

УДК 616.17:[519.2+519.6]

О. Н. Бодин, В. Г. Полосин, С. А. Балахонова

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

O. N. Bodin, V. G. Polosin, S. A. Balakhonova

PREDICTION MAXIMUM HEART RATE FOR CALCULATING OF THE PHYSICAL ACTIVITY INTENSITY

А н н о т а ц и я. Рассмотрены проблемы определения максимальной частоты сердечных сокращений. Представлена методика определения максимальной ЧСС путем прогнозирования.

A b s t r a c t. In this paper authors consider the problem of defining the maximum heart rate values, present the methodology of determining the maximum heart rate by prediction.

К л ю ч е в ы е с л о в а: частота сердечных сокращений, максимальная ЧСС, АВ-блокада, прогнозирование.

K e y w o r d s: heart rate, maximum heart rate, AV-blockade, prediction.

Оптимальный уровень физических нагрузок определяется индивидуально и зависит от физического состояния человека, которое характеризуется такими показателями, как антропометрические и функциональные параметры физического развития, функциональные возможности сердечно-сосудистой и дыхательной систем, физическая работоспособность, возраст.

Для грамотного планирования спортивных тренировок необходимо придерживаться определенной интенсивности работы. Как правило, интенсивность физической нагрузки выражается в процентном отношении от показателя максимальной частоты сердечных сокращений (ЧСС). Максимальной ЧСС в данном случае называется наибольшая частота пульса, при которой сохраняется нормальная работа сердца. Выделяют пять уровней интенсивности тренировок:

- умеренная нагрузка (пульс 50–60 % от максимальной ЧСС);
- «контроль веса» (пульс 60–70 % от максимальной ЧСС);
- аэробная зона (пульс 70–80 % от максимальной ЧСС);
- анаэробная тренировка (пульс 80–90 % от максимальной ЧСС);
- максимальная нагрузка (пульс 90–100 % от максимальной ЧСС).

В зависимости от вида спорта наиболее распространены аэробный и анаэробный виды тренировок. Во время тренировки в аэробной зоне улучшается выносливость сердечной мышцы, расширяются кровеносные сосуды, что обеспечивает больший приток крови и обогащение кислородом мышечных тканей. Анаэробные нагрузки характерны для видов спорта более высокой интенсивности, таких как бег на короткие дистанции. При максимальной нагрузке тренируются спортсмены высокого класса для получения рекордных показателей.

Частота сердечных сокращений зависит от многих факторов, включая возраст, пол, условия окружающей среды, функциональное состояние человека. Нормальной частотой сердечных сокращений считается 60–90 уд./мин. Часто у спортсменов наблюдается брадикардия, что не является нарушением и свидетельствует о тренированном сердце.

Отмечается линейная зависимость между ЧСС и интенсивностью работы в пределах 50–90 % переносимости максимальных нагрузок. При легкой физической нагрузке ЧСС сначала значительно увеличивается, затем постепенно снижается до уровня, который сохраняется в течение всего периода стабильной работы. При более интенсивных и длительных нагрузках имеется тенденция к увеличению ЧСС, причем при максимальной работе она может нарастать до предельно достижимой [1].

Существует значительное количество формул расчета максимальной ЧСС. Традиционная формула вычисления максимального сердечного ритма следующая:

$$\text{ЧСС}_{\max} = 220 - \text{«Возраст»}.$$

В 2001 г. в журнале Американского колледжа кардиологии опубликовали формулу

$$\text{ЧСС}_{\max} = 220 - 0,7 \cdot \text{«Возраст»}.$$

Эти и многие другие подобные формулы расчета максимальной частоты сердечных сокращений являются формулами определения статистически усредненных значений максимальной ЧСС. Однако значение максимальной ЧСС индивидуально, так как зависит от степени выносливости и тренированности человека, а также от его антропометрических параметров. Возраст, пол могут выступать лишь как косвенные факторы.

