

ВЛИЯНИЕ ГЛИКОЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА РАБОТУ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ В АНАЭРОБНОЙ ЛАКТАТНОЙ ЗОНЕ У ЭЛИТНЫХ СПОРТСМЕНОВ

Тюрюмин Я.Л.

Аннотация. В статье рассматриваются показатели модели кардиореспираторной системы в анаэробной лактатной зоне у элитных спортсменов. Цель исследования. Адаптировать модель «идеальной» или «должной» кардиореспираторной системы для описания различных показателей гликолитической системы в анаэробной лактатной зоне в соответствии со скоростью потребления кислорода у элитных спортсменов. Результаты. Обсуждаются показатели сердечно-сосудистой системы, системы дыхания и гликолитической системы в соответствии с ЧСС у элитных спортсменов. Выводы. Представленная модель «идеальной» или «должной» кардиореспираторной системы соответствует всем физиологическим показателям сердечно-сосудистой системы и системы дыхания в анаэробной лактатной зоне у элитных спортсменов.

Ключевые слова: «спортивное» сердце, вентиляционно-перфузионный коэффициент, система дыхания.

Cardiorespiratory system performance in the anaerobic lactate zone in elite athletes

Turumin J.L.

Abstract. This article examines the parameters of the cardiorespiratory system in the anaerobic lactate zone in elite athletes. The aim of the study was to adapt the "ideal" or "proper" cardiorespiratory system model to describe various parameters of the glycolytic system in the anaerobic lactate zone in accordance with the oxygen consumption rate in elite athletes. Results: The parameters of the cardiovascular, respiratory, and glycolytic systems in accordance with heart rate in elite athletes are discussed. Conclusions: The presented model of the "ideal" or "proper" cardiorespiratory system corresponds to all physiological parameters of the cardiovascular and respiratory systems in the anaerobic lactate zone in elite athletes.

Key words: athlete's heart, ventilation-perfusion ratio, respiratory system.

Введение. Эффективность работы кардиореспираторной системы во время физической нагрузки у элитных спортсменов определяется синхронизацией двух процессов: вентиляцией альвеолярного пространства и капиллярной перфузией альвеол. Для оценки эффективности синхронизации процессов вентиляции альвеолярного пространства и капиллярной перфузии альвеол используют вентиляционно-перфузионный коэффициент (V/Q).

Вентиляция альвеолярного пространства зависит от дыхательного объема легких, капиллярная перфузия альвеол – от ударного объема правого желудочка. Соответственно, вентиляционно-перфузионный коэффициент (V/Q) зависит от минутного объема альвеолярной вентиляции и минутного объема крови. Изменение вентиляционно-перфузионного коэффициента (V/Q) в различных зонах тренировочных нагрузок свидетельствует о динамическом изменении процесса синхронизации работы кардиореспираторной системы.

В покое преобладают механизмы капиллярной перфузии альвеол над процессами вентиляции альвеолярного пространства. По мере увеличения объема аэробно-анаэробных тренировочных нагрузок вентиляционно-перфузионный коэффициент повышается и начинают преобладать процессы вентиляции альвеолярного пространства над механизмами капиллярной перфузии альвеол. В лактатной и алактатной анаэробной зоне при ЧСС=175-200 уд/мин вентиляционно-перфузионный коэффициент повышается более 3.30, что свидетельствует о превышении физиологических границ эффективной капиллярной перфузии альвеол.

Цель. Адаптировать модель «идеальной» или «должной» кардиореспираторной системы для описания различных показателей сердечно-сосудистой системы, системы дыхания и гликолитической системы в анаэробной лактатной зоне в соответствии со скоростью потребления кислорода ($V-O_2$) у элитных спортсменов.

Методы и методы. Адаптировали модель «идеальной» или «должной» кардиореспираторной системы и Эхо-КГ в зависимости от периодов и фаз сердечного цикла в соответствии с данными ЭКГ (Тюрюмин Я.Л., 2023, 2024). Максимальную ЧСС (ЧССмакс) рассчитывали по Fox S.M. et al (1971). Используемые функциональные показатели сердечно-сосудистой системы и системы дыхания соответствовали зонам тренировочных нагрузок. В модель введены новые показатели: концентрация лактата в крови (Лакт), лактатный кислородный долг (ЛКД), рН крови (рН), показатели не метаболического CO_2 («избыток» CO_2).

