

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Зекрин Фанави Хайбрахманович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 03.11.2023 21:57:09  
Уникальный прогамный идентификатор:  
8d1b39193cdad8918b8873b6591d9ef237c1a2d2

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ЧАЙКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ  
КУЛЬТУРЫ И СПОРТА»  
(ФГБОУ ВО «ЧГАФКиС»)**

Кафедра адаптивной физической культуры и оздоровительных технологий

Методические материалы по выполнению контрольной работы по  
дисциплине  
**«Физиология человека»**

для обучающихся очной формы по направлению подготовки  
49.03.01 Физическая культура

Разработчик:  
Синяк Е.Д., к.б.н.,  
доцент

Рассмотрено на  
заседании кафедры  
АФКиОТ  
Протокол от «22» июня  
2021 г. № 18

Одобрено на  
заседании УМС  
Протокол от «23»  
июня 2021 г. № 11

Рецензент: к.б.н., доцент Н.Ю.Лаврова

Физиология человека. Методические указания к выполнению контрольной работы  
/ Е.Д.Синяк. – Чайковский: ЧГАФКиС, 2021. – 25 с.

Методические указания к выполнению контрольной работы по дисциплине «Физиология человека» предназначены для студентов 2 курса, обучающихся по направлению подготовки 49.03.01 Физическая культура и разработаны в соответствии с рабочей программой дисциплины.

В методических указаниях к выполнению контрольной работы изложены основные требования, предъявляемые к содержанию и оформлению контрольной работы по дисциплине «Физиология человека», примеры решения задач по расчету изменений показателей сердечно-сосудистой, дыхательной и других вегетативных систем организма в зависимости от уровня энергообеспечения мышечной деятельности, варианты контрольных заданий и критерии оценки выполнения контрольной работы.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	4
Раздел 1. Физиология крови	4
Раздел 2. Физиология кровообращения	6
Раздел 3. Физиология дыхания	9
Раздел 4. Физиология обмена веществ и энергии	13
Выбор варианта контрольной работы	16
Варианты контрольных работ	16
Требования к выполнению и оформлению контрольной работы	21
Критерии оценки выполнения контрольной работы	22
Литература, рекомендуемая для выполнения контрольной работы	22
Приложение 1	23
Приложение 2	24
Приложение 3	25

## ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с рабочим учебным планом по направлению подготовки 49.03.01 Физическая культура, студенты 2 курса очной формы обучения должны выполнить контрольную работу по дисциплине «Физиология человека».

**Цель** выполнения контрольной работы - актуализация и закрепление теоретического материала, а также применение теоретических знаний при решении практических задач по дисциплине «Физиология человека».

Выполнение контрольной работы позволяет выработать и закрепить практические навыки решения конкретных задач по расчету изменений показателей сердечно-сосудистой, дыхательной и других вегетативных систем организма в зависимости от уровня энергообеспечения мышечной деятельности и обеспечивает преподавателю возможность контроля усвоения студентами основных тем дисциплины, а также уровня их самостоятельности, активности и креативности. Решение задач как учебно-методический прием изучения физиологии человека имеет исключительно большое значение, так как его применение способствует качественному усвоению теоретических знаний, развивает умение рассуждать и обосновывать выводы, существенно расширяет кругозор будущих бакалавров по физической культуре.

Следует помнить о том, что целью решения задач по физиологии человека является не только получение ответа на вопрос, но и демонстрация знаний основных понятий, законов и терминов. Поэтому в решении желательны краткие пояснения, ссылки на закономерности. Это позволяет студенту показать глубокое знание учебной дисциплины.

Контрольная работа представляет собой 10 вариантов заданий по 5 практических задач в каждом варианте. Студент выполняет 1 вариант.

Подобранные задачи могут иметь несколько вариантов решений. Решение зависит от направленности, знаний, способностей, владения студентом теоретическим материалом.

Контрольная работа представляется в сроки, установленные учебным планом – в конце 3 семестра.

## РАЗДЕЛ I ФИЗИОЛОГИЯ КРОВИ

### *1.1. Краткие теоретические основы*

При решении задач, связанных с изменениями в системе крови при воздействии мышечных нагрузок на организм человека, особое внимание нужно уделить понятию «внутренняя среда организма», биологическим свойствам плазмы крови, изучить сущность миогенного лейкоцитоза и механизмам крово- и лимфообразования.

Находясь в постоянном движении, кровь осуществляет важные функции переноса питательных веществ, газов, гормонов, промежуточных и конечных продуктов обмена веществ. Кровь участвует также в поддержании постоянства внутренней среды.

Кровь состоит из жидкой части – плазмы, занимающей в среднем около 55-60% ее объема, и клеточных элементов (эритроциты, лейкоциты и тромбоциты), составляющих 40-45% объема. У взрослого человека количество крови колеблется в пределах 6-8% от массы тела, что составляет 5 литров для мужчины весом 70 кг.

Не все количество крови находится в циркуляции. Значительная часть крови (до 46-50%) находится в кровяном депо – селезенке, печени, подкожной клетчатке. При кровотечениях, асфиксии (удушении), болевых раздражениях, высокой температуре, а также при мышечной деятельности кровь из депо поступает в общую сосудистую систему, тем самым увеличивая количество циркулирующей крови в организме. При мышечной работе этот рефлекторный акт имеет чрезвычайно большое значение, так как в связи с

увеличением массы циркулирующей крови увеличивается доставка кислорода и питательных веществ к работающим мышцам и происходит удаление из них образующихся продуктов обмена веществ.

При насыщении крови кислородом гемоглобин превращается в оксигемоглобин, при этом 1 грамм гемоглобина способен присоединить 1,34 мл O<sub>2</sub>. КЕК – кислородная емкость крови – это количество O<sub>2</sub>, которое связывается 100 мл крови до полного насыщения Hb (около 20 мл O<sub>2</sub>), то есть, это показатель, отражающий степень насыщения кислородом 100 мл крови.

Важным показателем, по которому можно косвенно оценить скорость метаболических процессов на клеточном уровне, является артерио-венозная разность (ABPO<sub>2</sub>), равная разности между содержанием кислорода в артериальной и венозной крови. В состоянии покоя этот показатель обычно составляет 5-6 об%, после физических нагрузок увеличивается до 15-17 об%.

$$ABPO_2 = pO_2A - pO_2B$$

К т.у. – процент тканевой утилизации кислорода или коэффициент использования кислорода, указывает, сколько O<sub>2</sub> утилизировано тканью, рассчитывается по формуле:

$$К\ т.у. = \frac{ABPO_2}{pO_2} \times 100$$

В покое К т.у. составляет 30-40%, при работе возрастает до 50-60% за счет снижения pCO<sub>2</sub>B, при очень тяжелой работе повышается до 80-90%.

## 1.2 Решение типовых задач

**Задача 1.** У спортсмена-стайера объем циркулирующей крови (ОЦК) в покое равен 6,0 л, а гематокрит составил 45%. При обследовании сразу после бега гематокрит составил 50%. Определите, как изменился объем плазмы и объем циркулирующей крови у спортсмена во время бега.

<p><i>Дано:</i>  ОЦК = 6,0 л  Ht<sub>0</sub> = 45%  Ht<sub>1</sub> = 50% _____  ΔОЦП - ?</p>	<p><i>Решение:</i>  1) Находим объем форменных элементов у спортсмена в покое:  X мл крови – 45 % форменных элементов;  6000 мл крови – 100 % форменных элементов;  <math display="block">X = \frac{6000\text{мл} \times 45\%}{100\%} = 2700 \text{ мл форменных элементов};</math></p>
--	---

Во время бега в связи с выходом плазмы в межклеточное пространство происходит гемоконцентрация (сгущение) крови, при этом наблюдается уменьшение объема плазмы циркулирующей крови при неизменном количестве форменных элементов.

Гематокрит – это доля форменных элементов в общем объеме циркулирующей крови, при гемоконцентрации этот показатель увеличивается.

2) По данным гематокрита находим ОЦК после выполнения работы:

2700 мл форменных элементов – 50%;  
X мл ОЦК – 100%

$$X = \frac{2700\text{мл} \times 100\%}{50\%} = 5400 \text{ мл крови.}$$

3) Находим объем плазмы крови:

в покое: 6000мл – 2700мл = 3300мл;  
после бега: 5400мл – 2700мл = 2700мл.

4) Разница составляет: 3300мл – 2700мл = 600мл.

*Ответ:* Объем плазмы и ОЦК уменьшился на 600 мл.