Для определения индивидуального максимума ЧСС существуют различные нагрузочные тесты: велоэргометры, беговые дорожки, приседания, степ-тест и множество других вариантов тестовых упражнений. Для спортсменов высокого уровня могут проводиться тесты с субмаксимальной нагрузкой, предполагающие 100 % максимального потребления кислорода (МПК). Для большинства групп обследуемых порог нагрузки устанавливается в пределах 75 % МПК. Кроме того, вне рамок спортивной медицины тесты с нагрузкой могут оказаться неприменимыми, так как даже для обследования здоровых людей сохраняется опасность развития приступа сердечной недостаточности или аритмии. Другая проблема проведения нагрузочных тестов – функциональная специфичность, предполагающая, что тот или иной вид нагрузок может оказаться привычным для человека и не дать достоверных результатов.

Решением проблемы определения максимальной частоты сердечных сокращений может быть прогнозирование значения ЧСС.

Существует способ прогнозирования атриовентрикулярной (АВ) блокады II степени, предполагающий прогнозирование значения ЧСС, при которой у обследуемого появляются признаки нарушения проводимости атриовентрикулярного узла [3]. Данная методика включает определение антропометрических параметров грудной клетки обследуемого, геометрических параметров его сердца, определение функциональных показателей работы сердца в покое и под нагрузкой. Оценка функциональных показателей проводится путем анализа электрокардиографической информации. Затем осуществляется построение модели процесса распространения возбуждения в миокарде на основе аксиоматической модели Винера–Розенблюта. На основании результатов моделирования строится кривая восстановления сердца, которая показывает зависимость интервала прохождения импульса от синусового узла до пучка Гиса от его предшествующих значений и интервала от момента возбуждения пучка Гиса до поступления нового импульса с синусового узла при различной частоте сердечных сокращений. Анализ кривой позволяет выделить ЧСС начала развития АВ-блокады II степени.

Возбужденная клетка рефрактерна (невозбудима) к дополнительному электрическому импульсу. В период абсолютной рефрактерности клетка неспособна отвечать новой активацией на электрический стимул любой силы. Период относительной рефрактерности соответствует снижению трансмембранного потенциала действия клетки миокарда, и становится возможным возникновение повторного возбуждения при поступлении более сильного импульса. Клетки АВ-узла обладают наибольшей рефрактерностью, поэтому при распространении импульса по клеткам миокарда в АВ-узле происходит значительная задержка волны возбуждения. Малая скорость проведения импульсов в АВ-узле обуславливает, что АВ-узел может провести из предсердий в желудочки в среднем 180–220 импульсов/мин. Поэтому при учащении сердечного ритма более 180–220 уд./мин некоторые импульсы из предсердий не достигают желудочков, наступает АВ-блокада [2]. Таким образом, генезис АВ-блокады II степени

обусловлен несоответствием частоты активации синусового узла периоду абсолютной и относительной рефрактерности в атриовентрикулярном соединении. При АВ-блокаде II степени проводимость в атриовентрикулярном соединении прогрессивно ухудшается от сокращения к сокращению. Такое ухудшение проводимости продолжается до тех пор, пока АВ-соединение становится не в состоянии провести очередной импульс к желудочкам, что приводит к выпадению сокращения желудочков.

Как было отмечено выше, максимальная ЧСС соответствует наибольшему числу сокращений сердца в единицу времени, при котором сохраняется нормальная работа сердца. Однако найденная в способе прогнозирования АВ-блокады II степени ЧСС не может характеризовать максимальную ЧСС, так как является нарушением нормального функционирования сердца.

Кроме АВ-блокады II степени нарушение проводимости может соответствовать АВ-блокаде I степени. Атриовентрикулярная блокада I степени проявляется в удлинении интервала между предсердными и желудочковыми сокращениями, при этом каждый импульс, генерируемый в предсердиях, доходит до желудочков. Возникновение АВ-блокады I степени обусловлено замедлением проводимости импульса в АВ-узле в результате учащения сердцебиения. АВ-блокада I степени не сказывается на самочувствии человека, может быть подтверждена только на основании анализа ЭКС и в общем случае является вариантом нормальной работы сердца. Следовательно, ЧСС, при которой происходит замедление проведения импульса, можно считать максимальной частотой сердечных сокращений, при которой сохраняется нормальная работа сердца.