Результаты. Показатели различных систем в покое:

Сердечно-сосудистая система: ЧСС = 36-50 уд/мин. Конечнодиастолический объем левого желудочка (КДОлж) = 250 мл. Конечносистолический объем левого желудочка (КСОлж) = 101-115 мл. Ударный объем левого желудочка (УОлж) = 135-149 мл. Фракция выброса левого желудочка (ФВлж) = 54-60%. Минутный объем крови (МОК) = 4.90-7.46 л/мин. Система дыхания: Дыхательный объем (ДО) = 908-1157 мл. Минутный объем дыхания (МОД) = 6.61-11.57 л/мин. Частота дыхательных движений (ЧДД) = 7-10 д/мин. Альвеолярный дыхательный объем (АДО) = 673-922 мл. Объем альвеолярной вентиляции (ОАВ) = 4.90-9.22 л/мин. Скорость выделения углекислого газа ($V-CO_2$) = 174-332 мл CO_2 /мин. Дыхательный коэффициент (ДК) = 0.70. Вентиляционно-перфузионный коэффициент (V/Q) = 1.00-1.24. Система крови: Артериовенозная разница по кислороду (АВР- O_2) = 25-31%. Скорость потребления кислорода ($V-O_2$) = 250-470 мл O_2 /мин. Концентрация лактата в крови (Лакт) = 0.5 ммоль/л. «Избыток» CO_2 = 0. рН крови = 7.40. Лактатный кислородный долг (ЛКД) = 0 л O_2 .

Сердечно-сосудистая система: ЧСС = 50-70 уд/мин. КДОлж = 250 мл. КСОлж = 84-101 мл. УОлж = 149-166 мл. ФВлж = 60-67%. МОК = 7.46-11.64 л/мин. Система дыхания: ДО = 1157-1540 мл. МОД = 11.57-21.56 л/мин. ЧДД = 10-14 д/мин. АДО = 922-1305 мл. ОАВ = 9.22-18.27 л/мин. $V-CO_2$ = 332-690 мл CO_2 /мин. ДК = 0.70-0.74. V/Q = 1.24-1.57. Система крови: АВР- O_2 = 31-40%. $V-$

$O_2 = 470-932$ мл O_2 /мин. Лакт = 0.5 ммоль/л. «Избыток» $CO_2 = 0$. рН крови = 7.40. ЛКД = 0 л O_2 .

Аэробная восстановительная зона («зона сжигания жиров»):

Сердечно-сосудистая система: ЧСС = 100-120 уд/мин. КДОлж = 250 мл. КСОлж = 41-58 мл. УОлж = 192-209 мл. ФВлж = 77-84%. МОК = 19.18-25.05 л/мин. Система дыхания: ДО = 2220-2745 мл. МОД = 44.40-65.88 л/мин. ЧДД = 20-24 д/мин. АДО = 1985-2510 мл. ОАВ = 39.70-60.24 л/мин. $V-CO_2 = 1626-2595$ мл CO_2 /мин. ДК = 0.80-0.84. $V/Q = 2.07-2.40$. Система крови: АВР- $O_2 = 53-61\%$. $V-O_2 = 2026-3073$ мл O_2 /мин. Лакт = 0.5 ммоль/л. «Избыток» $CO_2 = 0$. рН = 7.40. ЛКД = 0 л O_2 .

Аэробная восстановительная зона (зона кардиовыносливости):

Сердечно-сосудистая система: ЧСС = 120-140 уд/мин. КДОлж = 250 мл. КСОлж = 25-41 мл. УОлж = 209-225 мл. ФВлж = 84-90%. МОК = 25.05-31.51 л/мин. Система дыхания: ДО = 2745-3317 мл. МОД = 65.88-92.89 л/мин. ЧДД = 24-28 д/мин. АДО = 2510-3082 мл. ОАВ = 60.24-86.31 л/мин. $V-CO_2 = 2595-3900$ мл/мин. ДК = 0.84-0.89. $V/Q = 2.40-2.74$. Система крови: АВР- $O_2 = 61-70\%$. $V-O_2 = 3073-4404$ мл/мин. Лакт = 0.5 ммоль/л. «Избыток» $CO_2 = 0$. рН = 7.40. ЛКД = 0 л O_2 .

