

УДК 616.079.7

Г.А. Игнатенко¹, И.В. Сарбаш², Ю.Д. Костямин¹, В.В. Потапов¹, О.К. Зенин³, Н.А. Дашкина¹¹ФГБОУ ВО «Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького» МЗ РФ, Донецк²ГБУ ДНР «Республиканская клиническая больница имени М.И. Калинина», Донецк³ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТОЛЕРАНТНОСТИ К ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

Сердечно-сосудистые заболевания в экономически развитых странах на протяжении многих лет остаются серьезной проблемой современного здравоохранения, это связано с высокими показателями заболеваемости и смертности во всем мире [1]. Лидирующее место среди причин смертности занимает ишемическая болезнь сердца [2, 3].

Раннее выявление дисфункции кардиореспираторной системы имеет особое значение в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний. Информативность данных исследований крайне важна как на ранних, так и поздних этапах развития заболеваний сердечно-сосудистой системы. Определение толерантности к физической нагрузке (ТФН) является одним из важнейших способов выявления дисфункции кардиореспираторной системы [4,5]. Также оценка ТФН является весомым предиктором рисков развития грозных осложнений у пациентов с ишемической болезнью сердца, что в свою очередь оказывает решающее значение для определения дальнейшей тактики лечения. В настоящее время определение ТФН сводится к определению величин:

- метаболического эквивалента (METs, Ед МЭ),
 - мощности максимальной нагрузки (W, Вт)
- [6].

В настоящее время представлены убедительные данные, свидетельствующие о связи максимально достигнутой величины METs с риском смерти от сердечно-сосудистых заболеваний [7]. Также многие авторы считают, что одним из основных количественных показателей определения ТФН в настоящее время является расчет величины METs [8].

Именно поэтому мы остановились на детальном изучении величины показателя METs (Ед МЭ) в рамках определения ТФН у пациентов, которые требуют наиболее щадящего режима выполнения нагрузочных проб.

Для определения значений вышеназванных показателей применяются пробы с физической

нагрузкой, путем проведения тредмил-теста, велоэргометрии и лестничной пробы [9]. Каждый из этих методов имеет как преимущества перед другими, так и недостатки [9].

Поэтому на повестке дня стоит вопрос поиска простого и универсального метода оценки ТФН, включающего в себя все достоинства вышеперечисленных методов с отсутствием свойственным им недостатков.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработать методику расчета универсального количественного показателя оценки ТФН с использованием наиболее физиологичных и доступных методов исследования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе кардиологического диспансера ГБУ ДНР «РКБ имени М.И. Калинина» в период 2021-2023 гг. В исследование были включены результаты нагрузочных проб 1024 человек в возрасте от 42 до 83 лет с различными сопутствующими заболеваниями (сахарный диабет – 153, аутоиммунный тиреоидит – 71, ожирение – 307, синдром обструктивного апноэ сна – 102, бронхиальная астма – 27 и другие) с диагнозом ишемическая болезнь сердца, среди которых мужчин было 587, женщин – 437.

Критериями включения в исследования были пациенты с ишемической болезнью сердца, которая была верифицирована согласно рекомендациям Евразийской ассоциации кардиологов и Американской кардиологической ассоциации; характерными жалобами; данными анамнеза; данными объективного исследования (аускультация, перкуссия и пальпация); подписавшие осознанное согласие. Диагноз ишемическая болезнь сердца, стенокардия напряжения был установлен на основе проведенной коронароан-

гиографии и пробы ЭКГ с нагрузкой (велоэргометрия, тредмилэргометрия, лестничная проба при холтеровском мониторинге ЭКГ).

Критериями исключения были пациенты с такими заболеваниями как: постоянная форма фибрилляции предсердий; декомпенсированный порок сердца; синдром слабости синусового узла; другие состояния здоровья, являющиеся противопоказанием для проведения нагрузочных проб [6].

Исследование проводилось в соответствии с этическими стандартами институционального и национального исследовательских комитетов, Хельсинкской декларацией 1964 года и последующими поправками к ней. Перед сбором клинических материалов от всех участников было получено информированное согласие.

Каждому пациенту проводились: диагностическая лестничная проба при холтеровском мониторинге ЭКГ, велоэргометрия. В обоих случаях ТФН оценивалась по величине выполненной нагрузки в Вт, а также в Ед МЭ по предложенной нами формуле.

Холтеровское мониторирование ЭКГ было выполнено на аппаратно-программном комплексе «Кардиотехника-07-3/12» (ООО «Инкарт», г. Санкт-Петербург, РФ). Проводилась одновременная регистрация 12-ти отведений с использованием одноразовых электродов. В ходе мониторинга пациенты вели дневник с отметкой жалоб (сердцебиение, перебои в работе сердца, приступы удушья, боль в сердце), а также указанием результатов проведенной пробы с физической нагрузкой (диагностической лестничной пробы), которая проводилась дважды трижды в течение проведения ХМ ЭКГ.