Нахождение ЧСС возникновения АВ-блокады I степени основывается на анализе результатов моделирования распространения возбуждения в миокарде по аксиоматической модели Винера–Розенблюта. В качестве исследуемых параметров выступают интервал времени от импульса с синусового узла до начала ответного импульса в пучке Гиса (SH) и интервал времени от начала активности в пучке Гиса до момента поступления следующего импульса с синусового узла (HS). Результаты моделирования представлены на рис. 1.

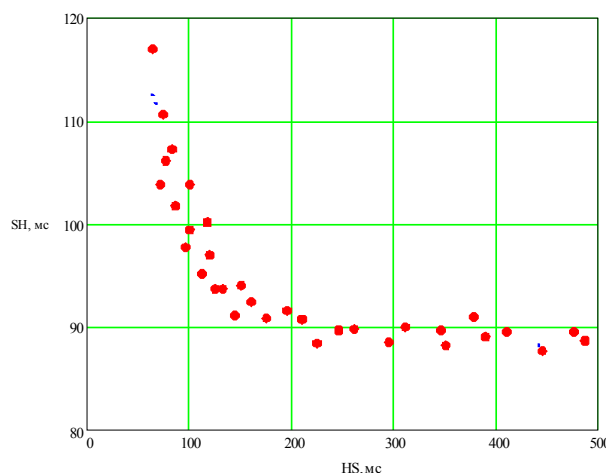


Рис. 1. Результаты моделирования распространения возбуждения в миокарде

Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод, что между исследуемыми параметрами существует экспоненциальная зависимость. Однако необходимо учесть ограниченность выборки и то, что экспоненциальная зависимость предполагает неограниченное возрастание интервала SH . Последнее наблюдение не соответствует реальным физиологическим процессам. Интервал SH может возрастать лишь до определенного максимума, дальнейшее удлинение интервала свидетельствовало бы о прекращении сердечной деятельности. Таким образом, при выборе регрессионной функции результатов моделирования необходимо учитывать, что рассматриваемая модель имеет точку максимума в области малых значений параметра HS .

Среди существующих распределений в качестве регрессионной модели кривой восстановления сердца было выбрано распределение Вейбулла–Гнеденко, давшее наилучшую оценку по критерию Фишера. Соответствие регрессионной модели моделируемым данным представлено на рис. 2.

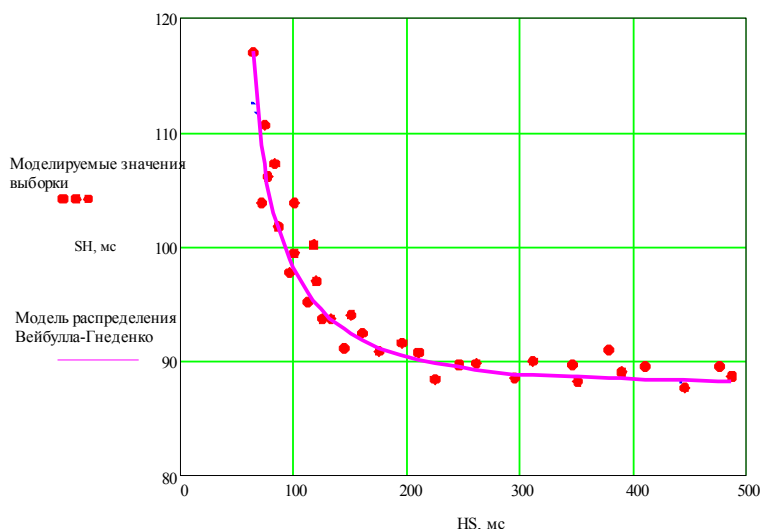


Рис. 2. Распределение Вейбулла–Гнеденко

Дифференциальный анализ функции распределения позволил выявить, что нули производных обладают определенными свойствами. Так, нуль функции четвертой производной соответствует частоте сердечных сокращений, характерной для возникновения АВ-блокады I степени. Для функции, представленной на рис. 2, нуль функции производной 4 соответствует ЧСС 234 уд./мин (рис. 3).

