

ОСОБЕННОСТИ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ У СПОРТСМЕНОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ

Тюрюмин Я.Л.

Аннотация. В статье рассматриваются показатели модели кардиореспираторной системы у спортсменов высокой квалификации. Цель исследования. Разработать модель «идеальной» или «должной» кардиореспираторной системы для описания показателей при ЧСС_{макс} = 200 уд/мин у спортсменов высокой квалификации. Результаты. Обсуждаются показатели сердечно-сосудистой системы и системы дыхания в соответствии с ЧСС_{макс} у спортсменов высокой квалификации. Выводы. Представленная модель «идеальной» или «должной» кардиореспираторной системы для описания ЧСС_{макс} = 200 уд/мин соответствует всем физиологическим показателям сердечно-сосудистой системы и системы дыхания у спортсменов высокой квалификации.

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

Features of the cardiorespiratory system in high performance athletes

Turumin J.L.

Abstract. The article considers the parameters of the cardiorespiratory system model in high performance athletes. Purpose of the study. To develop a model of the "ideal" or "proper" cardiorespiratory system to describe the parameters at HR_{max} = 200 bpm in high performance athletes. Results. The parameters of the cardiovascular and respiratory systems in accordance with HR_{max} in high performance athletes are discussed. Conclusions. The presented model of the "ideal" or "proper" cardiorespiratory system to describe HR_{max} = 200 bpm corresponds to all physiological parameters of the cardiovascular and respiratory systems in high performance athletes.

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

Введение. Кардиореспираторная система является важной составляющей у спортсменов высокой квалификации [1-3, 9, 10].

Система дыхания обеспечивает достаточное поступление кислорода из атмосферного воздуха в альвеолы (система вентиляции) [1, 3, 9, 10]. Объем вентиляции легких зависит от минутного объема альвеолярной вентиляции [1, 3, 9, 10].

Сердечно-сосудистая система выполняет функцию доставки кислорода из альвеол к скелетным мышцам (система перфузии) [4-8]. Перфузия легких зависит от минутного объема крови [4-8].

Вентиляционно-перфузионный коэффициент (V/Q) отражает эффективность альвеолярной вентиляции/перфузии в легких при физических аэробно-анаэробных тренировочных нагрузках различной мощности [1, 3, 9, 10].

Вентиляционно-перфузионное соотношение свидетельствует о наличии синхронизации работы кардиореспираторной системы в различных зонах тренировочных нагрузок [1-10]. Соответственно, эффективность синхронизации работы кардиореспираторной системы можно оценить с помощью вентиляционно-перфузионного коэффициента [1, 9, 10].

Эффективная синхронизация работы кардиореспираторной системы («спортивное» сердце и «спортивное» дыхание) значительно повышает скорость

потребления кислорода и возможности спортсменов высокой квалификации для выполнения в большей степени аэробно-анаэробных тренировочных нагрузок субмаксимальной и максимальной мощности [1-10].

Цель исследования. Разработать модель «идеальной» или «должной» кардиореспираторной системы для описания показателей при ЧСС_{макс} = 200 уд/мин у спортсменов высокой квалификации.

Методы исследования. Для построения «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 [4-8]. Функциональные показатели системы дыхания взаимосвязаны с показателями сердечно-сосудистой системы и соответствовали зонам тренировочных нагрузок [3]. Максимальную ЧСС (ЧСС_{макс}) рассчитывали по Fox S.M. et al. (1971). Конечно-диастолический объем левого желудочка = КДО_{лж}. Конечно-систолический объем левого желудочка = КСО_{лж}. Ударный объем левого желудочка = УО_{лж}. Фракция выброса левого желудочка = ФВ_{лж}. Минутный объем крови = МОК [4-8]. Артериовенозная разница по кислороду = АВР-О₂. Скорость потребления кислорода = V-О₂. Дыхательный объем = ДО. Альвеолярный дыхательный объем = АДО. Частота дыхательных движений = ЧДД. Минутный объем дыхания = МОД. Объем альвеолярной вентиляции = ОАВ. Скорость выделения углекислого газа = V-СО₂. Дыхательный коэффициент = ДК. Вентиляционно-перфузионный коэффициент = V/Q [1, 3, 9, 10].