Аэробная тренирующая зона:

Сердечно-сосудистая система: ЧСС = 140-155 уд/мин. КДОлж = 250 мл. КСОлж = 25 мл. УОлж = 225 мл. ФВлж = 90%. МОК = 31.51-34.88 л/мин. Система дыхания: ДО = 3317-3598 мл. МОД = 92.89-111.54 л/мин. ЧДД = 28-31 д/мин. АДО = 3082-3363 мл. ОАВ = 86.31-104.25 л/мин. $V-CO_2 = 3900-5575$ мл/мин. ДК = 0.89-1.05. $V/Q = 2.74-2.99$. Система крови: АВР- $O_2 = 70-76\%$. $V-O_2 = 4404-5319$ мл O_2 /мин. Лакт = 0.5-2.0 ммоль/л. «Избыток» $CO_2 = 256$ мл CO_2 /мин. рН = 7.37-7.40. ЛКД = 0.57-2.26 л O_2 .

Аэробно-анаэробная зона (лактатный порог 1 – лактатный порог 2):

Сердечно-сосудистая система: ЧСС = 155-170 уд/мин. КДОлж = 250 мл. КСОлж = 25 мл. УОлж = 225 мл. ФВлж = 90%. МОК = 34.88-38.25 л/мин. Система дыхания: ДО = 3598-3880 мл. МОД = 111.54-131.92 л/мин. ЧДД = 31-34 д/мин. АДО = 3363-3645 мл. ОАВ = 104.25-123.93 л/мин. $V-CO_2 = 5575-7520$ мл/мин. ДК = 1.05-1.19. $V/Q = 2.99-3.24$. Система крови: АВР- $O_2 = 76-82\%$. $V-O_2 = 5319-6323$ мл O_2 /мин. Лакт = 2.0-4.16 ммоль/л. «Избыток» $CO_2 = 256-1197$ мл CO_2 /мин. рН = 7.33-7.37. ЛКД = 2.26-4.71 л O_2 .

Лактатная анаэробная зона:

Сердечно-сосудистая система: ЧСС = 170-200 уд/мин. КДОлж = 250 мл. КСОлж = 25-55 мл. УОлж = 195-225 мл. ФВлж = 78-90%. МОК = 38.25-39.00 л/мин. Система дыхания: ДО = 3880-3882 мл. МОД = 131.92-155.30 л/мин. ЧДД = 34-40 д/мин. АДО = 3645-3647 мл. ОАВ = 123.93-145.90 л/мин. $V-CO_2 = 7520-10360$ мл/мин. ДК = 1.19-1.39. $V/Q = 3.24-3.74$. Система крови: АВР- $O_2 = 82-95\%$. $V-O_2 = 6323-7444$ мл O_2 /мин. Лакт = 4.16-22.2 ммоль/л. «Избыток» $CO_2 = 1197-2916$ мл CO_2 /мин. рН = 6.99-7.33. ЛКД = 4.71-25.13 л O_2 .

Заключение/выводы. Таким образом, представленная модель работы «идеальной» или «должной» кардиореспираторной системы описывает ключевые показатели сердечно-сосудистой системы, системы дыхания и

гликолитической системы в лактатной анаэробной зоне в соответствии со скоростью потребления кислорода у элитных спортсменов.

У элитных спортсменов в лактатной анаэробной зоне концентрация лактата в крови, «избыток» не метаболического CO_2 и лактатный кислородный долг достигают максимальных значений, рН крови достигает минимально допустимых значений.

Скорость потребления кислорода повышается до 7400-7500 мл O_2 /мин, что примерно соответствует показателям 100-101 мл O_2 /мин/кг у элитных спортсменов. Для достижения таких показателей скорости потребления кислорода средние значения жизненной емкости легких должны соответствовать 7700-7800 мл, а средний конечно-диастолический объем левого желудочка – 245-255 мл.

Элитные спортсмены должны обладать уникальными физиологическими данными кардиореспираторной системы и показателями гликолитической системы для достижения результатов близких к мировым рекордам в лактатной анаэробной зоне.

Тюрюмин Я.Л. Влияние гликолитической системы на работу кардиореспираторной системы в анаэробной лактатной зоне у элитных спортсменов // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Прикладная спортивная наука: традиции, реалии, перспективы» (18-19 декабря 2025 г.). – Минск (Республика Беларусь), 2025. – С. 149-152 – 0,23 печ. л. – ISBN 978-985-90604-7-2 – РИИЦ.