

СИНХРОНИЗАЦИЯ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ ТРЕНИРОВОЧНЫХ НАГРУЗОК

Тюрюмин Я.Л.

Аннотация. В статье рассматривается модель работы кардиореспираторной системы для описания различных зон тренировочных нагрузок в соответствии с показателями вентиляционно-перфузионного коэффициента. Цель исследования. Разработать модель «идеальной» или «должной» кардиореспираторной системы для описания различных зон тренировочных нагрузок от ЧСС_{мин} = 50 уд/мин до ЧСС_{макс} = 200 уд/мин в соответствии с показателями вентиляционно-перфузионного коэффициента. Результаты. Обсуждаются показатели сердечно-сосудистой системы и системы дыхания в соответствии с зонами тренировочных нагрузок. Выводы. Представленная модель «идеальной» или «должной» кардиореспираторной системы для описания различных зон тренировочных нагрузок от ЧСС_{мин} = 50 уд/мин до ЧСС_{макс} = 200 уд/мин соответствует всем физиологическим показателям системы дыхания.

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

Synchronization of the cardiorespiratory system in different training load zones

Turumin J.L.

Abstract. The article discusses a model of the cardiorespiratory system for describing zones of training exercises in accordance with the ventilation-perfusion ratio. Purpose of the study. To develop a model of the "ideal" or "proper" cardiorespiratory system for describing various zones of training exercises from resting heart rate to heart rate max in accordance with the ventilation-perfusion ratio. Results. The cardiovascular and respiratory system data are discussed depending on zones of training exercises. Conclusions. The presented model of the "ideal" or "proper" cardiorespiratory system for describing various zones of training exercises from resting heart rate to heart rate max corresponds to all physiological data of the respiratory system.

Key words: athlete's heart, ventilation-perfusion ratio, respiratory system, zones of training exercises.

Введение. Кардиореспираторная система является важной составляющей в работе кислородтранспортной системы [1, 2, 9, 10]. Синхронизация работы кардиореспираторной системы обеспечивает достаточное количество связывания кислорода с гемоглобином и доставку оксигемоглобина к мышцам [1, 2, 9, 10]. Кардиореспираторная система является важной составляющей в выведении диоксида углерода из мышц и организма спортсмена [1, 2, 9, 10].

Эти два процесса поступление кислорода в организм и выведение диоксида углерода из организма между собой взаимосвязаны и регулируются кардиореспираторной системой [1, 2, 9, 10].

Эффективность синхронизации работы кардиореспираторной системы можно оценить с помощью вентиляционно-перфузионного коэффициента [1, 2, 9, 10].

Объем вентиляции легких зависит от минутного объема альвеолярной вентиляции [1, 2, 9, 10]. Перфузия легких зависит от минутного объема крови [1, 2, 9, 10].

Вентиляционно-перфузионный коэффициент (V/Q) отражает эффективность альвеолярной вентиляции/перфузии в легких при физических аэробно-анаэробных тренировочных нагрузках различной мощности [1, 9, 10].

Преобладание перфузии над альвеолярной вентиляцией ($V/Q=0.63-1.00$) в нижних долях легких (ниже границы 10 см выше середины сердца – зона 3) поддерживается в следствии повышенного артериального давления (P_a) в легочных капиллярах легочной артерии и венозного давления (P_v) в легочной вене, которое больше давления альвеолярного воздуха (P_A) в альвеолах ($P_a > P_v > P_A$) [1, 9, 10].

Преобладание альвеолярной вентиляции над перфузией ($V/Q=1.00-3.30$) в средней доле и нижних сегментах верхней доли легких (выше границы 10 см выше середины сердца – зона 2) поддерживается в следствии повышенного артериального давления (P_a) в легочных капиллярах легочной артерии и давления альвеолярного воздуха (P_A) в альвеолах, которое больше венозного давления (P_v) в легочной вене ($P_a > P_A > P_v$) [1, 9, 10].

Эффективная синхронизация работы кардиореспираторной системы («спортивное» сердце и «спортивное» дыхание) значительно повышает возможности спортсмена для выполнения в большей степени аэробно-анаэробных тренировочных нагрузок субмаксимальной и максимальной мощности [1-8].

Цель исследования. Разработать модель «идеальной» или «должной» кардиореспираторной системы для описания различных зон тренировочных нагрузок от $ЧСС_{мин} = 50$ уд/мин до $ЧСС_{макс} = 200$ уд/мин в соответствии с показателями вентиляционно-перфузионного коэффициента.

