагноза гипертонической болезни должны быть запрещены занятия спортом и рекомендованы занятия оздоровительной физкультурой.[9]

У спортсменов с гипотонией вследствие переутомления имеют место начальные нарушения функции сосудодвигательных центров, эта гипотония является предпатологическим состоянием и необходимо провести мероприятия для предупреждения нейроциркуляторной гипотонии ( регламентировать рабочий день, снизить или полностью снять тренировочные нагрузки, увеличить продолжительность ночного сна и т.д.) Физиологическая гипотония у спортсменов не является проявлением патологии. Снижение АД происходит не за счёт нарушения сократительной функции миокарда, а за счёт избыточного расширения прекапилляров. Физиологтическая гипотония не является препятствием к занятиям спортом. Гипотония, возникающая при переутомлении, требует соответствующего отдыха. Для больных гипотонической болезнью рекомендованы занятия оздоровительной физкультурой.[9] . Для спортсменов с физиологической гипотонией высокой тренированности характерно замедление скорости кровотока, как следствие экономизации обменных процессов.[2]

При контроле за АД следует обращать внимание на граничные показатели.

1.5.2 Зависимость АД от природных условий и возраста

Величина АД у спортсменов и у не занимающихся спортом зависит от пола и возраста. Повышенное АД у мужчин обнаруживают в 3 раза чаще, чем у женщин. Но возрастной рост АД у женщин выше. В возрасте от 15 до 17 лет процент спортсменов с повышенным АД среди мужчин составляет 11,2 и увеличивается к 30 годам и старше только в 2 раза. Среди женщин в возрасте 15-17 лет процент спортсменок с повышенным АД равен 4,3 и увеличивается почти в 3,5 раза- 15,9% к 30-ти годам.[9]

На частоту гипотонии у спортсменов оказывают влияние: пол, возраст, спортивный стаж, уровень мастерства, специализация и тренировочный период. У женщин она встречается в 2 с лишним раза чаще, чем у мужчин (соответственно 26 и 12,8%). Чем старше спортсмены, тем гипотония встречается реже. Так в возрасте 18-19 лет она определяется в 22%, в 20-24года- в 17%, в 25-28лет- в 15%, в 30-34 года- в 15,9%, в 35-39лет- в 10,8%, старше 40 лет- в 7,7%. Процент спортсменов с гипотонией увеличивается с ростом спортивного стажа, но при стаже более 16 лет частота гипотонии снижается, так как преобладающее влияние начинает оказывать возрастной фактор.[4]

Величина АД у детей в покое и при нагрузке имеет ряд специфических особенностей. По мере роста детей увеличивается просвет кровеносных сосудов. В результате повышается ОЦК и создаются условия для лучшего кровоснабжения тканей кислородом и удаления продуктов распада. Наряду с расширением просвета сосудов образуются новые кровеносные сосуды. Это особенно характерно для детей, активно занимающихся физкультурой и спортом. Формирование новых сосудов и их коллатералей в результате регулярной мышечной деятельности приводит к усилению периферического кровообращения. С возрастом повышается АД. Так, в 11 лет САД в покое равно 95, а в 15 лет – 109 мм. рт. ст.; АДмин в 11 – 13 лет равно 83, а в 15- 16 лет – 88 мм. рт. ст. У подростков и юношей 13 – 16 лет иногда отмечается временное повышение систолического давления до 130 – 140 мм. рт. ст. (Юношеская гипертония). Это связывают с тем, что развитие сердца и кровеносных сосудов происходит нередко несинхронно.Так, у 11 – 12- летних школьников при выполнении упражнений максимальной мощности систолическое давление увеличивается в среднем на 32 мм.рт.ст. , а у подростков и юношей 15 – 16 и 18 – 20 лет соответственно на 45 и 50 мм.рт.ст. Возрастные изменения сердечно сосудистой системы отражают особенности регуляции кровообращения растущего организма. В первые годы жизни заметно преобладают симпатические влияния. По мере развития организма это преобладание становится менее выраженным на фоне усиления влияния блуждающего нерва. В результате организуется такое взаимоотношение симпатических и парасимпатических влияний, которое обеспечивает эффективную деятельность сердечно сосудистой системы как в покое, так и (особенно) при напряженных физических упражнениях. У юных спортсменов различные эмоции быстрее и сильнее отражаются на сердечно – сосудистой системе, чем у взрослых. Продолжительные отрицательные эмоции могут нарушить регуляцию сердечно – сосудистой системы и, естественно, неблагоприятно отразится на спортивных движениях.[3]

К 60-70 годам САД повышается на 10-40 мм рт. ст. Если принимать во внимание тот факт, что органы и большие сосуды содержат только 10% количества циркулирующей крови [1], то причиной повышения давления, особенно у пожилых людей, можно считать расстройство циркуляции крови в области капилляров. Уменьшение сократимости капилляров, замедление потока крови, уменьшение количества открытых капилляров, увеличение сопротивления в периферическом кровообращении вызывает гипертонию. «С точки зрения гемодинамики, изменение циркуляции в капиллярах должно рассматриваться как основной фактор старческих нарушений в кровообращении.»[[12]](#footnote-12)

В условиях гипобарии кислородтранспортная система работает неэффективно. При горной адаптации снижается периферическое сосудистое сопротивление (рефлекторно, через гипоксический фактор), что способствует лучшему кровоснабжению мозга и компенсирует явление гемоконцентрации. Без такого компенсаторного расширения вязкость крови создавала бы большую нагрузку на сердце. Из-за меньшего давления воздуха на кожные сосуды, они расширяются, что приводит к снижению АД.