**Задача 2.** Определите кислородную ёмкость крови (КЕК), если в ней содержится 14,2 г % гемоглобина.

*Дано:*  
Hb = 14,2 г%  
КЕК - ?

*Решение:*  
Известно, что 1 г. гемоглобина связывает 1,34 мл. O<sub>2</sub>  
14,2 г – X мл O<sub>2</sub>

Тогда:

$$X \text{ мл. O}_2 \text{ (КЕК)} = \frac{14,2 \text{ г} \times 1,34 \text{ мл O}_2}{100 \text{ мл}} = 19,028 \text{ мл/100 мл.}$$

*Ответ:* КЕК составляет 19,03 об %.

**Задача 3.** Содержание кислорода в артериальной крови составляет 20 об %, в венозной 15 об %. Определить процент тканевой утилизации кислорода (Кт.у.).

*Дано:*  
pAO<sub>2</sub> = 20 об%  
pVO<sub>2</sub> = 15 об%  
Кт.у. - ?

*Решение:*  
Утилизация кислорода есть отношение артерио-венозной разницы к содержанию кислорода в артериальной крови – кислородной ёмкости крови (КЕК).

1)  $\Delta \text{P}O_2 = 20 \text{ об\%} - 15 \text{ об\%} = 5 \text{ об\%}.$

$$2) \text{ Кт.у.} = \frac{5 \text{ об\%} \times 100\%}{20 \text{ об\%}} = 25 \%$$

*Ответ:* Коэффициент тканевой утилизации (Кт.у.) составляет 25%.

## РАЗДЕЛ II ФИЗИОЛОГИЯ КРОВООБРАЩЕНИЯ

### *2.1. Краткие теоретические основы*

При решении задач, связанных с физиологией кровообращения, особое внимание следует обратить на фазы сердечной деятельности, систолический (ударный) и минутный объемы сердца, гуморальную и нервную регуляцию деятельности сердца и сосудов, закономерности движения крови в сосудах, кровяное давление и особенности кровообращения при физической работе.

Двигательная деятельность требует увеличения кровоснабжения мышц и других органов. Изменение процессов кровообращения начинается условно-рефлекторным путем уже в предстартовом и стартовом состоянии. При этом наблюдается усиление рефлекторных влияний через симпатическую нервную систему, проявляющееся в некотором учащении сердечной деятельности и повышении кровяного давления. С началом работы скелетных мышц под влиянием симпатических нервов и секреции адреналина происходит увеличение частоты сердечных сокращений, осуществляется выход крови из депо, расширение сосудов легких и сердца. Все это приводит к повышению общего кровяного давления и к увеличению кровоснабжения работающих мышц. Повышение притока крови к ним обусловлено также и тем, что появление молочной кислоты и других продуктов обмена веществ, сдвигающих реакцию внутренней среды в кислую сторону, а также повышение температуры тела вызывает расширение кровеносных сосудов в работающих органах.

Спортивная тренировка вызывает ряд адаптивных изменений функционального состояния сердечно-сосудистой системы, наблюдаемых у спортсменов в состоянии

покоя. Так, у спортсменов, тренирующих выносливость, наблюдается брадикардия, гипотония, увеличение сократительной силы сердца и его ударного объема и т.д.

Таким образом, работа сердечно-сосудистой системы в процессе тренировки перестраивается. В результате этой перестройки функциональные возможности организма расширяются. Весь этот процесс совершается путем безусловно-рефлекторного и условно-рефлекторного приспособления деятельности различных систем и всего организма в целом к изменяющимся условиям среды.

### Формулы для расчета параметров кровообращения

- Минутный объем кровообращения (МОК), мл/мин:

$$\text{МОК} = \text{СО} \times \text{ЧСС},$$

где СО – систолический (ударный) объём, мл;

ЧСС – частота сердечных сокращений, уд/мин.

МОК можно также рассчитать и по показателям потребления кислорода ( $\text{ПО}_2$ ) и артерио-венозной разницы по кислороду ( $\text{АВРО}_2$ ); которая рассчитывается по формуле Фика:

$$\text{МОК} = \text{ПО}_2 \text{ (мл/мин)} / \text{АВРО}_2 \text{ (мл/л)}.$$

- Длительность сердечного цикла (СЦ), сек. – это время одного полного сокращения сердца, состоящего из трех фаз: систолы предсердий, систолы желудочков и общей диастолы, которое зависит от частоты сердечных сокращений:

$$\text{СЦ} = \frac{60\text{сек}}{\text{ЧСС}_{\text{уд/мин}}}$$

- Кислородный пульс (КП) – количество кислорода, переносимое за одну секунду:

$$\text{КП} = \text{СО} \times \text{КЕК} \text{ (мл/уд)},$$

где СО – систолический объем, мл; КЕК – кислородная ёмкость крови, мл  $\text{O}_2$  в 100 мл крови.

Если есть данные о потреблении кислорода ( $\text{ПО}_2$ ), то используется следующая формула:

$$\text{КП} = \text{ПО}_2 : \text{ЧСС},$$

где КП – кислородный пульс, мл/уд;  $\text{ПО}_2$  – потребление кислорода, мл/мин.

- Пульсовое давление (ПД), мм рт. ст.:

$$\text{ПД} = \text{СД} - \text{ДД},$$

где СД – систолическое давление, мм рт. ст.

ДД – диастолическое давление, мм рт. ст.

## **2.2. Решение типовых задач**

**Задача 1.** Рассчитайте показатели производительности сердца у спортсмена весом 71 кг, если известно, что потребление кислорода достигло 70 мл/мин/кг, ЧСС – 180 уд/мин, а показатель артерио-венозной разницы по  $\text{O}_2$  составил 145 мл/л.

*Дано:*

$$m = 71 \text{ кг}$$

$$\text{ПО}_2 \text{ отн} = 70 \text{ мл/мин/кг}$$

$$\text{ЧСС} = 180 \text{ уд/мин}$$

$$\underline{\text{АВРО}_2 = 145 \text{ мл/л}}$$

$$\text{МОК} - ? \quad \text{СО} - ?$$

*Решение:*

- 1) Абсолютное потребление кислорода за минуту:

$$\text{ПО}_2 = 70 \text{ мл/мин/кг} \times 71 \text{ кг} = 4970 \text{ мл/мин} = 4,97 \text{ л/мин.}$$

- 2) Согласно формуле Фика:  $\text{МОК} = \frac{\text{ПО}_2}{\text{АВРО}_2}$

$$\text{МОК} = \frac{4970 \text{ мл/мин}}{145 \text{ мл/л}} = 34,3 \text{ л/мин} \text{ (34276 мл/мин).}$$

- 3) Так как  $\text{МОК} = \text{СО} \times \text{ЧСС}$ , то

$$CO = \frac{МОК}{ЧСС} = \frac{34276 \text{ мл/мин}}{180 \text{ уд/мин}} = 190 \text{ мл}$$

*Ответ:* Показатели производительности сердца:

МОК = 34,3 л/мин, СО = 190 мл.

**Задача 2.** Определить, как изменилась производительность сердца (МОК) у спортсмена, если длительность сердечного цикла равна 0,93 сек, систолический объём 105 мл, при работе длительность сердечного цикла уменьшилась на 0,5 сек, а систолический объём увеличился на 55 мл.

*Дано:*

$$СЦ = 0,93 \text{ с}$$

$$СО = 105 \text{ мл}$$

$$\Delta СЦ = 0,5 \text{ с}$$

$$\Delta СО = 55 \text{ мл}$$

ΔМОК - ?

*Решение:*

1) Систолический объём во время работы:  $105 \text{ мл} + 55 \text{ мл} = 160 \text{ мл}$ .

2) Величина сердечного цикла во время работы:  $0,93 \text{ с} - 0,5 \text{ с} = 0,43 \text{ с}$ .

3) ЧСС в покое:  $ЧСС = \frac{60}{0,93} = 65 \text{ уд/мин}$ .

4) ЧСС во время работы:  $ЧСС = \frac{60}{0,43} = 140 \text{ уд/мин}$ .

5) Производительность сердца в покое:

$$МОК = 105 \text{ мл/уд} \times 65 \text{ уд/мин} = 6825 \text{ мл/мин} = 6,8 \text{ л/мин}$$

6) Производительность сердца во время работы:

$$МОК = 160 \text{ мл/мин} \times 140 \text{ уд/мин} = 22,4 \text{ л/мин}$$

7) Изменение производительности сердца во время работы составило:  $22,4 \text{ л/мин} - 6,8 \text{ л/мин} = 15,6 \text{ л/мин}$ .