Диагностическая лестничная проба выполнялась строго в присутствии медицинского персонала. Непосредственно перед пробой пациенту рекомендовалось восстановить частоту сердечных сокращений и частоту дыхания в течение 3-5 минут [10]. Перед выполнением нагрузки фиксировалось артериальное давление и частота сердечных сокращений. Для определения уровня толерантности к физической нагрузке с помощью диагностической лестничной пробы пациент выполнял подъем по лестнице в умеренно-быстром темпе, при появлении каких-либо неприятных ощущений (боль в области сердца, выраженная одышка, чувство перебоев в работе сердца, сердцебиение и/или выраженная физическая усталость) проба прекращалась. Для купирования приступа стенокардии использовался нитроглицерин или нитроспрей. При отсутствии неприятных ощущений подъем выполнялся минимум на 4 этажа. В конце пробы в дневник мониторинга ЭКГ фиксировалось количество пройденных ступеней, время начала лестничной пробы и время выполнения нагрузки в секундах, при наличии жалоб они также указывались. Производились измерение и внесение в дневник следующих данных: рост (см), вес (кг), возраст (лет) и пол.

При выполнении велоэргометрии грудные электроды накладывались в стандартном положении. Во время нагрузки постоянно мониторировались частота сердечных сокращений и ЭКГ, оценивались клинические симптомы. В конце каждой ступени нагрузки и в период восстановления каждые 2 минуты до восстановления исходных показателей проводилось измерение артериального давления. Велоэргометрия проводилась по стандартной методике – ступенчатая непрерывно возрастающая нагрузка с длительностью каждой ступени 3 минуты, изначально в программное обеспечение вводилась должная величина нагрузки в Вт, которая была рассчитана по формуле Тавровской Т.В. [6], нагрузка задавалась эргометром Corival в Вт автоматически с помощью программного обеспечения, ТФН определялась по достигнутой мощности нагрузки в Вт.

Таким образом, в исследовании определяли величины следующих показателей:

- расчетная мощность должной нагрузки – $W(p)$ (Вт) – по формуле Тавровской Т.В.

$$W(p) = 73 + 2,15 \times m - 2,12 \times y \quad (1)$$

где $W(p)$ – расчетная мощность должной нагрузки (Вт), m – масса тела (кг), y – возраст (лет);
- расчетная должная величина метаболического эквивалента – METs(p) (Ед МЭ) – по формуле Morris С.К.

$$METs(p) = 18 - (0,15 \times y) \quad (2)$$

где METs(p) – расчетная должная величина метаболического эквивалента (Ед МЭ), y – возраст (лет);
- достигнутая мощность нагрузки – $W(d)$ (Вт) – рассчитывалась для диагностической лестничной пробы по формуле

$$W(d) = A \times K1 \div t \quad (3)$$

где $W(d)$ – достигнутая мощность нагрузки (Вт), A – объем выполненной работы при подъеме по лестнице вверх (кг×м), $k1$ – коэффициент перевода в Вт (=6,14), t – время подъема по лестнице (с);
- достигнутая величина метаболического эквивалента определялась

а) по авторской формуле – METs(д/авт) (Ед МЭ):

$$METs(d/avt) = ((W(d) \times 1MET(p/avt)) + (444 - (y - 18) \times 2,9)) \div m \quad (4)$$

где METs(д/авт) – достигнутая величина метаболического эквивалента, рассчитанная по авторской формуле (Ед МЭ); $W(d)$ – мощность нагрузки

– достигнутая мощность нагрузки – $W(d)$ (Вт) – рассчитывалась для диагностической лестничной пробы по формуле

где $W(d)$ – достигнутая мощность нагрузки (Вт), A – объем выполненной работы при подъеме по лестнице вверх (кг×м), $k1$ – коэффициент перевода в Вт (=6,14), t – время подъема по лестнице (с);

- достигнутая величина метаболического эквивалента определялась

а) по авторской формуле – METs(д/авт) (Ед МЭ):

$$METs(d/avt) = ((W(d) \times 1MET(p/avt)) + (444 - (y - 18) \times 2,9)) \div m \quad (4)$$

где METs(д/авт) – достигнутая величина метаболического эквивалента, рассчитанная по авторской формуле (Ед МЭ); $W(d)$ – мощность нагрузки

ки (Вт); 1MET(р/авт) – скорость базального метаболизма, принятая за условную единицу (млO₂/мин/кг); у – возраст (лет); m – масса тела (кг);

б) по формуле Тавровской Т.В. – METs(д/тав) (Ед МЭ)

$$METs(d/mav) = (90 + 3,44 \times W(d)) \div m \quad (5),$$

где METs(д/тав) – достигнутая величина метаболического эквивалента, рассчитанная по формуле Тавровской Т.В. (Ед МЭ); W(д) – достигнутая мощность нагрузки (Вт); m – масса тела (кг);

- расчетная скорость базального метаболизма – 1MET(р/авт) (млO₂/мин/кг) – рассчитывалась по авторской формуле

$$1MET(p/avt) = (((11,936 \times m + 587,728 \times h - 8,129 \times y + 191,027 \times k + 29,279) \div 1440) \times 208,3) \div m \quad (6),$$

где 1MET(р/авт) – скорость базального метаболизма, принятая за условную единицу (млO₂/мин/кг); m – масса тела (кг); h – рост (м); у – возраст (лет); k – пол (муж = 1; жен = 0).

Авторская формула для определения 1MET(р/авт) была получена на основании модификации формулы расчета энергетической потребности организма в сутки в покое (REE – Resting energy expenditure) (7), описанной в статье Twan ten Haaf и Peter J.M. Weijs [7, 10, 11]

$$REE(d) = (11,936 \times m + 587,728 \times h - 8,129 \times y + 191,027 \times k + 29,279) \quad (7),$$

где REE(d) – энергетическая потребность покоя в сутки (ккал/день), m – масса тела (кг), h – рост (м), у – возраст (лет), k – пол (муж = 1; жен = 0).