При высокой температуре АД. С расширением кожных сосудов уменьшается общее периферическое сосудистое сопротивление. При неизменном СВ это ведёт к падению давления, которое постепенно снижается, вплоть до уровня, вызывающего сосудистый коллапс (обморок) Особенно резко АД падает из- за снижения СВ. Это происходит , когда ЧСС достигает максимально возможного для данного человека уровня, а систолический объём продолжает уменьшаться.[3]

1.6 Сосудистое или периферическое сопротивление

Гемодинамика рассматривает кровь с точки зрения гидродинамики- раздела физики, изучающего движение жидкостей. При турбулентном (хаотическом) течении крови, которое отличается интенсивным перемешиванием, теплообменом, большими значениями коэффициента трения потеря энергии (сопротивление) возрастает. Движение крови по сосудам встречает противодействие. Это противодействие является сопротивлением кровотока (R) или периферическим сопротивлением.

1.6.1 Основное уравнение гемодинамики

Гемодинамика рассматривает давление и сопротивление во взаимосвязи с кровотоком (Q).[8] Кровоток равен объёму крови, проходящему через кровеносные сосуды за единицу времени. Для большого и малого круга кровообращения это и есть СВ или МОК. Согласно основному уравнению гемодинамики: Q=P/R. Между МОК и периферическим сопротивлением существует обратно пропорциональная и нелинейная взаимосвязь. Чем больше МОК, тем меньше должно быть периферическое сопротивление[2].

Периферическое сопротивление сосудистой системы складывается из множества отдельных сопротивлений каждого сосуда. Любой из таких сосудов можно представить в виде трубочки, сопротивление в которой определяется по формуле Пуазейля: R=8\*ℓ\*η/πr^4,

Где ℓ-длина трубки ;η- вязкость крови; r- радиус сосуда, π- отношение длины окружности к его диаметру (≈3,14)

Подставляя эту формулу в основное уравнение гемодинамики, получим формулу Пуазейля-Хагена:

Q=(Pa-Pв)/R => Q=(Pа-Рв)/ (8\*ℓ\*η/πr^4),=>Q=((Pa-Pв)\* πr^4)/ 8\*ℓ\*η

Из этого уравнения следует, что объёмная скорость кровотока прямо пропорциональна радиусу сосуда в четвёртой степени и обратно пропорциональна его длине и вязкости крови.

1.6.2 Сосудистое сопротивление и скорость кровотока

Существует понятие объёмной (Vоб) и линейной (Vлин) скорости кровотока. Vоб измеряется в мл/сек. Зная её можно рассчитать Vлин , которая выражается в см/сек. Vлин отражает скорость продвижения частиц крови вдоль сосуда и равна Vоб , делённой на площадь сечения кровеносного сосуда.

Vлин различна для частиц, продвигающихся в центре сосуда и у стенок. В центре сосуда она максимальна, около стенки - минимальна. Здесь особенно велико трение частиц крови о стенку. Vлин в последовательных участках сосудистой цепи не одинакова. В условиях покоя Vлин в аорте= 20 см/сек, в артериолах-1,5 см/сек, в капиллярах- 0,3 мм/сек. Площадь поперечного сечения верхней и нижней полой вены, взятая вместе в 2 раза больше площади сечения аорты. Vлин в полых венах- 5 см/сек.[8] Во время мышечной работы Vлин возрастает пропорционально мощности нагрузки.

Замедление скорости кровотока, считавшееся основным признаком развития сердечной недостаточности, встречается также у высокотренированных спортсменов и зависит от расширения кровеносного русла.[4]

1.6.3 Регуляция сосудистого сопротивления

Организм имеет мощную систему рецепторов и регуляторный аппарат, которые заботятся о точном соответствии между МОК и R. От этого зависит нормальный уровень АД.[2]

Уже в самом начале физической работы, в период разминки усиливается деятельность всех звеньев кислородтранспортной системы, в том числе расширяются капиллярные сети в лёгких, сердце, скелетных мышцах. Это приводит к усилению снабжения тканей кислородом. В результате разминки снижается вязкость крови. Во время мышечной работы кровоток в активных мышцах может в 20-30 раз превысить кровоток покоя. Регуляция мышечного кровообращения осуществляется благодаря двум способам регуляции просвета мышечных сосудов- внешнему (нейрогуморальному) и внутреннему (ауторегуляторного).[8] Сосуды находятся в тонусе, благодаря наличию в мышцах стенок автоматии. Кроме того сосудодвигательный центр, обеспечивающий сужение артерий находится в продолговатом мозге и состоит из двух отделов: прессорного и депрессорного. Раздражение прессорного отдела вызывает сужение артерий и подъём АД, а депрессорного- расширение артерий и падение АД. Сужение сосудов происходит также благодаря хеморецепторам, которые реагируют на снижение О2 и повышение СО2 в крови. Часть гармонов сужает артерии. К ним относятся: адреналин и норадреналин, вазопрессин, серотонин. К сосудорасширяющим веществам относятся простогландины, ацетилхолин и гистамин и др. Регуляция просвета сосудов обеспечивает не только необходимый уровень кровотока, но и регулирует сосудистое сопротивление, за счёт которого поддерживается перфузионное давление и объём сосудов приспосабливается к ОЦК.