Основная часть. Показатели кардиореспираторной системы в покое (ЧСС = 38 уд/мин):

ЭхоКГ: ЧСС = 38 уд/мин. КДО_{лж} = 240 мл. КСО_{лж} = 109 мл. УО_{лж} = 131 мл. ФВ_{лж} = 55%. МОК = 4.98 л/мин. АВР-О₂ = 25.0%. V-О₂ = 250 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 866 мл. МОД = 6.58 л/мин. ЧДД = 7.6 д/мин. АДО = 641 мл. ОАВ = 4.87 л/мин. V-СО₂ = 174 мл/мин. ДК = 0.70. V/Q = 0.98.

ЭхоКГ: ЧСС = 60 уд/мин. КДО_{лж} = 240 мл. КСО_{лж} = 89 мл. УО_{лж} = 151 мл. ФВ_{лж} = 63%. МОК = 9.09 л/мин. АВР-О₂ = 35.6%. V-О₂ = 650 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 1279 мл. МОД = 15.35 л/мин. ЧДД = 12 д/мин. АДО = 1054 мл. ОАВ = 12.65 л/мин. V-СО₂ = 464 мл/мин. ДК = 0.71. V/Q = 1.39.

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

ЭхоКГ: ЧСС = 100 уд/мин. КДО_{лж} = 240 мл. КСО_{лж} = 56 мл. УО_{лж} = 184 мл. ФВ_{лж} = 76.7%. МОК = 18.41 л/мин. АВР-О₂ = 52.6%. V-О₂ = 1945 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 2117 мл. МОД = 42.34 л/мин. ЧДД = 20 д/мин. АДО = 1892 мл. ОАВ = 37.84 л/мин. V-СО₂ = 1471 мл/мин. ДК = 0.76. V/Q = 2.06.

ЭхоКГ: ЧСС = 120 уд/мин. КДО_{лж} = 240 мл. КСО_{лж} = 40 мл. УО_{лж} = 200 мл. ФВ_{лж} = 83.5%. МОК = 24.05 л/мин. АВР-О₂ = 61.0%. V-О₂ = 2950 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 2617 мл. МОД = 62.80 л/мин. ЧДД = 24 д/мин. АДО = 2392 мл. ОАВ = 57.40 л/мин. V-СО₂ = 2322 мл/мин. ДК = 0.79. V/Q = 2.39.

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

ЭхоКГ: ЧСС = 140 уд/мин. КДО_{лж} = 240 мл. КСО_{лж} = 24 мл. УО_{лж} = 216 мл. ФВ_{лж} = 90%. МОК = 30.25 л/мин. АВР-О₂ = 69.5%. V-О₂ = 4227 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 3162 мл. МОД = 88.55 л/мин. ЧДД = 28 д/мин. АДО = 2937 мл. ОАВ = 82.25 л/мин. V-СО₂ = 3905 мл/мин. ДК = 0.92. V/Q = 2.72.

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

ЭхоКГ: ЧСС = 155 уд/мин. КДО_{лж} = 240 мл. КСО_{лж} = 24 мл. УО_{лж} = 216 мл. ФВ_{лж} = 90%. МОК = 33.48 л/мин. АВР-О₂ = 75.9%. V-О₂ = 5106 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 3430 мл. МОД = 106.32 л/мин. ЧДД = 31 д/мин. АДО = 3205 мл. ОАВ = 99.34 л/мин. V-СО₂ = 5525 мл/мин. ДК = 1.08. V/Q = 2.97.