*Ответ:* Производительность сердца (МОК) у спортсменов во время работы увеличилась на 15,6 л/мин.

**Задача 3.** В покое у спортсмена ЧСС составила 60 уд/мин, систолический объём (СО) – 90 мл, скорость кровотока (СК) через мышцы – 30% от МОК. После периода вработывания потребление кислорода (ПО<sub>2</sub>) достигло 4 л/мин, при артерио-венозной разности (АВРО<sub>2</sub>), равной 16 мл О<sub>2</sub>/100 мл крови. Скорость кровотока через мышцы увеличилась в 3 раза. Определить, во сколько раз увеличилась СК (л/мин) через мышцы и кожу в периоде устойчивого состояния.

*Дано:*

$$ЧСС = 60 \text{ уд/мин}$$

$$СО = 90 \text{ мл}$$

$$СК = 30\% \text{ МОК}$$

$$ПО_2 = 4 \text{ л/мин}$$

$$АВРО_2 = 16 \text{ об\%}$$

СК увеличилась в 3 раза

ΔСК - ?

*Решение:*

1) В покое объёмная СК через мышцы составила:

$$МОК \times 30\% = 60 \text{ уд/мин} \times 90 \text{ мл} \times 0,3 = 1620 \text{ мл/мин} = 1,62 \text{ л/мин}$$

2) Во время нагрузки относительная СК через мышцы утроилась:

$$30\% \times 3 = 90\%, \text{ или } 0,9 \text{ от МОК}$$

3) Величина АВРО<sub>2</sub> при работе равна:

$$16 \text{ мл О}_2/100 \text{ мл крови} = 160 \text{ мл/л} = 0,16 \text{ л/л}$$

4) МОК во время нагрузки (по формуле Фика):

$$МОК = 4 \text{ л/мин} : 0,16 \text{ л/л} = 25 \text{ л/мин}$$

5) Объёмная скорость кровотока через мышцы:

$$СК = 25 \text{ л/мин} \times 0,9 = 22,5 \text{ л/мин}$$

6) Увеличение объёмной скорости кровотока составило:

$$22,5 \text{ л/мин} : 1,62 \text{ л/мин} = 13,88 = 13,9 \text{ раз}$$

*Ответ:* Объёмная скорость кровотока (СК) через мышцы увеличилась в 13,9 раз.

**Задача 4.** Определить систолический объём (СО) в мл, если потребление кислорода (ПО<sub>2</sub>) составляет 300 мл/мин, а каждые 100 мл венозной крови, проходя через легкие, обогащаются О<sub>2</sub> на 5 мл, ЧСС равна 75 уд/мин.

*Дано:*

*Решение:*



$PO_2 = 300$  мл/мин  
 $ABPO_2 = 5$  об%  
СО - ?

- 1) Систолический объём крови можно найти, зная минутный объём крови (МОК). Для определения существует два способа:
- а)  $МОК = СО \times ЧСС$ ;
  - б) Согласно принципу Фика:  $МОК = \frac{PO_2}{ABPO_2}$ .

В данных условиях задачи  $ABPO_2$  – это величина 5 мл на 100 мл крови или 50 мл на 1 литр крови.

- 2) Величина МОК по формуле Фика:

$$МОК = \frac{300 \text{ мл/мин}}{50 \text{ мл/л}} = 6 \text{ л/мин} = 6000 \text{ мл/мин.}$$

- 3) Находим систолический объём:

$$СО = \frac{МОК}{ЧСС} = \frac{6000 \text{ мл/мин}}{75 \text{ уд/мин}} = 80 \text{ мл/уд.}$$

*Ответ:* Систолический объём равен 80 мл.

## РАЗДЕЛ III ФИЗИОЛОГИЯ ДЫХАНИЯ

### 3.1. Краткие теоретические основы

Дыхание представляет собой обмен газами – кислородом и углекислотой между организмом и окружающей средой. Доставка кислорода к тканям и выделение углекислого газа и воды, образующихся в результате окислительно-восстановительных процессов, обеспечивается совместной согласованной деятельностью аппаратов кровообращения и дыхания посредством крови. Необходимое согласование в работе сердечно-сосудистой и дыхательной систем осуществляется деятельностью центральной нервной системы.

Дыхание у человека состоит из трех основных этапов:

- 1) внешнего, или легочного, дыхания, заключающегося в обмене газами между кровью и внешней средой;
- 2) переноса кислорода от легких к тканям, обмена газами между кровью и тканями и переноса углекислого газа от тканей к легким;
- 3) внутреннего, или биологического окисления органических соединений в клетках тела.

Внешнее дыхание непрерывно регулируется, то есть приспосабливается к изменяющимся потребностям и условиям окружающей среды. Регуляция дыхания осуществляется гуморальным и нервным путем. Важнейшим гуморальным регулятором является содержание углекислоты в артериальной крови. Если интенсивность легочной вентиляции недостаточна, то в альвеолярном воздухе, а, следовательно, и в артериальной крови содержание углекислоты увеличивается. Избыток углекислоты, непрерывно поступающей в кровь из тканей, приводит к раздражению дыхательного центра, и дыхание усиливается. В тех случаях, когда в артериальной крови количество углекислоты снижается, например, после гипервентиляции, дыхательный центр возбуждается меньше, и дыхание замедляется.

При выполнении физических упражнений наиболее эффективным является глубокое и не чрезмерно частое дыхание. В состоянии покоя потребление кислорода у взрослого человека равно в среднем 180-300 мл/мин. Эта величина значительно возрастает при выполнении мышечной работы, которая связана с усилением окислительно-восстановительных процессов в тканях. Максимальное потребление кислорода, которое удалось наблюдать у наиболее тренированных спортсменов-

рекордсменов при выполнении весьма напряженной работы, не превышало 5900-6500 мл в минуту.

Количество кислорода, которое необходимо организму для выполнения данной мышечной работы, называется кислородным запросом. При интенсивной мышечной деятельности организм во время самой работы не в состоянии поглотить запрашиваемое количество кислорода, то есть кислородный запрос становится больше потребления кислорода. В результате этого в организме накапливаются недоокисленные продукты (молочная кислота и другие), которые подвергаются окислению лишь после окончания работы. Несоответствие поглощения кислорода потребности в нем, вызывающее накопление недоокисленных продуктов, приводит к образованию в организме кислородного долга. Кислородный долг измеряется избыточным, по сравнению с состоянием покоя, поглощением кислорода некоторое время после работы, то есть во время так называемого восстановительного периода.

Таким образом, в одних случаях – в покое, при работе небольшой интенсивности – кислородный запрос полностью соответствует кислородному потреблению, в других же случаях кислородный запрос больше потребления кислорода, вследствие чего образуется кислородный долг.

#### Формулы для расчета параметров дыхания

- Минутный объем дыхания (МОД), л/мин:

$$\text{МОД} = \text{ЧД} \times \text{ДО},$$

где ЧД – частота дыхания, циклов/мин;

ДО – дыхательный объем, л.

- Процент утилизации (поглощения) кислорода ( $\Delta \text{O}_2$  или %  $\text{O}_2$  погл.) определяется по разности концентрации кислорода во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе:

$$\Delta \text{O}_2 = \% \text{O}_2 \text{ атмосферного} - \% \text{O}_2 \text{ выдыхаемого}.$$

- Потребление кислорода ( $\text{ПО}_2$ ), мл/мин:

$$\text{ПО}_2 = \text{МОД} \times \Delta \text{O}_2 \times 10, \text{ или } \text{МОД} \times \% \text{O}_2 \text{ погл.},$$

где 10 – постоянный коэффициент, переводящий %  $\text{O}_2$  в количество  $\text{O}_2$  в мл на 1 л вентиляции.

- Дыхательный коэффициент (ДК) характеризует соотношение в энергообмене белков, жиров и углеводов и активность утилизации кислорода ( $\text{O}_2$ ). Определяется отношением объема или % выделенной углекислоты к поглощенному кислороду:

$$\text{ДК} = \text{ЕСО}_2 / \text{ПО}_2,$$

ДК колеблется от 0,7 до 1,0 и ему соответствует определенный калорический эквивалент кислорода (КЭК). Величины КЭК даны в таблице 1 приложения.

- Вентиляционный эквивалент (ВЭ) – величина, определяющая, из скольких литров (мл) воздуха утилизируется один литр (мл) кислорода.

$$\text{ВЭ} = \frac{\text{МОД}}{\text{ПО}_2},$$

где МОД – минутный объем дыхания, л, мл;

$\text{ПО}_2$  – потребление кислорода, л, мл.