И.М Сеченов назвал артериолы и преартериолы «кранами кровеносной системы».Их суммарная пропускная способность составляет периферическое сопротивление[2]. Избыточное их расширение приводит к гипотонии.

Самые маленькие разветвления лёгочной артерии имеют мышечный слой и способны выносить значительные изменения диаметра. Этот диаметр может быть сокращён втрое. А уменьшение диаметра втрое означает уменьшение поверхности поперечного сечения в 9 раз и повышение сопротивления приблизительно в 27 раз.[1] Изменение циркуляции в капиллярах является очень важным.

Общая поверхность капилляров мышечной системы взрослого человека огромна. Диаметр капилляров может меняться в 2-3 раза. Он колеблется в пределах от 5-6 мк, до20-30мк. При максимальном тонусе капилляры могут настолько сузиться, что не пропускают кровяных телец (может просачиваться только плазма). При резком расслаблении тонуса стенок в их расширенном просвете скопляется много крови.[1] Уменьшение капиллярного кровоснабжения мозга вызывает расстройства кровообращения и питания нервных центров.

1.6.4 Зависимость от природных условий и возраста

В условиях прямого нагревания тела в покое увеличивается кожный кровоток. С расширением кожных сосудов общее периферическое сосудистое сопротивление (R) снижается. Во время продолжительной работы в жарких условиях задача обеспечения кровоснабжения работающих мышц с одновременным усилением кожного кровотока усложняется из-за уменьшения ОЦК и повышения вязкости. Максимально возможная Vоб кожного кровотока -7-8 л/мин. Во время работы даже при очень высокой температуре кожный кровоток не превышает 3-4 л/мин[3]. Следовательно, кожные сосуды несколько сужены (состояние активного сосудистого тонуса). По мере продолжения работы кожные сосуды расширяются , ещё большее количество крови направляется в кожную сосудистую сеть, а кровоснабжение работающих мышц ухудшается.

Основные механизмы защиты тела от теплопотерь в условиях холода - сужение кожных сосудов и усиление теплопродукции в теле.

В горах высотная гипервентиляция вызывает усиленное выведение СО2 из крови с выдыхаемым воздухом. По мере подъёма на высоту напряжение СО2 в артериальной крови уменьшается, то есть развивается гипокапния, которая может вызвать развитие мышечных спазмов и обширную вазоконстрикцию. Особенно неблагоприятно для человека сужение сосудов головного мозга. В горах повышается вязкость крови, что в свою очередь ведёт к повышению R и тем самым влияет на гемодинамику. У акклиматизированных к высоте жителей равнины R снижено. Стимулом для расширения коронарных сосудов, сосудов головного мозга и всех других сосудов служит гипоксия(понижение содержания О2). Без такого компенсаторного расширения увеличенный объём крови, её повышенная вязкость и низкое насыщение кислородом создавали бы очень большую нагрузку для работы сердца.

Возрастные изменения отражаются как на деятельности сердца, так и на состоянии периферических сосудов. К старости снижается эластичность крупных артерий, повышается R, в результате чего происходит повышение АД.

1.7 Объём циркулирующей крови (ОЦК)

Кислородтранспортные возможности организма зависят от объёма крови и содержания в ней гемоглобина.

Объём циркулирующей крови в покое у молодых женщин составляет в среднем 4,3л, у мужчин-5,7л. При нагрузке ОЦК сначала увеличивается, а затем уменьшается на 0,2-0,3л из-за оттока части плазмы из расширенных капилляров в межклеточное пространство работающих мышц[7].При длительных упражнениях среднее значение ОЦК у женщин равно 4 л, у мужчин-5,2л.[3] Тренировка выносливости ведёт к повышению ОЦК. При нагрузке максимальной аэробной мощности ОЦК у тренированных мужчин в среднем равен 6,42л[3]

ОЦК и её составляющие: объём циркулирующей плазмы(ОЦП) и объём циркулирующих эритроцитов(ОЦЭ) повышаются при занятиях спортом. Увеличение ОЦК является специфическим эффектом тренировки выносливости. Его не наблюдается у представителей скоростно-силовых видов спорта. С учётом размеров(веса) тела разница между ОЦК у выносливых спортсменов , с одной стороны, и нетренированных людей и спортсменов, тренирующих другие физические качества, с другой, в среднем составляет более 20%. Если ОЦК у спортсмена, тренирующего выносливость, равна 6,4литра (95,4мл на 1кг веса тела), то у нетренированных она равна5,5 л (76,3мл/кг веса тела).[3]