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

ЭхоКГ: ЧСС = 170 уд/мин. КДО_{лж} = 240 мл. КСО_{лж} = 24 мл. УО_{лж} = 216 мл. ФВ_{лж} = 90%. МОК = 36.72 л/мин. АВР-О₂ = 82.2%. V-О₂ = 6070 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 3698 мл. МОД = 125.74 л/мин. ЧДД = 34 д/мин. АДО = 3473 мл. ОАВ = 118.09 л/мин. V-СО₂ = 7587 мл/мин. ДК = 1.25. V/Q = 3.22.

ЭхоКГ: ЧСС = 190 уд/мин. КДО_{лж} = 240 мл. КСО_{лж} = 43 мл. УО_{лж} = 197 мл. ФВ_{лж} = 82%. МОК = 37.39 л/мин. АВР-О₂ = 90.7%. V-О₂ = 6818 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 3716 мл. МОД = 141.20 л/мин. ЧДД = 38 д/мин. АДО = 3491 мл. ОАВ = 132.65 л/мин. V-СО₂ = 9330 мл/мин. ДК = 1.37. V/Q = 3.55.

Алактатная анаэробная зона (ЧСС = 190 уд/мин – ЧСС_{макс} = 200 уд/мин):

ЭхоКГ: ЧСС = 200 уд/мин. КДО_{лж} = 240 мл. КСО_{лж} = 53 мл. УО_{лж} = 187 мл. ФВ_{лж} = 78%. МОК = 37.44 л/мин. АВР-О₂ = 95.0%. V-О₂ = 7146 мл/мин.

Система дыхания: ДО = 3701 мл. МОД = 148.03 л/мин. ЧДД = 40 д/мин. АДО = 3476 мл. ОАВ = 139.03 л/мин. V-СО₂ = 10005 мл/мин. ДК = 1.40. V/Q = 3.71.

Выводы. Таким образом, представленная модель работы «идеальной» или «должной» кардиореспираторной системы для описания ЧСС_{макс} = 200 уд/мин соответствует всем физиологическим показателям сердечно-сосудистой системы и системы дыхания у спортсменов высокой квалификации [1-10]. Скорость потребления кислорода (V-О₂) примерно составляет 96-100 мл О₂/мин/кг, что соответствует показателям максимального потребления О₂ у спортсменов высокой квалификации [2]. Соответственно, средние значения ЖЕЛ должны соответствовать 7450-7500 мл, средний конечно-диастолический объем левого желудочка – 235-245 мл [1, 3, 9, 10].

Повышение коэффициента альвеолярной вентиляции/перфузии в легких более 3.31 при ЧСС=175-200 уд/мин (V/Q=3.31-3.71) 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) при ЧСС_{макс} = 200 уд/мин у спортсменов высокой квалификации [1, 9, 10].

Одной из главных причин снижения альвеолярной перфузии в легких при ЧСС=175-200 уд/мин (V/Q=3.31-3.71) может быть укорочение продолжительности сегмента S-T (систола желудочков) и интервала T-P (диастола желудочков) до 0, и, как следствие, параллельное уменьшение ударного

объема правого желудочка и фракции выброса с 90% до 78% при ЧСС_{макс} = 200 уд/мин у спортсменов высокой квалификации [4-8].

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. Максимальное потребление кислорода [Электронный ресурс]: материал из Википедии // Википедия: свободная энциклопедия. – Wikipedia, 2025. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Максимальное_потребление_кислорода. (Дата обращения: 08.02.2025).
3. Платонов, В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В.Н. Платонов. – К.: Олимпийская литература, 2004. – 808 с.
4. Тюрюмин, Я.Л. «Спортивное» сердце: ЧСС_{макс}, ЭКГ и ЭхоЭКГ // 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 ЭхоЭКГ // 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. Особенности кардиореспираторной системы у спортсменов высокой квалификации // Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Физическая реабилитация и спортивная медицина: теория и практика» (22-23 мая 2025 г.). – Москва, 2025. – С. 302-307 – 0,29 печ.л. – ISBN 978-5-6053465-4-8 – РИНЦ.