ВЭ в среднем в покое составляет 20 у.е., а при тяжелой мышечной работе возрастает до 35 у.е.

### **3.2. Решение типовых задач**

**Задача 1.** В выдыхаемом воздухе содержалось 16,5%  $\text{O}_2$  и 4,3%  $\text{CO}_2$ . Определить величину дыхательного коэффициента (ДК) и калорического эквивалента кислорода.

*Дано:*

$$\text{O}_2 = 16,5\%$$

$$\text{CO}_2 = 4,3\%$$

*Решение:*

1) Определяем количество поглощаемого  $\text{O}_2$  в %:

$$20,94\% - 16,5\% = 4,44\% \text{ O}_2,$$

ДК -? КЭК - ?

2) Определяем количество выделяемого  $\text{CO}_2$  в %:

$$4,3 \% - 0,03 \% = 4,27 \% \text{CO}_2.$$

3) Величину ДК определяем по формуле:

$$\text{ДК} = \text{ЕСO}_2 / \text{ПО}_2$$

$$\text{ДК} = \frac{4,27\%}{4,44\%} = 0,96.$$

По таблице 1 приложения № 2 находим КЭК, который равен 4,997 ккал/л  $\text{O}_2$ .

Ответ: ДК = 0,96; КЭК = 4,997 ккал/л  $\text{O}_2$ .

**Задача 2.** Рассчитать величину потребления кислорода ( $\text{ПО}_2$ ) и ДК, если объем выдохнутого воздуха равен 56 л/мин. В выдыхаемом воздухе содержится 4,0 %  $\text{CO}_2$  и 16,5 %  $\text{O}_2$ .

Дано:

$$\text{МОД} = 56 \text{ л/мин}$$

$$\text{CO}_2 = 4,0 \%$$

$$\text{O}_2 = 16,5 \%$$

$$\text{ПО}_2 - ? \quad \text{ДК} - ?$$

Решение:

1) Величина поглощенного кислорода в % равна:

$$20,94 \% - 16,5 \% = 4,44 \%$$

2)  $\text{ПО}_2$  находим методом составления и решения пропорции:

$$X \text{ л } \text{ПО}_2 \quad - 4,44 \% \text{O}_2;$$

$$56 \text{ л воздуха} \quad - 100 \%$$

$$\text{ПО}_2 = \frac{56,6 \times 4,44}{100} = 2,5 \text{ л } \text{O}_2$$

3) Величина ДК определяется по формуле:

$$\text{ДК} = \frac{4,0\% - 0,03\%}{4,44\%} = 0,9$$

Ответ:  $\text{ПО}_2 = 2,5 \text{ л } \text{O}_2$ ; ДК = 0,9.

**Задача 3.** Определить минутный объем дыхания у спортсмена, если известно, что величина жизненной ёмкости легких у него равна 4200 мл, резервного объема вдоха – 1900 мл, резервного объема выдоха – 1600 мл, а частота дыхания – 14 циклов в минуту.

Дано:

$$\text{ЖЕЛ} = 4200 \text{ мл}$$

$$\text{Ровд} = 1900 \text{ мл}$$

$$\text{Ровыд} = 1600 \text{ мл}$$

$$\text{ЧД} = 14 \text{ цикл/мин}$$

$$\text{МОД} - ?$$

Решение:

1) Находим величину ДО, так как  $\text{МОД} = \text{ДО} \times \text{ЧД}$ .

Величина ЖЕЛ составляет сумму трёх объемов:

$$\text{ЖЕЛ} = \text{ДО} + \text{РО вд} + \text{РО выд.}, \text{ тогда}$$

$$\text{ДО} = \text{ЖЕЛ} - (\text{РО вд} + \text{РО выд}) = 4200 - (1900 + 1600) = 700 \text{ мл.}$$

2) Находим МОД:

$$\text{МОД} = 700 \text{ мл} \times 14 \text{ ц/мин} = 9800 \text{ мл/мин} = 9,8 \text{ л/мин.}$$

Ответ: МОД = 9,8 л/мин.

**Задача 4.** Спортсмен выполнял физическую нагрузку, при этом потребление кислорода составило 5 л, кислородный долг равен 75 %. Вычислите величину кислородного запроса проделанной работы.

Дано:

$$\text{ПО}_2 = 5 \text{ л/мин}$$

$$\text{КД} = 75\%$$

$$\text{КЗ} - ?$$

Решение:

1) Кислородный запрос является суммой величин кислородного долга и кислорода, потребляемого во время работы:

$$\text{КЗ} = \text{КД} + \text{ПО}_2, \text{ отсюда:}$$

$$\text{ПО}_2 = \text{КЗ} - \text{КД} = 100 \% - 75 \% = 25 \%$$

2) Для вычисления величины кислородного запроса составляем пропорцию:  
5 л  $\text{O}_2$  – 25 %

$$X \quad \text{КЗ} - 100 \%$$

$$X \text{ КЗ} = \frac{5 \text{ л} \times 100\%}{25\%} = 20 \text{ л.}$$

*Ответ:* Кислородный запрос равен 20 л.

**Задача 5.** У спортсмена при беге на короткую дистанцию кислородный запрос 7 л  $O_2$ , кислородный долг составил 90 %. Определить объём потребленного кислорода во время бега и объём легочной вентиляции, если процент поглощенного кислорода составил 4,5 %.

*Дано:*

$$\text{КЗ} = 7 \text{ л } O_2$$

$$\text{КД} = 90\%$$

$$O_2 = 4,5\%$$

$$\text{ПО}_2 - ? \quad \text{МОД} - ?$$

*Решение:*

$$1) \text{ Величина кислородного долга: } 7 \text{ л КЗ} - 100\%;$$

$$X \text{ л} - 90\%;$$

$$X = \frac{7 \text{ л} \times 90\%}{100\%} = 6,3 \text{ л.}$$

2) Объём потреблённого кислорода во время бега:

$$7 \text{ л} - 6,3 \text{ л} = 0,7 \text{ л } O_2.$$

3) Объём легочной вентиляции во время работы (МОД):

$$0,7 \text{ л } O_2. - 4,5\%$$

$$X \text{ л (МОД)} - 100\%$$

$$X \text{ л} = \frac{0,7 \text{ л} \times 100\%}{4,5\%} = 15,6 \text{ л.}$$

*Ответ:*  $\text{ПО}_2 = 0,7 \text{ л } O_2$ ,  $\text{МОД} = 15,6 \text{ л}$ .

**Задача 6.** Рассчитайте потребление кислорода и вентиляционный эквивалент у спортсмена за минуту тестирующей нагрузки, если в начале минуты показание газового счётчика было 42 л, а в конце её – 97 л. Содержание кислорода в выдыхаемом воздухе составило 16 %.

*Дано:*

$$t = 1 \text{ мин}$$

$$\text{МОД}_1 = 97 \text{ л}$$

$$\text{МОД}_0 = 42 \text{ л}$$

$$O_2 \text{ выд} = 16\%$$

$$\text{ПО}_2 - ? \quad \text{ВЭ} - ?$$

*Решение:*

$$1) \text{ Величина МОД равна: } 97 \text{ л} - 42 \text{ л} = 55 \text{ л в мин.}$$

$$2) \text{ Процент поглощения кислорода (\% } O_2 \text{ погл.):}$$

В атмосферном воздухе около 21 % кислорода, а в

$$\text{ПО}_2 \text{ выд} = 16\% - \text{выдыхаемом} - 16\%, \text{ следовательно: \% } O_2 \text{ погл.} = 21\% - 16\% = 5\%.$$

$$3) \text{ Величина потребления кислорода (ПО}_2\text{):}$$

$$\text{ПО}_2 = 55 \text{ л/мин} \times 5 \times 10 = 2750 \text{ мл/мин} = 2,75 \text{ л/мин.}$$

4) Вентиляционный эквивалент (ВЭ):

$$\text{ВЭ} = \frac{\text{МОД}}{\text{ПО}_2} = \frac{55 \text{ л/мин}}{2,75 \text{ л/мин}} = 20.$$

*Ответ:* При тестирующей нагрузке  $\text{ПО}_2$  составило 2,75 л/мин, а вентиляционный эквивалент – 20.

**Задача 7.** Определить величину потребления кислорода ( $\text{ПО}_2$ ) при тяжелой физической нагрузке при следующих известных данных: ДО составляет 2400 мл, ЧД – 50 ц/мин.