В таблице 9 приведены показатели ОЦК,ОЦЭ,ОЦП и количества гемоглобина на 1 кг веса тела у спортсменов с различной направленностью тренировочного процесса.[4]

Таблица 9. Показатели ОЦК,ОЦЭ,ОЦП и количества гемоглобина у спортсменов с различной направленностью тренировочного процесса.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Показатели | Направленность тренировочного процесса | |
| Скорость(10чел) | Выносливость(10чел) |
| ОЦК(мл/кг)  ОЦЭ(мл/кг)  ОЦП(мл/кг)  Гемоглобин(г/кг) | 84,8±3,0  37,3±1,6  47,5±1,9  12,4±0,5 | 94,7±3,1  40,8±2,0  53,9±1,9  14,0±0,8 |

Из таблицы 9 следует, что при увеличении ОЦК у выносливых спортсменов пропорционально увеличивается и общее количество эритроцитов и гемоглобина крови. Это значительно повышает общую кислородную ёмкость крови и способствует увеличению аэробной выносливости.

Благодаря увеличению ОЦК растёт центральный объём крови и венозный возврат к сердцу, что обеспечивает большой СО крови. Увеличивается кровенаполнение альвеолярных капилляров, что повышает диффузную способность лёгких. Увеличение ОЦК позволяет направлять большее количество крови в кожную сеть и таким образом увеличивает возможность организма для теплоотдачи во время длительной работы.

В период врабатывания АД,СО,СВ, АВР-О2 растут медленнее чем ЧСС. Причина этого- медленный рост(2-3мин) объёма циркулирующей крови вследствие медленного выхода крови из депо. Быстрый рост ОЦК может оказать травмирующую нагрузку на сосудистое русло[7].

Во время нагрузок большой аэробной мощности через сердце прокачивается большое количество крови с высокой скоростью. Излишек плазмы даёт резерв, позволяющий избежать гемоконцентрацию и увеличение вязкости. То есть у спортсменов увеличение ОЦК, обусловленое больше увеличением объёма плазмы, чем объёмом эритроцитов, приводит к снижению показателя гематокрита (вязкости крови) по сравнению с не спортсменами (42,8 против44,6)[3].

Благодаря большому объёму плазмы уменьшается концентрация в крови продуктов тканевого обмена, например молочной кислоты. Поэтому концентрация лактата при анаэробной нагрузке растёт медленнее.

Механизм роста ОЦК состоит в следующем: рабочая гипертрофия мышц => возрастание запроса организма в белках => повышение продукции белка печенью => увеличивается выброс белков печенью в кровь => повышается колоидно- осматическое давление и вязкость крови => рост абсорбции воды из тканевой жидкости внутрь сосудов а также происходит задержка воды, поступающей в организм => увеличивается объём плазмы (основу плазмы составляют белки и вода) => рост ОЦК[7].

«Объём циркулирующей крови - доминирующий фактор хорошо уравновешенного кровообращения.»[[13]](#footnote-13) Уменьшение ОЦК , накопление крови в депо( в печени, в селезёнке, в сети воротной вены) сопровождается уменьшением объёма крови, которая прибывает к сердцу и которая выбрасывается каждой систолой. Внезапное уменьшение ОЦК ведёт за собой острую сердечную недостаточность. За уменьшением объёма крови, естественно, всегда следует серьёзная тканевая и клеточная гипоксия.

ОЦК ( по отношению к весу тела) зависит от возраста: у детей до 1 года-11%, у взрослых-7%. На 1кг веса тела у детей 7-12 лет-70мл, у взрослых-50-60мл.

1.8 Парциальное напряжение кислорода в крови

PaO2- парциональное напряжение кислорода в артериальной крови. Это напряжение физически распространённого кислорода в плазме артериальной крови под влиянием парциального давления, равного 100мм рт.ст.(PaO2 = 100мм рт.ст). В каждых 100 мл плазмы содержится 0,3 мл кислорода[7]. Содержание О2 в артериальной крови у тренированных спортсменов в условиях покоя не отличается от содержания его у неспортсменов. При физической нагрузке в артериальной крови, притекающей к мышцам происходит ускоренный распад оксигемоглобина с выделением свободного О2, поэтому PaO2 увеличивается[8]

PвO2 - парциальное напряжение кислорода в венозной крови. Это напряжение физически растворённого кислорода в плазме венозной крови, оттекающей от ткани (мышцы). Характеризует способность ткани к утилизации кислорода. В покое равно 40-50 мм рт.ст. При максимальной работе, из-за интенсивной утилизации О2 работающими мышцами, снижается до 10-20 мм рт. ст.[7]

Разница между PaO2 и PвO2 есть величина АВР-О2- артериально-венозная разность по кислороду. Характеризует способность ткани к утилизации кислорода. АВР-О2 - разность между содержанием кислорода в артериальной крови, выбрасываемой в системные артерии из левого желудочка, и в венозной крови, притекающей к правому предсердию.