В формуле было использовано значение объема кислорода в миллилитрах, потребляемое при высвобождении 1 килокалории энергии, которое составило 208,3 млO₂/ккал (определено с помощью среднего калорического эквивалента кислорода в покое – 4,8 ккал/лO₂ [12, 13]). Скорость базального метаболизма рассчитывалась с учетом затрат 1 мл кислорода за 1 минуту на 1 килограмм массы тела (млO₂/мин/кг)[14, 15].

В ходе оценки ТФН по данным велоэргометрии и диагностической лестничной пробы при суточном мониторинговании ЭКГ с целью выявления различий сравнивались результаты авторской методики (4) и методики Тавровской Т.В. При этом учитывались данные результатов пациентов, которые достигли субмаксимальной частоты сердечных сокращений (80% и более от максимальной частоты сердечных сокращений).

Уровень ТФН определялся с учетом должных и выполненных единиц метаболического эквивалента, а также скорости базального метаболизма по достигнутому проценту должного максимального потребления кислорода (%ДМПК) по шкале Пироговой Е.А.[16], где уровень оценивался как: низкий при 50-60%; ниже средне-

го 61-74%; средний 75-90%; выше среднего 91-100%; высокий 101% и более.

Статистический анализ данных проведен с помощью пакета прикладных программ «Statistica 12», «MedCalc 8.2» и приложения для статистики Microsoft Excel 2010 «Статистические методы». Определялись следующие показатели описательной статистики: среднее (M), минимум, максимум, ошибка средней арифметической (m), среднее квадратичное отклонение (SD). Для антропометрических, клинических и инструментальных показателей, которые использовались в работе, рассчитывали среднее арифметическое значение и его ошибку (M±m). Статистическое сравнение выполнялось с помощью критерия Стьюдента для параметрических переменных и непараметрического критерия Вилкоксона-Манна-Уитни, степень корреляции определялась с применением метода Спирмена. Большинство исследованных показателей подчинялись закону нормального распределения. Уровень значимости всех статистических тестов был принят за 0,05 (p<0,05).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Хотя на сегодня и известна формула расчета выполненной нагрузки из Вт в Ед МЭ (из инструкции к стресс-системе SICARD 460 S (Siemens)), предложенная Тавровской Т.В. [6], нами была выявлена значительная погрешность в расчетах (в особенности у людей с отклонениями массы тела и у пожилых). Вследствие сравнительного анализа значений должной величины нагрузки у пациентов мужского пола в возрасте 40 лет с различной массой тела представленные в METs (Ед МЭ) по различным методам расчета (табл. 1.), было выявлено значительное отклонение величины показателя METs(p) по Тавровской Т.В. от METs(p) по Morris C.K.

В дальнейшем нами была выдвинута гипотеза, что такая погрешность возникает вследствие разницы скорости базального метаболизма, которая значительно варьирует у пациентов в зависимости от индекса массы тела, пола и возраста [17]. Однако, эти параметры не учитывались в уравнении, которое было предложено Тавровской Т.В., так как за величину 1MET было принято стандартизированное значение 1,2 ккал/мин, что соответствовало потреблению 3,5 мл/кг кислорода за 1 минуту (данное значение было определено у мужчины 40 лет с массой тела 70 кг в покое в сидячем положении) [10].

Таким образом в ходе исследования возникла потребность в выведении формулы по вычислению скорости базального метаболизма (1MET) и перерасчету выполненной и/или должной нагрузки из Вт в Ед МЭ с учетом массы тела, роста, пола и возраста пациентов.

Таблица 1.

Результаты вычисления расчетной должной величины метаболического эквивалента для мужчины 40 лет с различной массой тела ($M \pm m$, Ед МЭ).

Метод расчета	Масса тела (кг)				
	70-79	80-89	90-99	100-109	100-120
Авторский	11,96±0,18	11,41±0,14	10,99±0,11	10,64±0,09	10,35±0,08
Morris С.К.	12±0	12±0	12±0	12±0	12±0
Тавровской Т.В.	8,05±0,02	7,95±0,05	7,86±0,01	7,82±0,01	7,8±0,05

По данным нашего варианта расчета показателя 1MET для мужчины с массой тела 80 кг без ожирения в зависимости от возраста (от 18 до 80 лет) наблюдалась регрессионная модель, которая характеризовалась коэффициентом корреляции Пирсона (r_{xy}) = 1,000, что соответствует весьма высокой тесноте связи по шкале Чеддока. Модель была статистически значимой ($p < 0,001$). Наблюдаемая зависимость показателя 1MET от возраста описывалась уравнением линейной регрессии (рис. 1.).

Также в ходе исследования нами была выявлена сильная прямая корреляционная связь между показателями $W \times 1MET$ и $METS \times m$ (коэффициент корреляции Пирсона (r_{xy}) = 0,998 ($p < 0,05$), коэффициент корреляции Спирмена (R_{xy}) = 1 ($p < 0,05$)), что позволило рассчитать коэффициент разницы данных показателей, а в дальнейшем формулу для перерасчета выполненной и должной величины нагрузки из Вт в Ед МЭ (рис. 2.). Наблюдаемая зависимость показателя $METS \times m$ от показателя $W \times 1MET$ описывалась уравнением линейной регрессии (рис. 3.).