Методы исследования. Для построения модели «идеальной» или «должной» модели кардиореспираторной системы для описания различных зон тренировочных нагрузок использовали модель «идеальной» или «должной» ЭКГ в зависимости от периодов и фаз сердечного цикла в соответствии с данными ЭхоКГ [3-8]. Функциональные показатели системы дыхания взаимосвязаны с показателями сердечно-сосудистой системы и соответствовали зонам тренировочных нагрузок. Максимальную ЧСС ($ЧСС_{макс}$) рассчитывали по Fox S.M. et al. (1971). Конечнo-диастолический объем левого желудочка = КДО_{лж}. Конечнo-систолический объем левого желудочка = КСО_{лж}. Ударный объем левого желудочка = УО_{лж}. Фракция выброса левого желудочка = ФВ_{лж}. Минутный объем крови = МОК [3-8]. Артериовенозная разница по кислороду = АВР- O_2 . Скорость потребления кислорода = $V-O_2$. Дыхательный объем = ДО. Альвеолярный дыхательный объем = АДО. Частота дыхательных движений = ЧДД. Минутный объем дыхания = МОД. Объем альвеолярной вентиляции = ОАВ. Скорость выделения углекислого газа = $V-CO_2$. Дыхательный коэффициент = ДК. Вентиляционно-перфузионный коэффициент = V/Q [1, 9, 10].

Основная часть. Показатели кардиореспираторной системы в покое ($ЧСС = 50$ уд/мин):

ЭхоКГ: $ЧСС = 50$ уд/мин. КДО_{лж} = 180 мл. КСО_{лж} = 80 мл. УО_{лж} = 100 мл. ФВ_{лж} = 55%. МОК = 4.98 л/мин. АВР- $O_2 = 25.0\%$. $V-O_2 = 250$ мл/мин.

Система дыхания: ДО = 676 мл. МОД = 6.76 л/мин. ЧДД = 10 д/мин. АДО = 487 мл. ОАВ = 4.87 л/мин. V-CO₂ = 174 мл/мин. ДК = 0.70. V/Q = 0.98.

ЭхоКГ: ЧСС = 60 уд/мин. КДОлж = 180 мл. КСОлж = 77 мл. УОлж = 103 мл. ФВлж = 59%. МОК = 6.39 л/мин. АВР-O₂ = 29.8%. V-O₂ = 382 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 809 мл. МОД = 9.71 л/мин. ЧДД = 12 д/мин. АДО = 620 мл. ОАВ = 7.44 л/мин. V-CO₂ = 270 мл/мин. ДК = 0.70. V/Q = 1.16.

Аэробная восстановительная зона (зона сжигания жиров = ЧСС = 100-120 уд/мин):

ЭхоКГ: ЧСС = 100 уд/мин. КДОлж = 180 мл. КСОлж = 45 мл. УОлж = 135 мл. ФВлж = 75%. МОК = 13.46 л/мин. АВР-O₂ = 48.8%. V-O₂ = 1321 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 1474 мл. МОД = 29.47 л/мин. ЧДД = 20 д/мин. АДО = 1285 мл. ОАВ = 25.69 л/мин. V-CO₂ = 999 мл/мин. ДК = 0.76. V/Q = 1.91.

ЭхоКГ: ЧСС = 120 уд/мин. КДОлж = 180 мл. КСОлж = 31 мл. УОлж = 149 мл. ФВлж = 83%. МОК = 17.84 л/мин. АВР-O₂ = 58.3%. V-O₂ = 2091 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 1884 мл. МОД = 45.23 л/мин. ЧДД = 24 д/мин. АДО = 1695 мл. ОАВ = 40.69 л/мин. V-CO₂ = 1646 мл/мин. ДК = 0.79. V/Q = 2.28.

Аэробная восстановительная зона (зона кардиовыносливости = ЧСС = 120-140 уд/мин):

ЭхоКГ: ЧСС = 140 уд/мин. КДОлж = 180 мл. КСОлж = 18 мл. УОлж = 162 мл. ФВлж = 90%. МОК = 22.69 л/мин. АВР-O₂ = 67.8%. V-O₂ = 3094 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 2339 мл. МОД = 65.49 л/мин. ЧДД = 28 д/мин. АДО = 2150 мл. ОАВ = 60.19 л/мин. V-CO₂ = 2858 мл/мин. ДК = 0.92. V/Q = 2.65.

Аэробная тренирующая зона (ЧСС = 140-155 уд/мин):

ЭхоКГ: ЧСС = 155 уд/мин. КДОлж = 180 мл. КСОлж = 18 мл. УОлж = 162 мл. ФВлж = 90%. МОК = 25.11 л/мин. АВР-O₂ = 75.0%. V-O₂ = 3784 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 2564 мл. МОД = 79.48 л/мин. ЧДД = 31 д/мин. АДО = 2375 мл. ОАВ = 73.62 л/мин. V-CO₂ = 4095 мл/мин. ДК = 1.08. V/Q = 2.93.

Аэробно-анаэробная зона (ЧСС = 155-170 уд/мин):

ЭхоКГ: ЧСС = 170 уд/мин. КДОлж = 180 мл. КСОлж = 18 мл. УОлж = 162 мл. ФВлж = 90%. МОК = 27.54 л/мин. АВР-O₂ = 82.1%. V-O₂ = 4546 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 2790 мл. МОД = 94.87 л/мин. ЧДД = 34 д/мин. АДО = 2601 мл. ОАВ = 88.44 л/мин. V-CO₂ = 5682 мл/мин. ДК = 1.25. V/Q = 3.21.