При развитии аэробной выносливости происходит выраженная саркоплазматическая гипертрофия скелетной мускулатуры, что приводит к снижению кислорода в венозной крови (РвО2), и соответствующему увеличению АВР-О2. Так если в покое РвО2 у мужчин и женщин составляет 30мм рт.ст , то после упражнения на выносливость у нетренированных мужчин РвО2=13мм рт.ст, у нетренированных женщин 14мм рт.ст. Соответственно у тренированных мужчин и женщин-10 и 11мм рт.ст.[2] У женщин содержание гемоглобина, ОЦК и содержание кислорода в артериальной крови меньше, поэтому при равном содержании кислорода в венозной крови суммарная системная АВР-О2 у женщин меньше. В покое она равна 5,8мл О2 на 100мл крови, против 6,5 у мужчин. После выполнения упражнения у нетренированных женщин АВР-О2=11,1мл О2/100мл крови, против 14 у нетренированных мужчин. В результате тренировки АВР-О2 увеличивается как у женщин, так и у мужчин в результате снижения содержания кислорода в венозной крови (соответственно 12,8 и 15,5)[2].

Согласно формуле Фика (ПО2(МПК)=СВ\*АВР-О2), произведение СВ на АВР-О2 определяет максимальное потребление кислорода и является важным показателем аэробной выносливости. Спортсмены, тренирующие выносливость более эффективно реализуют свои кислородтранспортные возможности, так как используют больше кислорода, содержащегося в каждом миллилитре крови, чем нетренированные люди.

1.9 Влияние оздоровительной тренировки на гемодинамику организма

В результате оздоровительной тренировки повышаются функциональные возможности сердечно-сосудистой системы. Происходит экономизация работы сердца в состоянии покоя и повышение резервных возможностей аппарата кровообращения при мышечной деятельности. Один из важнейших эффектов физической тренировки - урежение ЧСС в покое (брадикардия) как проявление экономизации сердечной деятельности и более низкой потребности миокарда в кислороде. Увеличение продолжительности фазы диастолы (расслабления) обеспечивает больший кровоток и лучшее снабжение сердечной мышцы кислородом. У лиц с брадикардией случаи заболевания ишемической болезнью сердца (ИБС) выявлены значительно реже, чем у людей с частым пульсом. Считается, что увеличение ЧСС в покое на 15 уд/мин повышает риск внезапной смерти от инфаркта на 70 % .Такая же закономерность наблюдается и при мышечной деятельности.

При выполнении стандартной нагрузки на велоэргометре у тренированных мужчин объем коронарного кровотока почти в 2 раза меньше, чем у нетренированных (140 против 260 мл/мин на 100 г ткани миокарда), соответственно в 2 раза меньше и потребность миокарда в кислороде (20 против 40 мл/мин на 100г ткани). Таким образом, с ростом уровня тренированности потребность миокарда в кислороде снижается как в состоянии покоя, так и при субмаксимальных нагрузках, что свидетельствует об экономизации сердечной деятельности. По мере роста тренированности и снижения потребности миокарда в кислороде повышается уровень пороговой нагрузки, которую испытуемый может выполнить без угрозы ишемии миокарда и приступа стенокардии.

Наиболее выражено повышение резервных возможностей аппарата кровообращения при напряженной мышечной деятельности: увеличение максимальной ЧСС, СО и МОК, АВР-О2, снижение общего периферического сосудистого сопротивления, что облегчает механическую работу сердца и увеличивает его производительность. Адаптация периферического звена кровообращения сводится к увеличению мышечного кровотока при предельных нагрузках (максимально в 100 раз), артериовенозной разницы по кислороду, плотности капиллярного русла в работающих мышцах, росту концентрации миоглобина и повышению активности окислительных ферментов.

Защитную роль в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний играет также повышение фибринолитической активности крови при оздоровительной тренировке (максимум в 6 раз) и снижение тонуса симпатической нервной системы. В результате снижается реакция на нейрогормоны в условиях эмоционального напряжения, т.е. повышается устойчивость организма к стрессорным воздействиям.

Помимо выраженного увеличения резервных возможностей организма под влиянием оздоровительной тренировки чрезвычайно важен также ее профилактический эффект. С ростом тренированности (по мере повышения уровня физической работоспособности) наблюдается отчетливое снижение всех основных факторов риска: содержания холестерина в крови, артериального давления и массы тела. Существуют примеры, когда по мере роста УФС содержание холестерина в крови снизилось с 280 до 210 мг, а триглицеридов со 168 до 150 мг%. В любом возрасте с помощью тренировки можно повысить аэробные возможности и уровень выносливости -показатели биологического возраста организма и его жизнеспособности. Например, у хорошо тренированных бегунов среднего возраста максимально возможная ЧСС примерно на 10 уд/мин больше, чем у неподготовленных. Такие физические упражнения, как ходьба, бег (по З ч. в неделю), уже через 10-12 недель приводят к увеличению МПК на 10-15%.