Исходя из полученных данных нами был сделан вывод о наличии математической закономерности показателей $METS \times m$ и $W \times 1MET$, сле-

довательно, возникла необходимость в числовом обозначении их разницы в зависимости от возраста с шагом в 1 год

$$METS \times m - W \times 1MET = (METS \times m(max) - W \times 1MET(max)) - (y - 18) \times K = 444 - (y - 18) \times K (8),$$

где $METS \times m$ – произведение выполненных или должных величин в METs на массу тела ($METS \times kg$), $W \times 1MET$ – произведение выполненных или должных величин в Вт на скорость базального метаболизма ($Вт \times млO_2/мин/кг$), $METS \times m(max)$ – максимальное значение произведения выполненных или должных величин в METs на массу тела, $W \times 1MET(max)$ – максимальное значение произведения выполненных или должных величин в Вт на скорость базального метаболизма; y – возраст (лет), K – коэффициент разницы произведений $METS \times m$ и $W \times 1MET$ с шагом возраста в 1 год в диапазоне от 18 до 80 лет (= 2,9).

Таким образом, нами получена формула, предложенная для перевода должных или выполненных величин нагрузки из Вт в Ед МЭ

$$W = (METS \times m - (444 - (y - 18) \times 2,9) \div 1MET (9)$$

и для перерасчета выполненной или должной величины нагрузки из Ед МЭ в Вт

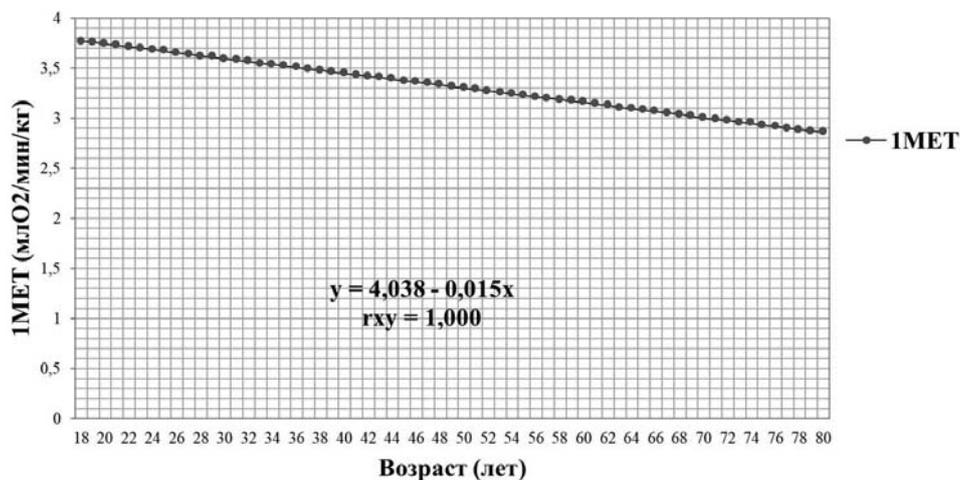


Рис. 1. Скорость базального метаболизма (млO₂/мин/кг) у мужчины с массой тела 80 кг без ожирения в возрасте от 18 до 80 лет.

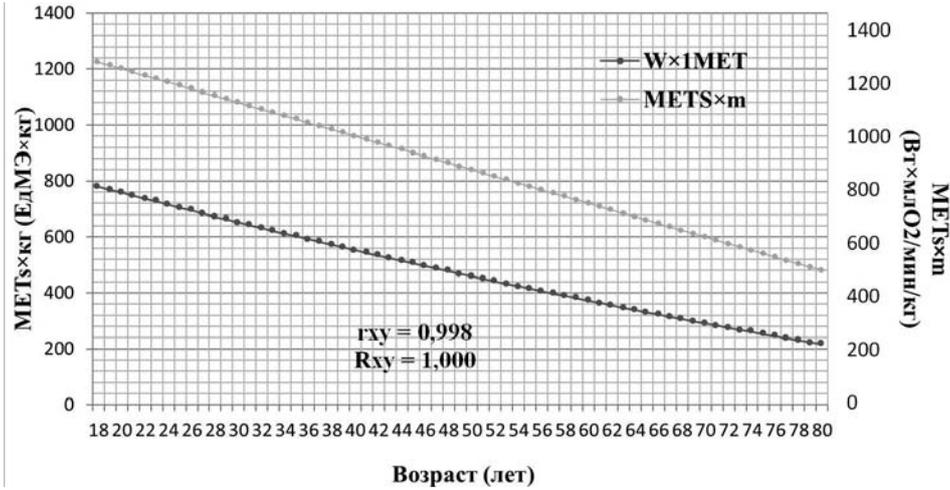


Рис. 2. Сильная прямая корреляция между показателями W×1MET и METs×m в зависимости от возраста.