*Дано:*

$$\text{ДО} = 2400 \text{ мл}$$

$$\text{ЧД} = 50 \text{ цикл/мин}$$

$$\text{ПО}_2 - ?$$

*Решение:*

$$1) \text{ Находим объём альвеолярной вентиляции:}$$

$$\text{АВ} = (2400 \text{ мл} - 300 \text{ мл}) \times 50 \text{ ц/мин} = 105 \text{ л/мин.}$$

$$2) \text{ Определим потребление } O_2 \text{ в минуту, учитывая, что при}$$

тяжелой работе вентиляционный эквивалент составляет примерно 30-35 л на 1 л  $O_2$ :

$$33 \text{ л вентилируемого воздуха} - 1 \text{ л } O_2$$

$$105 \text{ л вентилируемого воздуха} - X \text{ л } O_2$$

$$X \text{ л } O_2 = \frac{105 \text{ л} \times 1 \text{ л}}{33 \text{ л}} = 3,18 \text{ л/мин},$$

Ответ:  $PO_2$  составляет 3,18 л/мин  $O_2$ .

## РАЗДЕЛ IV ФИЗИОЛОГИЯ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

### 4.1. Краткие теоретические основы

Основные вопросы обмена веществ и энергии в организме подробно излагаются в курсе биохимии человека. Однако в связи с особой важностью этих вопросов для теории и практики физического воспитания и спорта обмену веществ и энергии уделяется много внимания и в курсе физиологии человека. При решении задач данного раздела необходимо уяснить, что обмены веществ и энергии теснейшим образом связаны между собой. Источником энергии в организме является расщепление сложных органических соединений на более простые. При этом происходит освобождение заключенной в них потенциальной энергии, которая может превращаться в механическую, электрическую и тепловую.

После окончания мышечной деятельности расход энергии некоторое время остается еще повышенным по сравнению с уровнем покоя. Это обуславливается химическими процессами в мышцах, главным образом связанными с окислением молочной кислоты и ликвидацией кислородного долга. Однако обмен веществ остается повышенным и после погашения кислородного долга. Это обусловлено остаточным возбуждением в центрах, влияющих на уровень внутриклеточного обмена веществ. Мышечная деятельность необходима для нормальной жизнедеятельности организма. Количество энергии, затрачиваемое непосредственно на физическую работу, должно быть не менее 1200-1300 ккал в сутки. В связи с этим для лиц, не занимающихся физическим трудом и расходующих на мышечную деятельность меньшее количество энергии, физические упражнения особенно необходимы.

#### Справочный материал и формулы для расчета

- Основной обмен энергии пропорционален поверхности тела. Для взрослого человека (30 лет) он составляет 40 ккал на 1 м<sup>2</sup> поверхности тела за 1 час или 1 ккал/кг/час, у детей от 7 до 15 лет – от 1,9 до 1,3 ккал/кг/час. Величина основного обмена взрослого составляет от 1400 до 1800 ккал и определяется по таблицам Гарриса-Бенедикта по данным веса, роста, возраста и пола. При повышении температуры тела на 1°С основной обмен повышается на 5%.
- Суточные энерготраты взрослого человека составляют от 2500 до 5000 ккал в зависимости от вида трудовой деятельности.
- Энергетическая ценность 1 грамма белков и углеводов составляет 4,1 ккал, 1г жиров – 9,3 ккал.
- При мышечной работе около 70-80 % энергии теряется в виде тепла.
- Расход энергии (E, ккал) вычисляется по формуле:

$$E = PO_2 \times KЭК \times t,$$

где  $PO_2$  – объем поглощенного  $O_2$ , л;

$KЭК$  в ккал/л  $O_2$  находится по величине ДК.

- Коэффициент полезного действия представляет собой отношение механической энергии, затраченной на полезную работу, ко всей затраченной энергии (10-30 %)

$$КПД = \frac{A \times 100\%}{\Delta - e},$$

где A – энергия, затраченная на полезную работу;

$\Delta$  – общие затраты энергии;

e – основной обмен за период работы.

- Удельная теплоёмкость ткани – это количество тепла, необходимое для повышения температуры тканей на 1°C. У человека удельная теплоёмкость тканей тела в среднем равна 0,83 ккал/кг/1° С.
- Количество пота, выделяющегося при физической работе, о котором можно судить по потере веса (исключая другие источники выделения), может служить мерой энергопотери. При испарении 1л пота расходуется 580 ккал тепла.
- Для целей практического использования при расчете энерготрат циклической деятельности можно пользоваться величиной ЧСС.  
 При ЧСС = 120-130уд/мин  $PO_2 \approx 50\%$  МПК;  
 ЧСС = 140-150уд/мин  $PO_2 \approx 60-65\%$  МПК;  
 ЧСС = 160 -170уд/мин  $PO_2 \approx 75-80\%$  МПК;  
 ЧСС = 190уд/мин  $PO_2 \approx$  МПК.

#### 4.2. Решение типовых задач

**Задача 1.** Определите энергетический расход за час, если известно, что калорический эквивалент кислорода равен 4,8 ккал/1 л  $O_2$ , а количество выдыхаемого  $CO_2$  равно 240 мл.

*Дано:*

*Решение:*

$$t = 60 \text{ мин.}$$

$$KЭК = 4,8 \text{ ккал/1 л } O_2$$

$$\underline{E_{CO_2} = 240 \text{ мл}}$$

$$E - ?$$

1) Из таблицы по величине КЭК находим ДК. Он равен 0,8.

2) Количество потреблённого кислорода:

$$DK = E_{CO_2} / PO_2$$

$$PO_2 = E_{CO_2} / DK = 300 \text{ мл}$$

3) Расход энергии:  $E = 4,8 \text{ ккал/л} \times 0,3 \text{ л} \times 60 \text{ мин} = 86,4 \text{ ккал.}$

*Ответ:* за час израсходовано 86,4 ккал энергии.

**Задача 2.** При выполнении мышечной работы на велоэргометре продолжительностью 20 минут были определены следующие показатели:  $PO_2$ , равное 3 л/мин, скорость выделения  $CO_2$ , равная 2,7 л/мин. Требуется определить, сколько граммов жиров и углеводов было израсходовано за время работы.

*Дано:*

*Решение:*

$$t = 20 \text{ мин}$$

$$PO_2 = 3 \text{ л/мин}$$

$$\underline{E_{CO_2} = 2,7 \text{ л/мин}}$$

$$m_{\text{жира}} - ? \quad m_{\text{угл}} - ?$$

1) Соотношение между окисленными (с участием потребленного

организмом кислорода) углеводами и жирами во время работы,

рассчитывают при помощи дыхательного коэффициента (ДК).

$$DK = E_{CO_2} / PO_2$$

$$DK = \frac{2,7 \text{ л/мин}}{3 \text{ л/мин}} = 0,9$$

2) Количество калорий, освобождающихся при потреблении 1 л  $O_2$ , различно в зависимости от того, какие вещества окислились в организме, т.е. определенному ДК соответствует определенный калорический эквивалент кислорода (КЭК).

При  $DK = 0,7$  в организме окисляются только жиры, при  $DK = 1,0$  – только углеводы. При  $DK = 0,9$  окисляется 34 % жиров и 68 % углеводов (таблица 1 Приложения 2).

3) Находим общую калорическую стоимость работы:

$$E = PO_2 \times KЭК \times t,$$

где КЭК находим по таблице = 4,924 ккал/1л  $O_2$ , отсюда

$$E = 3 \text{ л/мин} \times 4,924 \text{ ккал/л} \times 20 \text{ мин} = 295,44 \text{ ккал}$$

4) Для того, чтобы узнать кислородную стоимость работы за счет жиров, составляем пропорцию:

$$295,44 \text{ ккал} - 100 \%$$

$$X \text{ ккал} - 34 \%$$

$$X = 100,45 \text{ ккал.}$$

5) Калорическая стоимость углеводов составит:

$$295,44 \text{ ккал} - 100,45 \text{ ккал} = 194,99 \text{ ккал.}$$

6) Находим количество окислившихся углеводов и жиров, зная калорическую стоимость 1 г. При окислении 1г жиров в организме освобождаются 9,3 ккал; углеводов – 4,1 ккал.

$$194,99 \text{ ккал} : 4,1 \text{ ккал/г} = 47,56 \text{ г углеводов;}$$

$$100,45 \text{ ккал} : 9,3 \text{ ккал/г} = 10,8 \text{ г жиров.}$$

*Ответ:* за время работы было израсходовано 10, 8 г жиров и 47, 56 г углеводов.