Таким образом, оздоровительный эффект занятий массовой физкультурой связан прежде всего с повышением аэробных возможностей организма, уровня общей выносливости и физической работоспособности. Повышение работоспособности сопровождается профилактическим эффектом в отношении факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний: снижением веса тела и жировой массы, содержания холестерина и триглицеридов в крови, снижением артериального давления и частоты сердечных сокращений. Кроме того, регулярная физическая тренировка позволяет в значительной степени затормозить развитие возрастных изменений физиологических функций, а также дегенеративных изменений различных органов и систем (включая задержку и обратное развитие атеросклероза). Выполнение физических упражнений положительно влияет на все звенья двигательного аппарата, препятствуя развитию дегенеративных изменений, связанных с возрастом и гиподинамией. Повышается минерализация костной ткани и содержание кальция в организме, что препятствует развитию остеопороза. Увеличивается приток лимфы к суставным хрящам и межпозвонковым дискам, что является лучшим средством профилактики артроза и остеохондроза. Все эти данные свидетельствуют о неоценимом положительном влиянии занятий оздоровительной физической культурой на организм человека.

Заключение

В данной курсовой работе были рассмотрены основные гемодинамические характеристики и их изменение при выполнении физической нагрузки. Краткие выводы сведены в таблице 10.

Таблица10. Основные гемодинамические характеристики

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Определение | Характеристика. | Эффект тренировки |
| ЧСС | ЧСС-частота сердечн. сокращений в минуту (частота пульса). | ЧСС покоя средн. У мужчин -60уд/мин женщин-75,у тренирован. муж. -55 , у выдающихся спортсменов-50уд/мин. Миним. зарегистрированная ЧСС покоя у спортсменов-21уд/мин. ЧСС макс средн. мужчин 200уд/ мин, у тренированных-195,у суперспортсменов -190уд/мин(упр.макс. аэробной мощн.), 180уд/м (макс. анаэробн. мощн.), ЧСС макс у нетренированных женщин-205 уд/мин, у спортсменок-195уд/мин. | Снижение ЧСС (брадикардия) является эффектом тренировки выносливости и ведёт к уменьшению запроса миокарда в кислороде. |
| СО | СО=СВ/ЧСС  Кол-во крови, выбрасываемое каждым из желудочков сердца при одном сокращении. | СОпокоя у нетренированных мужчин в среднем 70-80мл, у тренированных-90 мл, у выдающихся спортсменов-100-120мл. При макс.аэробной нагрузке СОмакс у нетренированных молодых мужчин - 120-130мл, тренированных-150,у выдающихся спортсменов- 190-210мл. СОмакс нетренированных женщин 90мл, у выдающихся стайеров 140-150мл. | Увеличение СО в результате тренировки является признаком повышения эффективности работы сердца. |
| СВ или МОК или Q | СВ=СО\*ЧСС  СВ=ПО2/АВР-О2 Кол-во крови, выбрасываемое сердцем за 1 мин  МОК-Объём крови,проходящ. через кровеносн. сосуды в ед врем  Q=P/R- Кровоток | СВпокоя у мужчин = 4-5л/мин, у женщин-3-5л/мин.СВмакс средний у нетренированных мужчин-24л/мин, у суперспортсменов (тренирующих выносливость) и имеющих большой объём сердца (1200-1300мл)- более 30л/мин- у лыжников СВмакс=38–42 л/мин. У нетренированных женщин СВ-18л/мин. У выдающихся спортсменокСВмакс=28-30. Основное уравнение гемодинамики P-давление крови, R-сосудистое сопротивл. | Одним из главных эффектов тренировки выносливости является увеличение СВмакс. Рост СВ не за счёт ЧСС, а за счёт СО |
| АД | САД- СистолическоеАД-макс.давление крови на стенку аорты,достигаемое в момент СВ  ДАД-ДиастолическоеАД  давление крови с которым она возвращается в предсердие в диастоле. | Нормативы АД-100-129 мм рт.ст. для макс. и 60-79 мм рт.ст. для минимального для лиц до 39 лет Верхняя граница нормы систолического давления от 21 года до 60 лет - 140 мм рт.ст., для диастолического-90мм.рт.ст. При небольшой физической нагрузке АДмакс повышается до 130-140 мм рт.ст., при средней до 140-170, при большой до 180-200. АДмин, обычно, при физ. нагрузке уменьшается. При гипертонии и физических нагрузках САДмакс=250мм рт.ст. Повышение АД связано с ростом R и СО. | Занятия спортом способствуют снижению АД , но АД не выходит за пределы нормы. Динамические нагрузки (упр. на выносливость) способствуют снижению АД, статистические нагрузки (упр. на силу)- подъёму АД. |
| R | R=8\*L\*n/  3.14\*R^4-Сосудистое или периферическ. сопротивлен | Зависит от L-длины сосуда, n- вязкости крови, R-радиуса сосуда; 3,14-число Пи. | Перераспределение кровотока , усиление капилляризации , замедление скорости кровотока у высокотренированных спортсменов. |
| ОЦК | ОЦК- Объём циркулирующей крови- общее кол-во крови, находящееся в кровеносных сосудах. | Составляет 5-8% веса, в покое у женщин-4,3л, у мужчин-5,5л. При нагрузке ОЦК сначала увеличивается, а затем уменьшается на 0,2-0,3л из-за оттока части плазмы из капилляров в межклеточное пространство. У женщин при макс. работе ОЦКсред=4л, у мужчин-5,2л. При нагрузке макс.аэробной мощности у тренированных мужчин ОЦКсред =6,42л. | Увеличение ОЦК при тренировке выносливости. |
| PaO2, PвO2 | PaO2, PвO2- Парциальное напряжение кислорода в артериальной или венозной крови. Парциальное давление. PaO2-PвO2 =АВР-О2 артериально-венозная разность по кислороду | PaO2-100ммрт.ст.PвO2пок-40-50мм рт.ст.PвO2макс.работы=10-20мм рт.ст. Если РвО2покоя у мужчин и женщин составляет 30мм рт.ст, то после упражнения на выносливость у нетренированных мужчин РвО2=13мм рт.ст, женщин 14мм рт.ст. Соответственно у тренированных мужчин и женщин-10 и 11мм рт.ст. АВР-О2 покоя=5,8млО2/ 100мл крови, против 6,5 у мужчин. После упражнения у нетренированных женщин АВР-О2=11,1млО2/100мл крови, против 14 у мужчин. В результате тренировки АВР-О2 у женщин-12,8,у мужчин-15,51млО2/100мл крови. | Саркоплазматическая гипертрофия скелетной мускулатуры приводит к снижению содержания кислорода в венозной крови PвO2 и увеличениюАВР-О2.Следовательно повышается МПК. |