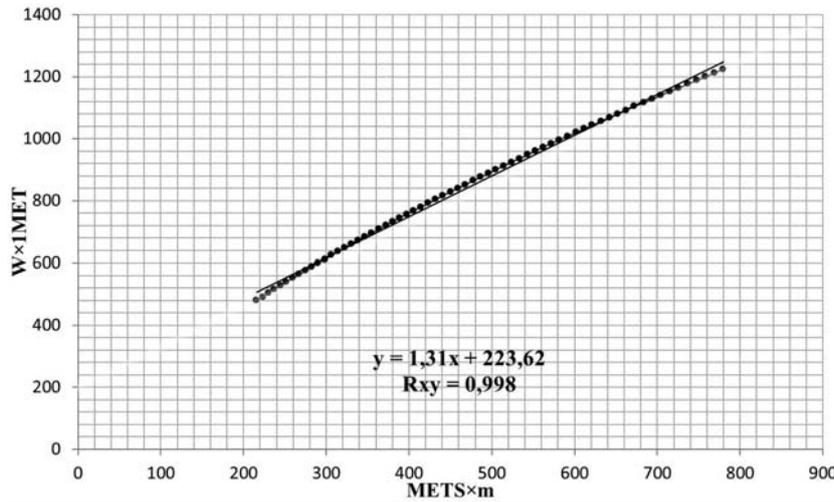


Рис. 3. Регрессионная функция, описывающая зависимость показателей W×1MET от METs×m.

$METs = ((W \times 1MET) + (444 - (y - 18) \times 2,9)) \div m$ (10),

где W – мощность нагрузки (Вт); METs – величина метаболического эквивалента (Ед МЭ); 1MET – скорость базального метаболизма, принятая за условную единицу (млО₂/мин/кг); y – возраст (лет); m – масса тела (кг).

Следовательно, нами была выведена необходимая формула для определения 1MET и формулы трансформации величины выполненной и должной нагрузок из Вт в Ед МЭ и наоборот, которые учитывали данные массы тела, роста, пола и возраста пациента.

На следующем этапе исследования нами были проанализированы и статистически обработаны величины следующих показателей, которые подчинялись нормальному закону распределения: W(р/тав), METs(р), W(д), METs(д/тав), METs(д/авт), 1MET(р/авт).

Определены средние величины: M±m(W(р/тав)) = 73,65±15,77; Me(W(р/тав)) = 77; M±m(METs(р)) = 7,18±0,66; Me(METs(р)) = 7,5; M±m(W(д)) = 54,975±8,88; Me(W(д)) = 57; M±m(METs(д/тав)) = 3,21±0,32; Me(METs(д/тав)) = 3,3; M±m(METs(д/авт)) = 4,308±0,35; Me(METs(д/авт)) = 4,37; M±m(1MET(р/авт)) = 1,40±0,1; Me(1MET(р/авт)) = 1,43. Уже на этом этапе можно увидеть значительную разницу в показателях средних величин между методиками расчета по Тавровской Т.В. и авторской методике: M±m (3,21±0,32 и 4,308±0,35); Me (3,3 и 4,37).

В ходе исследования было выявлено, что авторская формула для перерасчета величины должной нагрузки из Вт в Ед МЭ имеет большее сродство со значением должной величины метаболического эквивалента в Ед МЭ определяемого по формуле Morris С.К. Сред-

нее значение из таблицы 1: авторский расчет $M \pm m(\text{METs}(p/\text{авт})) = 11,06 \pm 0,58$; расчет по Morris C.K. $M \pm m(\text{METs}(\text{Morris})) = 12$; расчет по Тавровской Т.В. $M \pm m(\text{METs}(\text{Тавр})) = 7,9 \pm 0,1$. Также, исходя из таблицы 1, можно сделать вывод о более точном определении авторской формулой должной величины METs (Ед МЭ) относительно массы тела пациента по отношению к формуле определения METs(p) по Morris C.K.

Пользуясь полученными данными, следующим этапом был проведен сравнительный анализ уровня ТФН пациентов, который был определен: традиционным методом оценки в Вт без перерасчета в Ед МЭ, авторским методом с перерасчетом в Ед МЭ и методом Тавровской Т.В. с перерасчетом в Ед МЭ (табл. 2.).

По данным таблицы 2 традиционный метод оценки ТФН и метод Тавровской Т.В. показали практически одинаковые результаты: высокий уровень ТФН – 363(35,5%) и 362(35,4%); уровень ТФН выше среднего – 72(7%) и 87(8,5%); средний уровень ТФН – 156(15,2%) и 180(17,6%); уровень ТФН ниже среднего – 138(13,5%) и 166(16,2%); низкий уровень ТФН – 295(28,8%) и 229(22,3%). Авторский метод (с перерасчетом в Ед МЭ) продемонстрировал большее количество пациентов с ТФН, которая была ниже средней и низкой (279(27,3%); 390(38%)) и значительно меньше результатов с высокой ТФН (120(11,7%)) относительно двух других методов оценки представленных в таблице 2.

Также следует отметить, что при расчете должной и выполненной величины нагрузки (Ед МЭ) по представленным авторским формулам у пожилых и людей с избыточной массой тела (ИМТ более 25) в большинстве случаев субмаксимальная нагрузка выполнялась за 6-7 минут при достижении субмаксимальной частоты сердечных сокращений. Это было достигнуто благодаря использованию в формуле расчетного значения скорости базального метаболизма (1MET) и применению расчетной тощей массы тела у пациентов с ИМТ более 25 [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная нами формула для перерасчета мощности выполненной нагрузки из Вт в Ед МЭ имеет практическое значение для пациентов с отсутствием возможности проведения вело- или тредмилэргометрии в виду наличия заболеваний опорно-двигательного аппарата, низкой физической активности, антропометрических особенностей или других противопоказаний. К положительным сторонам использования диагностической лестничной пробы с применением наших формул можно отнести: увеличение числа пациентов, которые могут подлежать проведению пробы с физической нагрузкой с регистрацией ЭКГ (в целях диагностики ишемической болезни сердца, оценки толерантности к физической нагрузке и др.), диагностическую лестничную пробу могут выполнять пациенты пожилого (60-74 лет), старческого (\Rightarrow 75 лет), а также дети младшего школьного (7-12 лет) и подросткового (13-18 лет) возрастов, беременные, пациенты с физическими отклонениями, а также пациенты с низким уровнем физических возможностей; увеличение точности и специфичности определения толерантности к физической нагрузке; экономическая выгода. Предпочтительней использование холтеровского мониторирования с поддержкой дистанционного телеметрического ЭКГ-мониторинга для диагностики ишемической болезни сердца, что можно отнести к относительным недостаткам данного варианта исследования.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности применяемых формул и метода диагностической лестничной пробы в целом. Данная методика проведения и вычисления критериев оценки нагрузочной пробы позволяет более достоверно определять риски сердечно-сосудистых происшествий [18, 19] и функциональный класс стенокардии напряжения, что в свою очередь оказывает влияние на тактику ведения пациента с ишемической болезнью сердца. Достоверность расчета имеет