**Задача 3.** Рассчитать суточные энерготраты организма спортсмена в условиях основного обмена, зная, что человек выдохнул за одну минуту (МОД) 5,2 л воздуха. В выдохнутом воздухе содержится 16,23 % кислорода и 4,13 % углекислого газа.

*Дано:*

$$\text{МОД} = 5,2 \text{ л/мин}$$

$$\text{CO}_2 \text{ выд} = 4,13\%$$

$$\frac{\text{O}_2 \text{ выд} = 16,23\%}{\text{Е за сутки} - ?}$$

Е за сутки - ?

*Решение:*

1) Зная содержание кислорода в атмосферном и выдыхаемом воздухе, рассчитываем количество поглощенного кислорода:

$$20,94\% - 16,23\% = 4,71\% \text{ или } 47,1 \text{ мл кислорода на 1 л воздуха;}$$

$$\text{ПО}_2 = \text{МОД} \times 4,71\% : 100\% = 5,2 \text{ л/мин} \times 0,0471 = 0,2449 \text{ л/мин}$$

$$\text{ПО}_2 = 244,9 \text{ мл/мин.}$$

2) Таким же образом проводим расчет выделенного углекислого газа: 4,13 % – 0,03 % = 4,1 % или 41 мл на 1 л воздуха;

$$4,1\% \times 5,2 \text{ л/мин} : 100\% = 213,2 \text{ мл/мин.}$$

3) Находим ДК:

$$\text{ДК} = \text{ЕСО}_2 / \text{ПО}_2$$

$$\text{ДК} = \frac{213,2 \text{ мл}}{244,4 \text{ мл}} = 0,87$$

По ДК в таблице находим КЭК, в нашем случае он составляет 4,88 ккал/л O<sub>2</sub>,

4) Суточные энерготраты в условиях основного обмена:

$$4,88 \text{ ккал/л O}_2 \times 0,2449 \text{ л/мин} = 1,19 \text{ ккал (за 1 минуту);}$$

$$1,19 \text{ ккал/мин} \times 1440 \text{ мин} = 1714 \text{ ккал (за сутки).}$$

*Ответ:* Суточные энерготраты в условиях основного обмена составили 1714 ккал.

**Задача 4.** Определить минутный кислородный запрос на работу лыжника, прошедшего 50-километровую дистанцию за 3 часа, если скорость потоотделения составляет 1,7 л/час, калорический эквивалент кислорода (КЭК) составляет 4,86 ккал/л O<sub>2</sub>, суммарный кислородный долг равен 18 л, а на основной обмен тратится 0,32 л кислорода в минуту (расчеты проводить лишь по энергопотерям путем испарения пота).

*Дано:*

$$t = 3 \text{ часа} = 180 \text{ мин}$$

$$V \text{ потообр} = 1,7 \text{ л/час}$$

$$\text{КЭК} = 4,86 \text{ ккал/л O}_2$$

$$\text{КД} = 18 \text{ л}$$

$$\frac{\text{ОО мин} = 0,32 \text{ O}_2/\text{мин}}$$

КЗ за 1 мин - ?

*Решение:*

1) Суммарное количество потерь пота: 1,7 л/ч × 3 ч = 5,1 л

2) Определяем величину добавочных (к основному обмену) энергопотерь на дистанции из расчета, что при потере 1 л пота тратится 580 ккал.

$$580 \text{ ккал/л} \times 5,1 \text{ л} = 2958 \text{ ккал.}$$

3) Добавочное к основному обмену потребление кислорода:

$$2958 \text{ ккал} : 4,86 \text{ ккал/л O}_2 = 608,64 \text{ л O}_2.$$

4) Суммарная кислородная стоимость работы:

$$608,64 \text{ л O}_2 + 18 \text{ л O}_2 = 626,64 \text{ л O}_2.$$

5) Минутная кислородная стоимость выполненной работы:

$$626,64 \text{ л O}_2 : 180 \text{ мин} = 3,48 \text{ л O}_2/\text{мин.}$$

6) Минутный кислородный запрос с учетом основного обмена:

$$3,48 \text{ л О}_2/\text{мин} + 0,32 \text{ л О}_2/\text{мин} = 3,8 \text{ л О}_2/\text{мин}.$$

*Ответ:* Минутный кислородный запрос на работу лыжника (МКЗ), прошедшего 50-километровую дистанцию, равен 3,8 л. кислорода с учетом основного обмена.

## ВЫБОР ВАРИАНТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Номер варианта контрольной работы совпадает с порядковым номером студента в группе. Если порядковый номер студента больше десяти, то выбирается вариант, соответствующий последней цифре порядкового номера.

## ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

### *Вариант № 1*

1. Известно:  $\text{ПО}_2 = 2,5 \text{ л/мин}$ ;  $\text{ЕСО}_2 = 2,2 \text{ л/мин}$ ; время работы – 10 мин.  
Определить массу жиров и углеводов, израсходованных при выполнении работы.
2. Потребление  $\text{О}_2 = 4 \text{ л/мин}$ ; в выдыхаемом воздухе  $\text{О}_2 = 16,5\%$ ;  $\text{СО}_2 = 3\%$ . Определить МОД и ДК.
3. У спортсмена-стайера объем циркулирующей крови (ОЦК) в покое равен 5,8 л, а гематокрит (Ht) 46%. При обследовании сразу после бега гематокрит составил 50%. Определите, как изменился объем плазмы и объем циркулирующей крови у спортсмена во время бега.
4. На 1 кг массы тела у женщин приходится 65 мл крови, общий объем крови у спортсменки составляет 5,0 л. Определите общую массу тела спортсменки.
5. Во сколько раз изменится величина минутного объема кровотока, если в покое величина сердечных сокращений равна 66 уд/мин, величина систолического объема – 88 мл, а при беге, соответственно, 108 уд/мин и 94 мл.

### *Вариант № 2*

1. МОД составляла 90 л/мин; в выдыхаемом воздухе  $\text{О}_2 = 16\%$ ;  $\text{СО}_2 = 4\%$ . Определить потребление  $\text{О}_2$ .
2. Содержание гемоглобина у спортсмена-биатлониста составляет 16,3 г%. Определить кислородную емкость крови (КЕК).
3. Содержание кислорода в артериальной крови пловца составляет 22 об %, в венозной 10 об %. Определить процент тканевой утилизации кислорода. Что можно сказать о нагрузке, выполняемой спортсменом?
4. Определите энергетический расход за час, если известно, что калорический эквивалент кислорода равен 4,8 ккал/1 л  $\text{О}_2$ , а количество выдыхаемого  $\text{СО}_2$  равно 240 мл.



5. Определите КПД использования энергии, если известно, что работа выполнялась в течение часа, на основной обмен тратилось 0,25 л кислорода в минуту, кислородный запрос составил 180 л O<sub>2</sub>, общий расход энергии составил 615 л O<sub>2</sub>.

### **Вариант № 3**

1. Объем резервного вдоха – 1700 мл; выдоха – 1500 мл; ЖЕЛ – 3800 мл; ЧД - 15 цикл/мин. Определить МОД.

2. Содержание O<sub>2</sub> в артериальной крови 18 об %, в венозной 10 об %. Определить % тканевой утилизации O<sub>2</sub>. Что можно сказать о физической нагрузке и функциональном состоянии спортсмена?

3. У спортсменки объем циркулирующей крови в условиях покоя составляет 6,0 л. Гематокрит равен 46 %. Как изменится объём плазмы и циркулирующей крови, если гематокрит увеличится до 48 %?

4. У спортсмена за время работы потребление кислорода составило 24 л, кислородный долг равнялся 20 %, в минуту потреблялось 3 л кислорода. Определите величину кислородного запроса, время работы и объём легочной вентиляции.

5. Рассчитать суточные энерготраты организма спортсмена в условиях основного обмена, зная, что человек выдохнул за одну минуту (МОД) 5,2 л воздуха. В выдохнутом воздухе содержится 16,23 % кислорода и 4,13 % углекислого газа.

### **Вариант № 4**

1. Объем выдохнутого воздуха составил 56 л; содержание CO<sub>2</sub> – 4,34%; O<sub>2</sub> – 16,25%. Определить потребление O<sub>2</sub>.

2. Масса тела спортсмена 70 кг; при нагрузке ОЦК уменьшился на 500 мл. Определить изменение гематокрита.

3. Вычислите минутный объём кровотока, систолический объём и длительность сердечного цикла у спортсмена во время физической работы, если потребление кислорода (ПО<sub>2</sub>) составляет 5 л/мин, содержание кислорода (O<sub>2</sub>) в артериальной крови равно 20 об %, в венозной – 5 об %, а сердечный ритм (ЧСС) равен 150 уд/мин.