Лактатная анаэробная зона (ЧСС = 170-190 уд/мин):

ЭхоКГ: ЧСС = 190 уд/мин. КДОлж = 180 мл. КСОлж = 32 мл. УОлж = 148 мл. ФВлж = 82%. МОК = 28.04 л/мин. АВР-O₂ = 91.6%. V-O₂ = 5166 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 2834 мл. МОД = 107.68 л/мин. ЧДД = 38 д/мин. АДО = 2645 мл. ОАВ = 100.50 л/мин. V-CO₂ = 7069 мл/мин. ДК = 1.37. V/Q = 3.58.

Алактатная анаэробная зона (ЧСС = 190-200 уд/мин):

ЭхоКГ: ЧСС = 200 уд/мин. КДОлж = 180 мл. КСОлж = 40 мл. УОлж = 140 мл. ФВлж = 78%. МОК = 28.08 л/мин. АВР-O₂ = 96.4%. V-O₂ = 5441 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 2835 мл. МОД = 113.41 л/мин. ЧДД = 40 д/мин. АДО = 2646 мл. ОАВ = 105.85 л/мин. V-CO₂ = 7617 мл/мин. ДК = 1.40. V/Q = 3.77.

Выводы. Таким образом, представленная модель «идеальной» или «должной» кардиореспираторной системы для описания различных зон тренировочных нагрузок от ЧСС_{мин} = 50 уд/мин до ЧСС_{макс} = 200 уд/мин соответствует всем физиологическим показателям системы дыхания [2-8].

Повышение коэффициента альвеолярной вентиляции/перфузии в легких более 3.31 при ЧСС=175-200 уд/мин ($V/Q=3.31-3.77$) свидетельствует о вовлечении в альвеолярную вентиляцию верхних сегментов верхней доли легких и неэффективности избыточной вентиляции из-за низкой перфузии ($P_a > P_A > P_v$) в лактатной анаэробной зоне [1, 9, 10].

Список литературы

1. Гайтон, А.К. Медицинская физиология / А.К. Гайтон, Д.Э. Холл; пер. с англ.; под ред. В.И. Кобрина. – М.: Логосфера, 2008. – 1296 с.
2. Платонов, В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В.Н. Платонов. – К.: Олимпийская литература, 2004. – 808 с.
3. Васильков, А.А. Возрастно-половая динамика показателей частоты сердечных сокращений и частоты дыхания / А.А. Васильков // Вестник ЮУрГУ. – 2005. – № 4. – С. 198-200.
4. Тюрюмин, Я.Л. «Спортивное» сердце: ЧСС_{макс}, ЭКГ и ЭхоКГ // В сборнике: Спорт – дорога к миру между народами. Москва, 2023. – С. 212-216.
5. Тюрюмин, Я.Л. Характеристика частоты сердечного сокращения при выполнении физических нагрузок. ЧСС-170: ЭКГ И ЭхоКГ // В сборнике: Тенденции развития легкоатлетического спорта в России и мире в современных условиях: проблемы и перспективы. Москва, 2023. – С. 34-38.
6. Тюрюмин, Я.Л. «Спортивное» сердце: ЧСС максимальная и ЭКГ // В сборнике: Актуальные медико-биологические проблемы спорта и физической культуры. Волгоград, 2023. – Ч. I. – С. 357-362.
7. Тюрюмин, Я.Л. «Спортивное» сердце. Зоны тренировочных нагрузок // В сборнике: Фундаментальные и прикладные гуманитарные исследования в сфере физической культуры, спорта и олимпизма: традиции и инновации. Москва, 2022. – С. 235-239.
8. Bazett, H. An analysis of the time-relations of electrocardiograms / H. Bazett // Ann Noninvasive Electrocardiol. – 1997. – Vol. 2, No. 2. – P. 177-194.
9. Koeppen, B.M. Berne and Levy Physiology / B.M. Koeppen., B.A. Stanton. – 7th ed. – Philadelphia, PA: Elsevier, 2018. – 884 p. – ISBN: 9780323393942.
10. Silbernagl, S. Color atlas of physiology / S. Silbernagl, A. Despopoulos. – 6th ed. – New York: Thieme, 2009. – 453 p. – ISBN 9783135450063.

Тюрюмин Я.Л. Синхронизация кардиореспираторной системы в различных зонах тренировочных нагрузок // Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием по легкой атлетике «Тенденции развития легкоатлетического спорта в России и мире в современных условиях: проблемы и перспективы» (18 декабря 2024 г.). – Москва, 2024. – С. 94-98 – 0,26 печ.л. – ISBN 978-5-6050448-9-5 – РИНЦ.