Таблица 2.

Результаты оценки ТФН традиционным метод оценки в Вт без перерасчета в Ед МЭ, авторским методом с перерасчетом в Ед МЭ и методом предложенным Тавровской Т.В. с перерасчетом в Ед МЭ.

Метод расчета	Уровень ТФН				
	Высокий	Выше средней	Средний	Ниже средней	Низкий
Традиционный метод оценки ТФН в Вт без перерасчета в Ед МЭ	363 (35,5%)	72 (7%)	156 (15,2%)	138 (13,5%)	295 (28,8%)
Авторский метод с перерасчетом в Ед МЭ	120 (11,7%)	49 (4,8%)	186 (18,2%)	279 (27,3%)	390 (38%)
Метод Тавровской Т.В. с перерасчетом в Ед МЭ	362 (35,4%)	87 (8,5%)	180 (17,6%)	166 (16,2%)	229 (22,3%)

преимущество перед другими общепринятыми подходами благодаря индивидуальному определению величины скорости базального метаболизма с учетом массы тела, роста, возраста и пола пациентов. Использование предложенных

критериев расчета в оценке результатов диагностической лестничной пробы позволит стандартизировать подход к интерпретации данных и тем самым уменьшить степень оператор-зависимости этого метода диагностики.

Г.А. Игнатенко¹, И.В. Сарбаш², Ю.Д. Костямин¹, В.В. Потапов¹, О.К. Зенин³, Н.А. Дашкина¹

¹ФГБОУ ВО «Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького» МЗ РФ, Донецк

²ГБУ ДНР «Республиканская клиническая больница имени М.И. Калинина», Донецк

³ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТОЛЕРАНТНОСТИ К ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

В ходе исследования были обследованы 1024 пациента (мужчин – 587, женщин – 437) с ишемической болезнью сердца. Проводили диагностическую лестничную пробу и велоэргометрию. Для оценки толерантности к физической нагрузке определяли: расчетную мощность должной нагрузки (Вт), расчетную должную величину метаболического эквивалента (Ед МЭ), достигнутую мощность нагрузки (Вт), достигнутую величину метаболического эквивалента (определялась по авторской формуле и по формуле Тавровской Т.В.) (Ед МЭ), расчетную скорость базального метаболизма (млО₂/мин/кг) по авторской формуле, массу тела (кг), рост (м), возраст пациентов (лет). Сравнивали результаты вычисления по уже известным и авторским формулам для расчета 1MET и METs. Осуществляли сравнительный анализ результатов оценки толерантности к физической нагрузке по результатам данных вычислений.

В результате была разработана методика и формула перерасчета мощности выполненной нагрузки из ватт в единицы метаболического эквивалента для оценки толерантности к физической нагрузке. Выявлены достоверные различия между полученными значениями расчетов по уже известными формулами (Тавровской Т.В и Morris С.К.) и авторской (в большей степени у пациентов с избыточной массой тела (ИМТ более 25) и пожилых). Авторский метод продемонстрировал большее количество пациентов с толерантностью к физической нагрузке, которая была ниже средней и низкой (279(27,3%); 390(38%)) и значительно меньше результатов с высокой толерантностью к физической нагрузке (120(11,7%)) относительно двух других методов оценки представленных в работе. Индивидуальность в подходе определения вы-

полненной и достигнутой величины нагрузки в единицах метаболического эквивалента была достигнута благодаря использованию в формуле расчетного значения скорости базального метаболизма и применению расчетной тощей массы тела у пациентов с ожирением.

Предложенная формула для перерасчета мощности выполненной нагрузки из ватт в единицы метаболического эквивалента может использоваться для оценки толерантности к физической нагрузке у пациентов в условиях отсутствия возможности проведения вело- или тредмилэргометрии, например, при наличии заболеваний опорно-двигательного аппарата, низкой физической активности, антропометрических особенностей или других ограничивающих факторов. Данная методика проведения и вычисления нагрузочной пробы позволяет более достоверно определять риски сердечно-сосудистых происшествий и функциональный класс стенокардии напряжения, что в свою очередь оказывает влияние на тактику ведения пациента с ишемической болезнью сердца. Достоверность расчета имеет преимущество перед другими общепринятыми подходами благодаря индивидуальному определению величины скорости базального метаболизма с учетом массы тела, роста, возраста и пола пациентов. Использование предложенных критериев расчета в оценке результатов диагностической лестничной пробы позволит стандартизировать подход к интерпретации данных и тем самым уменьшить степень оператор-зависимости этого метода диагностики.