4. Вычислите суточные энергетические затраты у человека, находящегося в состоянии покоя, если величина потребления кислорода равна 0,25 л/мин, ДК равен 0,85, КЭЖ составляет 4,862 ккал/ л O<sub>2</sub>.

5. Определить энергетический расход за минуту, если известно, что ДК составляет 0,8, а количество выдыхаемого углекислого газа – 270 мл.

### **Вариант № 5**

1. Объем мертвого пространства – 300 мл; ДО – 2000 мл; ЧД – 30 цикл/мин. Определить МОД, объем альвеолярной вентиляции.
2. Известно:  $\text{ПО}_2 = 2,76$  л/мин; ДК = 0,96; время работы 1 час; КПД = 20%. Определить суммарную энергопродукцию и количество пота, которое необходимо испарить для поддержания постоянной температуры тела.
3. Вычислить объём циркулирующей крови, количество гемоглобина, кислородную емкость крови у спортсмена массой 60 кг.
4. У спортсмена за время работы и период восстановления после работы вентиляция легких составила 800 л воздуха. При анализе выдыхаемого воздуха в нём обнаружено 16,5 % кислорода и 4,32 % углекислого газа. Сколько энергии затратил спортсмен на выполнение работы?
5. Рассчитать суточные энерготраты организма спортсмена в условиях основного обмена, зная, что человек выдохнул за одну минуту (МОД) 7,1 л воздуха. В выдохнутом воздухе содержится 16,6 % кислорода и 4,13 % углекислого газа.

### **Вариант № 6**

1. ЧСС = 150 уд/мин;  $\text{ПО}_2 = 5$  л/мин;  $\text{АВРО}_2 = 15$  об %. Определить МОК.
2. Известно: ЧСС – 180 уд/мин; СО – 120 мл;  $\text{АВРО}_2 – 22$  об %. Определить  $\text{ПО}_2$  мужчины массой 70 кг (абсолютную и относительную величины).
3. Рассчитать относительный объем крови на 1 кг массы тела спортсмена 65 кг, исходя из того, что объём крови составляет 7 % от общей массы тела.
4. Найдите величину кислородного запроса и расход энергии (в ккал) на дистанции марафонского бега, если известно, что он продолжался 2 час 20 минут, максимальное потребление кислорода равно 4 л/мин, кислородный долг составил 5 литров. Величину ДК принять за 0,75.
5. Вычислите суточные энергетические затраты у человека, находящегося в состоянии покоя, если величина потребления кислорода равна 0,3 л/мин, КЭК составляет 4,862 ккал/л  $\text{O}_2$ .

### **Вариант № 7**

1. Известно: ДК – 0,8;  $\text{ЕСО}_2 – 240$  мл; КЭК – 4,8 ккал/л  $\text{O}_2$ . Определить величину энергопродукции за минуту.
2. Потребление  $\text{O}_2 – 400$  мл/мин; содержание  $\text{O}_2$  в артериальной крови 20 об %; в венозной – 12 об %. Определить сердечный выброс мл/мин.

3. Сколько крови перекачивает сердце человека за минуту, час и за сутки, если известно, что частота сердечных сокращений в среднем равна 80 уд/мин, а величина систолического объёма не превышает 70 мл.
4. Определить величину потребленного кислорода в минуту, если объём легочной вентиляции равнялся 80 л/мин, а при анализе выдыхаемого воздуха обнаружено 16,8 % кислорода и 4,34 % углекислого газа.
5. Спортсмен массой 70 кг с МПК = 4 л/мин выполняет физическую нагрузку в течение часа при уровне потребления кислорода 3 л/мин, величина ДК равна 0,8, потери пота составили 800 мл. Каково общее количество энергопродукции за время работы? Какую часть составляет образующееся тепло, если механическая эффективность составила 30 %. Какой станет температура тела спортсмена к концу работы, если в начале она составляла 36,6° С.

#### **Вариант № 8**

1. Известно: легочная вентиляция – 120 л/мин; альвеолярная вентиляция - 100 л/мин; ЧД – 50 цикл/мин. Определить объём мертвого пространства.
2. Потребление  $O_2$  – 4 л/мин; содержание  $O_2$  в артериальной крови 18 об%; тканевая утилизация  $O_2$  60%. Определить сердечный выброс мл/мин.
3. Рассчитайте показатели производительности сердца у спортсмена весом 71 кг, если известно, что потребление кислорода достигло 70 мл/мин/кг, ЧСС – 180 уд/мин, а показатель артерио-венозной разницы по  $O_2$  составил 145 мл/л.
4. Вычислите величину энерготрат у спортсмена за марафонскую дистанцию, если минутный объём дыхания (МОД) равен 70 л/мин, процент использования кислорода равен 4 %, время бега – 3 часа. ДК принять равным 0,75.
5. Определить энергетический расход за минуту, если известно, что КЭЖ равен 4,8 ккал/л кислорода, ДК составляет 0,8, а количество выдыхаемого углекислого газа – 200 мл.

#### **Вариант № 9**

1. ОЦК = 5,9 л; гематокрит в покое = 46%; выполнение мышечной деятельности вызвало повышение гематокрита до 52%. Определить изменение объёма плазмы крови, возникшее при выполнении работы.
2. Известно: интервал между сокращениями сердца в покое составлял 0,90 сек; CO – 90 мл; при нагрузке интервал сократился на 0,5 сек; CO возрос на 70 мл. Определить, как изменился МОК.
3. В покое у спортсмена ЧСС составила 55 уд/мин, систолический объём (CO) – 95 мл, объём кровотока через мышцы составлял 30% от МОК. После периода вработывания

потребление кислорода ( $\text{ПО}_2$ ) достигло 4,7 л/мин,  $\text{ABPO}_2$  16 об%. Объем кровотока через мышцы увеличился в 3 раза. Определить, чему равен объем кровотока (л/мин) через мышцы и кожу в периоде устойчивого состояния.

4. Определите величину легочной вентиляции, если известно, что в минуту потребляется 4 л кислорода, а в выдыхаемом воздухе содержится 16,5 % кислорода.

5. За сколько дней человек весом 80 кг может избавиться от 5 кг лишнего веса, бегая по 1 часу в день, если расход энергии за час составляет 7 ккал/кг, а окисление 1 г жира дает 9,3 ккал.

### **Вариант № 10**

1. Известно: масса тела 70 кг; рабочие энерготраты 550 ккал; КПД – 20%; время работы – 40 мин. Определить суммарные энерготраты.

2. В покое ЧСС = 60 уд/мин;  $\text{CO}$  = 80 мл; кровоток через мышцы 20% от СВ. При нагрузке потребление  $\text{O}_2$  составило 4,8 л/мин;  $\text{ABPO}_2$  – 17 об %. Определить, как изменился кровоток через мышцы при нагрузке (в % от МОК).

3. Определить, как изменилась производительность сердца (МОК) у спортсмена, если длительность сердечного цикла равна 0,9 сек, систолический объем 90 мл, при работе длительность сердечного цикла уменьшилась на 0,45 сек, а систолический объем увеличился на 65 мл.

4. У спортсмена величина минутной вентиляции легких (МОД) равна 40 л/мин. Процент содержания  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе равны, соответственно, 16 % и 4,5 %. Определить величину потребленного кислорода, % утилизации кислорода, объем выделенного углекислого газа, дыхательный коэффициент.

5. Рассчитайте расход энергии при выполнении 5-минутной велоэргометрической нагрузки, если известно, что потребление кислорода составило 3,5 л/мин, а величина ДК составила 0,85.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Контрольная работа является письменной работой с кратким и систематизированным изложением предлагаемых практических задач в области физиологии человека.

В процессе выполнения контрольной работы *студент имеет возможность*:

- анализировать справочные, научные, литературные и другие источники информации;
- аргументированно обосновывать выводы и разрабатывать рекомендации по решению предлагаемых задач практической направленности.

К выполнению письменной контрольной работы *предъявляются* следующие **требования**:

- задание должно быть выполнено самостоятельно, на основе информации, полученной из различных источников;
- если при решении задач автор работы использует справочные, нормативные, научные и другие источники информации, в работе следует обязательно делать ссылки (сноски) на список используемых источников;
- следует обратить внимание на связь теоретических положений с практикой;
- решение задачи должно предваряться изложением её условия;
- необходимо представлять максимально подробное решение задачи;
- в конце каждой задачи должны быть сформулированы ответы.