В графе 3 дана краткая характеристика изученных величин и их предельные значения.

Степень изменения гемодинамических показателей при физической нагрузке зависит от исходных величин в состоянии покоя. Физическая нагрузка требует существенного повышения функций сердечно-сосудистой, дыхательной и кровеносной систем. От этого зависит обеспечение работающих мышц достаточным количеством кислорода и выведение из тканей углекислоты. Сердечно - сосудистая система обладает рядом механизмов, позволяющих доставлять на периферию возможно большее количество крови. Прежде всего это гемодинамические факторы : увеличение ЧСС, СВ, ОЦК, ускорение кровотока, изменение АД. Эти показатели различны у представителей различных видов спорта.( Согласно спортивной специализации спринтеры тренируют скорость, стайеры - выносливость, тяжелоатлеты - силу.)

Использование метода эхокардиографии в спортивной медицине позволило установит различие путей адаптации сердца в зависимости от направленности тренировочного процесса. У спортсменов, тренирующих выносливость адаптация сердца идёт преимущественно за счёт дилятации при небольшой гипертрофии, а у спортсменов, тренирующих силу - за счёт истинной гипертрофии миокарда и небольшой дилятации. При усиленной физической работе повышается сердечная деятельность. Сердце следует тренировать постепенно в соответствии с возрастом.

Очень важным является такой гемодинамический фактор, как изменение АД. Направленность тренировочного процесса влияет на АД. Физические нагрузки динамического характера способствуют его снижению, статистические нагрузки - подъёму. Причиной гипертонии могут стать физические и эмоциональные напряжения. Низкий уровень систолического давления в лёгочной артерии является показателем высокого состояния сердечно-сосудистой системы спортсменов тренирующихся на выносливость. Он характеризует потенциальную готовность организма, в частности гемодинамики, к большим и длительным физическим нагрузкам.

Физиологические изменения в организме, вызванные тренировкой выносливости, у женщин те же, что и у мужчин. Так, в кислородтранспортной системе увеличиваются максимальные показатели(ЛВмакс,СВмакс,СОмакс), концентрация лактата при максимальной работе, а ЧССмакс снижается в связи с усилением парасимпатических влияний. Всё это свидетельствует о повышении эффективности и экономичности, а также об увеличении резервных возможностей кислородтранспортной системы.[7]

Состояние организма как в покое, так и при нагрузке зависит от многих причин: от внешних условий, специфики видов спорта (плавание, зимние виды и т.п.), наследственных факторов, пола, возраста и др.

Предел роста тренировочных эффектов у каждого человека генетически предопределён. Даже систематическая интенсивная физическая тренировка не может повысить функциональные возможности организма сверх предела, определяемого генотипом.[3] ЧССпокоя, размеры сердца, толщина стенок левого желудочка, капилляризация миокарда, толщина стенок коронарных артерий находятся под влиянием наследственных факторов.[7]

Необходимо иметь в виду, что занятия физическими упражнениями способствуют укреплению здоровья, совершенствованию биологических механизмов защитно-приспособительных реакций, повышению неспецифической устойчивости к различным вредным влияниям окружающей среды, только при обязательном условии, что степень физической нагрузки на этих занятиях оптимальна для данного конкретного человека. Только оптимальная степень физической нагрузки, соответствующая возможностям человека, её выполняющего, обеспечивает укрепление здоровья, физическое совершенствование, предупреждает возникновение ряда заболеваний и способствует увеличению продолжительности жизни. Физическая нагрузка меньше оптимальной не даёт нужного эффекта, выше оптимальной становится чрезмерной, а чрезмерная нагрузка вместо оздоровительного эффекта может стать причиной возникновения различных заболеваний и даже внезапной смерти от перенапряжения сердца.[4]Спортивные достижения должны расти вследствие повышения здоровья.