Ключевые слова: толерантность к физической нагрузке, кардиореспираторная система, метаболический эквивалент, диагностическая лестничная проба.

G.A. Ignatenko¹, I.V. Sarbash², Yu.D. Kostyamin¹, V.V. Potapov¹, O.K. Zenin³, N.A. Dashkina¹

¹FSBEI HE «M. Gorky Donetsk State Medical University» MOH Russia, Donetsk

²SBI DPR «M.I. Kalinin Republic Clinical Hospital», Donetsk

³FSBEI HE «Penza state University», Penza

METHODOLOGY FOR ASSESSING EXERCISE TOLERANCE

During the study, 1024 patients (men – 587, women – 437) with coronary heart disease were examined. A diagnostic staircase test and bicycle ergometry were performed. To assess exercise tolerance, the following were determined: the calculated power of the required

load (W), the calculated required value of the metabolic equivalent (ME units), the achieved load power (W), the achieved value of the metabolic equivalent (determined by the author's formula and by the formula proposed by T.V. Tavrovskaya.) (ME units), estimated basal metabol-

ic rate (mlO₂/min/kg) according to the author's formula, body weight (kg), height (m), patient age (years). The calculation results were compared using already known and original formulas for calculating 1MET and METs. A comparative analysis of the results of assessing exercise tolerance was carried out using these calculations.

As a result, a methodology and formula was developed for recalculating the power of the performed load from watts into metabolic equivalent units to assess exercise tolerance. Significant differences were revealed between the obtained calculation values using already known formulas (T.V. Tavrovskaya and C.K. Morris) and the author's (to a greater extent in patients with excess body weight (BMI more than 25) and the elderly). The author's method demonstrated a larger number of patients with exercise tolerance, which was below average and low (279(27.3%); 390(38%)) and significantly fewer results with high exercise tolerance (120(11.7%)) relative to the other two assessment methods presented in the work. Individuality in the approach to determining the completed and achieved load in metabolic equivalent units was achieved through the use of the calculated value of basal metabolic rate in the formula and the use of calculated lean body mass in obese patients.

The proposed formula for recalculating the power of the performed load from watts into metabolic equivalent units can be used to assess exercise tolerance in patients in conditions where it is not possible to conduct bicycle or treadmill ergometry, for example, in the presence of diseases of the musculoskeletal system, low physical activity, anthropometric characteristics or other limiting factors. This method of conducting and calculating a stress test makes it possible to more reliably determine the risks of cardiovascular events and the functional class of exertional angina, which in turn influences the management tactics of a patient with coronary heart disease. The reliability of the calculation has an advantage over other generally accepted approaches due to the individual determination of the basal metabolic rate, taking into account the body weight, height, age and gender of the patients. The use of the proposed calculation criteria in assessing the results of the diagnostic stair climb test will allow us to standardize the approach to data interpretation and thereby reduce the degree of operator dependence of this diagnostic method.

Key words: exercise tolerance, cardiorespiratory system, metabolic equivalent, diagnostic stair climb test.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lobo, M.D., Sobotka P.A., Pathak A. Interventional procedures and future drug therapy for hypertension. *Eur. Heart J.* 2017; 38 (15): 1101-1111.
2. Mozaffarian D., Benjamin E.J., Go A.S. Heart disease and stroke statistics – 2016 update a report from the American Heart Association. *Circulation.* 2016; 133 (4): 38-360.
3. Глушченко В.А., Иркиенко Е.К. Сердечно-сосудистая заболеваемость – одна из важнейших проблем здравоохранения. *Медицина и организация здравоохранения.* 2019; 4 (1): 56-63.
4. Аронов Д.М., Лупанов В.П. Функциональные пробы в кардиологии (2-е издание). М.; 2003. 296.
5. Zipes D.P. Braunwald's heart disease: a textbook of cardiovascular medicine 7th ed. Philadelphia. 2005.
6. Тавровская Т.В. Велоэргометрия: практическое пособие для врачей. СПб; 2007. 134.
7. Ahmed H.M., Al-Mallah M.H., McEvoy J.W., Nasir K., Blumenthal R.S., Jones S.R., Brawner C.A., Keteyian S.J., Blaha M.J. Maximal Exercise Testing Variables and 10-Year Survival: Fitness Risk Score Derivation from the FIT Project. *Mayo Clinic Proceedings.* 2015; 90 (3): 346-355.
8. Morris C.K., Myers J., Froelicher V.F., Charles K., Takeo Kawaguchi, Kenji Ueshima, Alisa Hideg B.A. Nomogram based on metabolic equivalents and age for assessing aerobic exercise capacity in men. *Journal of the American College of Cardiology.* 1993; 22 (1): 175-182.
9. Сергиенко И.В., Ежов М.В., Аншелес А.А., Попова А.Б., Чубыкина У.В. Функциональные нагрузочные пробы в кардиологии. М.; 2021. 54.
10. ten Haaf T., Weijs P.J. Resting energy expenditure prediction in recreational athletes of 18-35 years: confirmation of Cunningham equation and an improved weight-based alternative. *PLoS One.* 2014; 9 (9): e108460. doi: 10.1371/journal.pone.0108460
11. Reale R.J., Roberts T.J., Lee K.A., Bonsignore J.L., Anderson M.L. Metabolic rate in adolescent athletes: the development and validation of new equations, and comparison to previous models. *Human Kinetics Journals.* 2020; 3 (4): 249-257.
12. Delsoglio M., Achamrah N., Berger M. M., Pichard C. Indirect calorimetry in clinical practice. *Journal of Clinical Medicine.* 2019; 8 (9): 1387.
13. Johnstone A.M., Rance K. A., Murison S. D., Duncan J. S.,