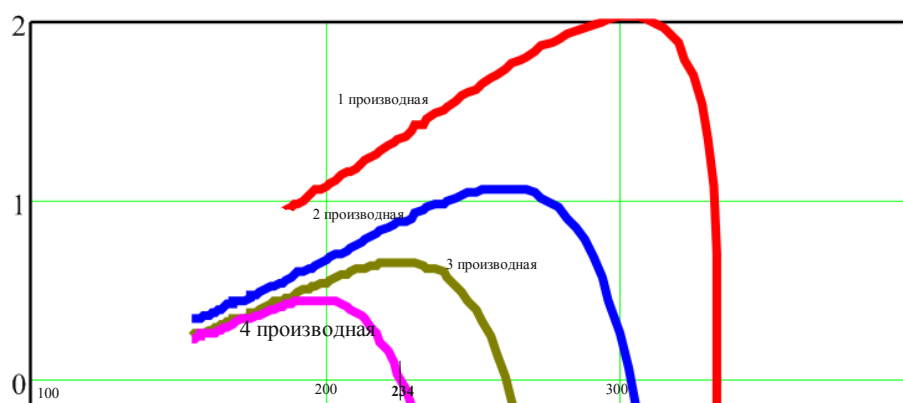


Рис. 3. Графики производных

Таким образом, определение начала АВ-блокады I степени осуществляется путем выделения точки перегиба кривой ускорения восстановления миокарда. В целом методика прогнозирования максимальной частоты сердечных сокращений включает следующие этапы:

- определение геометрических параметров сердца обследуемого по фронтальному и левобокковому флюорографическим снимкам;
- регистрация электрокардиограммы в покое;
- регистрация электрокардиограммы под нагрузкой до достижения ЧСС = $(220 - \text{«Возраст»}) \times 0,75$;
- анализ информационных показателей электрокардиограммы;
- синтез модели сердца обследуемого;
- моделирование распространения возбуждения в миокарде;
- определение параметров модели распространения возбуждения в миокарде;
- построение кривой восстановления сердца пациента;
- определение частоты сердечных сокращений, при которой развивается АВ-блокада I степени.

Для реализации данной методики со стороны медицинского работника требуется обеспечить снятие флюорографических снимков и регистрацию электрокардиограммы. Выполне-

ние остальных этапов осуществляется программно. Реализация данной методики планируется в рамках компьютерной диагностической системы «Кардиовид».

Полученные в ходе проведенного исследования данные свидетельствуют о том, что значения максимальной частоты сердечных сокращений могут оказаться выше тех же значений, рассчитанных по традиционно применяемым формулам. Таким образом, прогнозирование значения максимальной ЧСС не только позволяет решить проблемы измерения ЧСС_{max}, но и расширить границы выносливости человека, что особенно важно в спортивной медицине для планирования оптимальных нагрузок.

Список литературы

1. Дубровский, В. И. Спортивная медицина : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / В. И. Дубровский. – 2-е изд., доп. – М. : ВЛАДОС, 2002. – 512 с.
2. Мурашко, В. В. Электрокардиография : учеб. пособие / В. В. Мурашко, В. В. Струтынский. – 6-е изд. – М. : МЕДпрессинформ, 2004. – 320 с.
3. Пат. 2410022 Российская Федерация. Способ прогнозирования АВ-блокады II степени / Бодин О. Н., Баусова З. И., Вишнякова А. В., Востриков А. А., Гладкова Е. А., Зайцева О. А., Филькин А. В. – № 2009110933/14 ; заявл. 25.03.2009 ; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 27.

Бодин Олег Николаевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра информационно-измерительной техники,
Пензенский государственный университет
E-mail: iit@pnzgu.ru

Bodin Oleg Nikolaevich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of information
and measuring technique,
Penza State University

Полосин Виталий Германович

кандидат технических наук,
кафедра физики,
Пензенский государственный университет
E-mail: polosin-v@sura.ru

Polosin Vitaliy Germanovich

candidate of technical sciences,
sub-department of physics,
Penza State University

Балахонова Светлана Александровна

аспирант,
Пензенский государственный университет
E-mail: iit@pnzgu.ru

Balakhonova Svetlana Aleksandrovna

postgraduate student,
Penza State University

УДК 616.17:[519.2+519.6]

Бодин, О. Н.

Прогнозирование максимальной частоты сердечных сокращений для расчета интенсивности физических нагрузок / О. Н. Бодин, В. Г. Полосин, С. А. Балахонова // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2013. – № 1(3). – С. 50–54.