При написании контрольной работы наиболее *типичными недостатками являются*:

- поверхностное и неполное раскрытие решения предлагаемых задач;
- логические и арифметические ошибки в решении конкретной задачи;
- отсутствие связи изложенного теоретического материала с конкретной задачей;
- отсутствие творческого, личностного подхода студента к решению практической задачи;
- отсутствие развернутых ответов.

Объём контрольной работы строго не регламентирован, но не должен превышать трех листов формата А-4.

Титульный лист должен быть оформлен согласно установленному образцу (приложение 1) и является первой страницей работы, но не нумеруется.

Контрольная работа должна быть правильно и эстетически хорошо оформлена. Текст контрольного задания должен быть представлен на листах формата А-4 в рукописном или напечатанном варианте, при этом должен быть написан чисто, аккуратно, без зачёркиваний и помарок, разборчиво, без орфографических, грамматических, пунктуационных и стилистических ошибок, с соблюдением интервала между верхней и нижней строкой. Все слова в тексте работы должны быть написаны (напечатаны) без сокращений, исключения составляют словосочетания (и т.д., и т.п., и др.), которые употребляются в конце фраз, а также союз «то есть» (т.е.).

Следует оставлять поля не менее 3 сантиметров для замечаний рецензента.

Работа, представляемая к проверке, должна быть сброшюрована.

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Баллы (по БРС)	Оценка	Критерии оценки
9-10	«отлично»	Решены все задачи, ответы согласуются с основными физиологическими параметрами. Верно определены основные категории. Сформулированы развернутые, самостоятельные ответы. Работа оформлена в соответствии с разработанными требованиями, написана с соблюдением норм литературного языка. Работа выполнена в срок.
8-7	«хорошо»	Правильно и полностью решены 4 задачи, допущена ошибка при решении одной задачи. Представлено логичное содержание. Работа оформлена в соответствии с разработанными требованиями, отсутствуют орфографические и пунктуационные ошибки. Допустимы отдельные погрешности в расчетах. Даны краткие ответы. Работа выполнена в срок.
5-6	«удовлетворительно»	Три задачи решены верно, в остальных задачах допущены арифметические или логические ошибки. Работа оформлена в соответствии с разработанными в институте требованиями, в ней имеются орфографические и пунктуационные ошибки. Даны краткие ответы. Работа выполнена в срок.
4-1	«неудовлетворительно»	Верно решена одна задача, остальные задачи решены не полностью или с ошибками.

В соответствии с балльно-рейтинговой системой, максимально возможное количество баллов за контрольную работу составляет 10 баллов, при этом каждая правильно решенная задача оценивается в 2 балла.

### ЛИТЕРАТУРА, РЕКОМЕНДУЕМАЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

#### *Основная литература*

1. Караулова Л.К. Физиология: уч. пособие. – М.: Академия, 2009. – 384 с.
2. Солодков А.С., Сологуб Е.Б. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная: учебник для институтов физической культуры. – М.: Терра-Спорт, Олимпия Пресс, 2017, 2012, 2010, 2005.
3. Физиология человека: учебник / под ред. Аганянц Е.К. – М.: Советский спорт, 2005-336с.

#### *Дополнительная литература*

4. Бороненкова Е.С. Рабочая тетрадь по курсу «Физиология человека» для студентов очной формы обучения ФГБОУ ВПО ЧГИФК: методические указания. – Чайковский: ЧГИФК, 2007.
5. Смирнов В.М., Дубровский. Физиология физического воспитания и спорта: учебник для институтов физической культуры. – М.: Владос, 2002. – 605 с.
6. Практикум по нормальной физиологии: практикум./ под ред. Агаджаняна Н.А. – М: Изд-во РУДН, 1996. – 339 с.
7. Физиология человека: учебник для институтов физической культуры / под ред. Тхоревского В.И. – М.: Физкультура, образование и наука, 2001. – 492 с.
8. Физиология спорта и двигательной активности: учебное пособие для студентов ВУЗов./ под ред. Уилмор Д.Х., Костилл Д.Л.
9. Фомин Н.А. Физиология: учебник для институтов. – М.: Просвещение; Владос, 1995. – 416 с.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЧАЙКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И  
СПОРТА»  
(ФГБОУ ВО «ЧГАФКИС»)

Кафедра Адаптивной физической культуры и оздоровительных технологий

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА  
по дисциплине  
«ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА»

Вариант № \_\_\_\_

Выполнил: студент \_\_\_\_\_ группы

\_\_\_\_\_  
(фамилия, инициалы студента)

Проверил: к.б.н., доцент

\_\_\_\_\_  
(фамилия, инициалы преподавателя)

Чайковский, 2021 г.

Таблица 1 – Энергетическая эффективность и калорический эквивалент кислорода при окислении различных субстратов

Окисляемое вещество	При окислении 1 г субстрата		Количество освобожденной E (ккал) на каждый литр потребленного O <sub>2</sub> (КЭК O <sub>2</sub> )
	Освобождается E (ккал)	Потребляется кислорода (л)	
Белки	4,1	0,966	4,60
Жиры	9,3	2,019	4,69
Углеводы	4,1	0,830	5,05

Таблица 2 – Процентное соотношение количества энергии (E), получаемой за счет окисления углеводов и жиров, и величины калорического эквивалента кислорода при разных дыхательных коэффициентах

DK	Процент E за счет окисления углеводов	Процент E за счет окисления жиров	Калорический эквивалент кислорода (КЭК, ккал)
0,70	0	100	4,686
0,75	15	85	4,739
0,80	32	68	4,801
0,85	49	51	4,862
0,90	66	34	4,924
0,95	83	17	4,985
1,00	100	0	5,047



Таблица 3 – Некоторые показатели функционального состояния организма человека

<i>Показатели</i>	<i>Числовые значения</i>
<i>Кровь</i>	
Количество крови в организме	5-8% от массы тела
Процентное содержание плазмы	55-58%
Процентное содержание форменных элементов (гематокрит)	42-45%
Количество эритроцитов у мужчин	5,0 – 6,0 млн/мм <sup>3</sup>
Количество эритроцитов у женщин	4,5 – 5,5 млн/мм <sup>3</sup>
Количество гемоглобина у мужчин	130-160 г/л (13-16 г%)
Количество гемоглобина у женщин	120-140 г/л (12-14 г%)
Осмотическое давление	7 – 8 атм
pH крови	7,36 – 7,40
Кислородная емкость крови (КЕК)	16 – 21 об% <sup>1</sup>
<i>Кровообращение</i>	
Частота сердечных сокращений в покое	60 – 80 уд/мин
Брадикардия	Менее 60 уд/мин
Тахикардия	Более 90 уд/мин
Оптимальная частота при максимальной нагрузке	170 уд/мин
Систолический объем крови в покое (ударный объем сердца)	60 – 80 мл
Систолический объем при нагрузке	До 100-190 мл
Минутный объем кровообращения (сердечный выброс)	4 – 6 л/мин
Время кругооборота крови	20 – 25 с
Систолическое артериальное давление	100 – 140 мм.рт.ст.
Диастолическое артериальное давление	60 – 90 мм.рт.ст.
<i>Дыхание</i>	
Частота дыхания в покое	10 – 16 цикл/мин
Дыхательный объем	500 – 800 мл
Резервный объем вдоха	1,5 – 2,5 л
Резервный объем выдоха	1,0 – 1,5 л
Жизненная емкость легких (ЖЕЛ) у мужчин	4 – 5 л
Жизненная емкость легких (ЖЕЛ) у женщин	3 – 4 л
Минутный объем дыхания (МОД) в покое	6 – 8 л/мин
Минутный объем дыхания при легкой работе	20 – 30 л/мин
Минутный объем дыхания при средней работе	50 – 80 л/мин
Минутный объем дыхания при тяжелой нагрузке	100 – 150 л/мин
Максимальная вентиляция легких	180 – 200 л/мин
Максимальное потребление кислорода у мужчин	3,0 – 4,5 л/мин
Максимальное потребление кислорода у женщин	2,5 – 3,5 л/мин
Содержание кислорода в атмосферном воздухе	20,96%
Содержание углекислого газа в атмосферном воздухе	0,03%
<i>Обмен веществ и энергии</i>	
Основной обмен человека весом 70 кг	Около 1 700 ккал/сутки
Энергетические траты в сутки у лиц умственного труда	3000 -3200 ккал
Энергетические траты в сутки у спортсменов	4 000 – 5 000 ккал
<i>Выделение</i>	
Количество выделяемого пота в покое в сутки	1 – 1,5 л
Количество выделяемого пота при физической нагрузке	Более 1 л/час