REFERENCES

1. Lobo, M.D., Sobotka P.A., Pathak A. Interventional procedures and future drug therapy for hypertension. *Eur. Heart J.* 2017; 38 (15): 1101-1111.
2. Mozaffarian D., Benjamin E.J., Go A.S. Heart disease and stroke statistics – 2016 update a report from the American Heart Association. *Circulation.* 2016; 133 (4): 38-360.
3. Glushchenko V.A., Irklienko E.K. Serdechno-sosudistaya zaboлеваemost' – odna iz vazhnei-shikh problem zdравookhraneniya. *Meditsina i organizatsiya zdравookhraneniya.* 2019; 4 (1): 56-63 (in Russian).
4. Aronov D.M., Lupanov V.P. Funktsional'nye proby v kardiologii (2-e izdanie). M.; 2003. 296 (in Russian).
5. Zipes D.P. Braunwald's heart disease: a textbook of cardiovascular medicine 7th ed. Philadelphia. 2005.
6. Tavrovskaya T.V. Veloergometriya: prakticheskoe posobie dlya vrachei. SPb; 2007. 134 (in Russian).
7. Ahmed H.M., Al-Mallah M.H., McEvoy J.W., Nasir K., Blumenthal R.S., Jones S.R., Brawner C.A., Keteyian S.J., Blaha M.J. Maximal Exercise Testing Variables and 10-Year Survival: Fitness Risk Score Derivation from the FIT Project. *Mayo Clinic Proceedings.* 2015; 90 (3): 346-355.
8. Morris C.K., Myers J., Froelicher V.F., Charles K., Takeo Kawaguchi, Kenji Ueshima, Alisa Hideg B.A. Nomogram based on metabolic equivalents and age for assessing aerobic exercise capacity in men. *Journal of the American College of Cardiology.* 1993; 22 (1): 175-182.
9. Sergienko I.V., Ezhov M.V., Ansheles A.A., Popova A.B., Chubykina U.V. Funktsional'nye nagruzochnye proby v kardiologii. M.; 2021. 54 (in Russian).
10. ten Haaf T., Weijs P.J. Resting energy expenditure prediction in recreational athletes of 18-35 years: confirmation of Cunningham equation and an improved weight-based alternative. *PLoS One.* 2014; 9 (9): e108460. doi: 10.1371/journal.pone.0108460
11. Reale R.J., Roberts T.J., Lee K.A., Bonsignore J.L., Anderson M.L. Metabolic rate in adolescent athletes: the development and validation of new equations, and comparison to previous models. *Human Kinetics Journals.* 2020; 3 (4): 249-257.
12. Delsoglio M., Achamrah N., Berger M. M., Pichard C. Indirect calorimetry in clinical practice. *Journal of Clinical Medicine.* 2019; 8 (9): 1387.
13. Johnstone A.M., Rance K. A., Murison S. D., Duncan J. S.,

- Speakman, J. R. Additional anthropometric measures may improve the predictability of basal metabolic rate in adult subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2006; 60 (12): 1437-44.
14. Koo T.K., Li M.Y. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*. 2016; 15 (2): 155-163. doi: 10.1016/j.jcm.2016.02.012
15. Nelson K. M., Weinsier R. L., Long C. L., Schutz Y. Prediction of resting energy expenditure from fat-free mass and fat mass. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1992; 56 (5): 848-56.
16. Пирогова Е.А. Совершенствование физического состояния человека. К.; 1989. 167.
17. Henry C.J.K. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. 2005; 8 (7A): 1133-52.
18. Vandarakis D., Salacinski A. J., Broeder C.E. A comparison of cosmed metabolic systems for the determination of resting metabolic rate, *Research in Sports Medicine*. 2013; 21 (2): 187-94.
19. Bernstein R.S., Thornton J.C., Yang M.U., Wang J., Redmond A.M., Pierson R.N. Prediction of the resting metabolic rate in obese patients. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1983; 37 (4): 595-602.
- Speakman, J. R. Additional anthropometric measures may improve the predictability of basal metabolic rate in adult subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2006; 60 (12): 1437-44.
14. Koo T.K., Li M.Y. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*. 2016; 15 (2): 155-163. doi: 10.1016/j.jcm.2016.02.012
15. Nelson K. M., Weinsier R. L., Long C. L., Schutz Y. Prediction of resting energy expenditure from fat-free mass and fat mass. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1992; 56 (5): 848-56.
16. Pirogova E.A. Sovershenstvovanie fizicheskogo sostoyaniya cheloveka. K.; 1989. 167 (in Russian).
17. Henry C.J.K. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. 2005; 8 (7A): 1133-52.
18. Vandarakis D., Salacinski A. J., Broeder C.E. A comparison of cosmed metabolic systems for the determination of resting metabolic rate, *Research in Sports Medicine*. 2013; 21 (2): 187-94.
19. Bernstein R.S., Thornton J.C., Yang M.U., Wang J., Redmond A.M., Pierson R.N. Prediction of the resting metabolic rate in obese patients. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1983; 37 (4): 595-602.