Следует особо сказать о влиянии оздоровительной физической культуры на стареющий организм. Физическая культура является основным средством, задерживающим возрастное ухудшение физических качеств и снижение адаптационных способностей организма в целом и сердечнососудистой системы в частности. Изменения в системе кровообращения, снижение производительности сердца влекут за собой выраженное уменьшение максимальных аэробных возможностей организма, снижение уровня физической работоспособности и выносливости. Скорость возрастного снижения МПК в период от 20 до 65 лет у нетренированных мужчин составляет в среднем 0,5 мл/мин/кг, у женщин - 0,3 мл/мин/кг за год. В период от 20 до 70 лет максимальная аэробная производительность снижается почти в 2 раза - с 45 до 25 мл/кг (или на 10 % за десятилетие). Адекватная физическая тренировка, занятия оздоровительной физической культурой способны в значительной степени приостановить возрастные изменения различных функций. Особенно полезны физический труд, физкультура и спорт на свежем воздухе, а особенно вредными для сердечно- сосудистой системы являются курение и злоупотребление спиртными напитками.

В вышеизложенном материале прослежены закономерности изменения основных гемодинамических характеристик организма. Одновременное повышение уровня состояния здоровья и функционального состояния человека невозможно без активного, широкого и всестороннего использования средств физкультуры и спорта.

Литература

1.А.С.Залманов. Тайная мудрость человеческого организма (Глубинная медицина).- М.: Наука, 1966.- 165с.

2.Спортивная медицина (Руководство для врачей)/под редакцией А.В.Чоговадзе, Л.А.Бутченко.-М.:Медицина,1984.-384с.

3.Спортивная физиология: Учеб.для ин-тов физ.кутьт./Под ред. Я.М.Коца.-М.:Физкультура и спорт,1986.-240с.

4.Дембо А.Г.Врачебный контроль в спорте.-М.:Медицина.1988.-288с.

5.А.М.Цузмер, О.Л.Петришина. Человек. Анатомия. Физиология. Гигиена.-М.: Просвещение, 1971.-255с.

6.В.И. Дубровский, Реабилитация в спорте. – М.: Физкультура и спорт, 1991. – 208 с.

7. Мельниченко Е.В.Методические указания к теоретическому изучению курса «Спортивная физиология» .Симферополь.2003г.

8.Грабовская Е.Ю. Малыгина В.И. Мельниченко Е.В. Методические указания к теоретическому изучению курса «Физиология мышечной деятельности.» Симферополь.2003г

9.Дембо А.Г.Актуальные проблемы современной спортивной медицины.-М.:Физкультура и спорт,1980.-295с.

10.Былеева Л.В. и др. Подвижные игры. Учеб.пособие для ин-тов физической культуры. М.:Физкультура и спорт,1974.-208с.

1. А.С.Залманов. Тайная мудрость человеческого организма (Глубинная медицина).- Москва: Наука, 1966.- C32. [↑](#footnote-ref-1)
2. Спортивная медицина (Руководство для врачей)/под редакцией А.В.Чоговадзе, Л.А.Бутченко.-М.:Медицина,1984.-С83. [↑](#footnote-ref-2)
3. Спортивная медицина (Руководство для врачей)/под редакцией А.В.Чоговадзе, Л.А.Бутченко.-М.:Медицина,1984.-С76. [↑](#footnote-ref-3)
4. Спортивная физиология: Учеб.для ин-тов физ.кутьт./Под ред. Я.М.Коца.-М.:Физкультура и спорт,1986.-С.87. [↑](#footnote-ref-4)
5. Спортивная физиология: Учеб.для ин-тов физ.кутьт./Под ред. Я.М.Коца.-М.:Физкультура и спорт,1986.-С.29 [↑](#footnote-ref-5)
6. Дембо А.Г.Врачебный контроль в спорте.-М.:Медицина.1988.-С137. [↑](#footnote-ref-6)
7. Дембо А.Г.Врачебный контроль в спорте.-М.:Медицина.1988.-С137. [↑](#footnote-ref-7)
8. Спортивная физиология: Учеб.для ин-тов физ.кутьт./Под ред. Я.М.Коца.-М.:Физкультура и спорт,1986.-С.202 [↑](#footnote-ref-8)
9. Спортивная медицина (Руководство для врачей)/под редакцией А.В.Чоговадзе, Л.А.Бутченко.-М.:Медицина,1984.-С97. [↑](#footnote-ref-9)
10. Дембо А.Г.Актуальные проблемы современной спортивной медицины.-М.:Физкультура и спорт,1980.-С.154 [↑](#footnote-ref-10)
11. Спортивная медицина (Руководство для врачей)/под ред. А.В. Чоговадзе, Л.А.Бутченко.-М.:Медицина,1984 – С.88 [↑](#footnote-ref-11)
12. А.С.Залманов. Тайная мудрость человеческого организма (Глубинная медицина).- Москва: Наука, 1966.- C.20 [↑](#footnote-ref-12)
13. А.С.Залманов. Тайная мудрость человеческого организма (Глубинная медицина).- Москва: Наука, 1966.- C.33 [↑](#footnote-ref-13)