

АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРДИОПУЛЬМОНАЛЬНОГО НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ У ПАЦИЕНТОВ ПОЖИЛОГО И СТАРЧЕСКОГО ВОЗРАСТА

DOI: 10.37586/2686-8636-1-2023-44-53

УДК: 616-035

Ткачева О.Н., Котовская Ю.В., Рунихина Н.К., Алимова Е.Р., Арефьева М.С., Ерусланова К.А., Розанов А.В.

ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Российский геронтологический научно-клинический центр, Москва, Россия

Резюме

Кардиопульмональное нагрузочное тестирование (КПНТ) — исследование, предоставляющее прогностическую и диагностическую информацию о состоянии сердечно-сосудистой, дыхательной систем и метаболических процессах, позволяющее определить, какой вклад эти системы вносят в снижение толерантности к нагрузке. Большое количество проведенных клинических исследований с использованием этого метода показали его безопасность и диагностическую ценность. Однако ввиду недостаточного просвещения среди врачей и малого опыта КПНТ в настоящее время не получило широкое распространение в диагностике, в том числе в области гериатрии. Данный обзор имеющейся литературы за последние 10 лет посвящен актуальности использования КПНТ у пациентов пожилого и старческого возраста. Рассмотрены суть и методика проведения исследования, а также возможные изменения показателей у пациентов со старческой астенией, хронической сердечной недостаточностью (ХСН), заболеваниями бронхолегочной системы.

Ключевые слова: кардиопульмональное нагрузочное тестирование; КПНТ; пожилой пациент; старческая астения; гериатрия; хроническая сердечная недостаточность.

Для цитирования: Ткачева О.Н., Котовская Ю.В., Рунихина Н.К., Алимова Е.Р., Арефьева М.С., Ерусланова К.А., Розанов А.В. Актуальность использования кардиопульмонального нагрузочного тестирования у пациентов пожилого и старческого возраста. *Российский журнал гериатрической медицины*. 2023; 1(13): 44–53. DOI: 10.37586/2686-8636-1-2023-44-53

THE RELEVANCE OF THE USE OF CARDIOPULMONARY EXERCISE TESTING IN OLDER AND OLDEST OLDER PATIENTS

Tkacheva O.N., Kotovskaya Yu.V., Runikhina N.K., Alimova E.R., Arefieva M.S., Eruslanova K.A., Rozanov A.V.

Pirogov Russian National Research Medical University, Russian Gerontology Research and Clinical Centre, Moscow, Russia

Abstract

Cardiopulmonary exercise testing is a study that provides both prognostic and diagnostic information about the state of the cardiovascular, respiratory systems and metabolic processes allowing us to determine how these systems contribute to a decrease in exercise tolerance. A large number of clinical studies using this method have shown its safety and diagnostic value. However, due to insufficient education among doctors and little experience, CPNT is currently not widely used in diagnostics, especially in the geriatrics. This review of available literature over the last 10 years is devoted to the relevance of the use of cardiopulmonary exercise testing in older and oldest older patients, the essence and methodology of the study, possible changes in indicators in patients with frailty, chronic heart failure, and diseases of the bronchopulmonary system.

Keywords: cardiopulmonary exercise testing; CPET; older patient; frailty; geriatrics; chronic heart failure.

For citation: Tkacheva O.N., Kotovskaya Yu.V., Runikhina N.K., Alimova E.R., Arefieva M.S., Eruslanova K.A., Rozanov A.V. The relevance of the use of cardiopulmonary exercise testing (CPET) in elderly and senile patients. *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2023; 1(13): 44–53. DOI: 10.37586/2686-8636-1-2023-44-53

АКТУАЛЬНОСТЬ

Актуальность кардиопульмонального нагрузочного тестирования (КПНТ) объясняется возможным интегральным подходом к оценке состояния пациента со стороны смежных систем организма. За последние несколько десятилетий доказательная база об эффективности и безопасности КПНТ значительно увеличилась, что также делает актуальным данный метод диагностики у пациентов пожилого и старческого возраста. Согласно статистическому исследованию, в период с 2002 по 2021 год было размещено 4426 публикаций по КПНТ. Сердечно-сосудистая и дыхательная системы были основными задействованными областями в диагностике при помощи КПНТ, основными направлениями были сердечная недостаточность, потребление кислорода и прогностическое значение данных, полученных в результате тестирования [1]. Растущий объем доказательств в поддержку данного метода исследования привел к тому, что различные медицинские сообщества, в том числе кардиологические, опубликовали консенсусные документы о целесообразности широкого использования КПНТ в клинической практике. Кроме того, за последние два десятилетия большой объем исследований был направлен на использование нагрузочного тестирования в качестве прогностического инструмента, поскольку маркеры эффективности вентиляции являются важными показателями для формирования парадигм стратификации риска [2]. Целью данного обзора является необходимость охарактеризовать возможности КПНТ в клинической практике при работе с пациентами пожилого и старческого возраста.

СУТЬ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ

Скелетная мышца для сокращения использует энергию в виде аденозинтрифосфата (АТФ), образующегося в результате окислительного метаболизма субстрата, включающего потребление O_2 и производство CO_2 . Обмен этих газов в мышцах требует эквивалентных скоростей обмена с окружающей средой. Транспорт газов между мышцами и окружающей средой опосредуется интегрированной функцией многих систем органов, любая из которых может стать ограничением для физических упражнений, если она будет достаточно нарушена. Зависимость газотранспорта от нарушения функциональных возможностей сердечно-сосудистой и дыхательной систем делает заболевания этих органов особенно частыми причинами непереносимости физической нагрузки. [3]

Кардиопульмональное нагрузочное тестирование — надежный инструмент, предоставляющий значимую диагностическую и прогностическую информацию о состоянии дыхательной, сердечно-сосудистой систем и метаболических процессах, позволяющий классифицировать этиологию и тяжесть нарушений.

Кардиопульмональный нагрузочный комплекс включает газоанализатор, блок для проведения электрокардиографии (ЭКГ), компьютер, велоэргометр или тредмил (рисунок 1). Для забора воздуха у обследуемого используется маска или загубник, соединенные специальными трубками с газоанализатором. С помощью газоанализатора измеряется легочная вентиляция, концентрация кислорода (O_2) и углекислого газа (CO_2). До и во время проведения исследования измеряется артериальное давление (АД) и частота сердечных сокращений (ЧСС). Вычисляется величина потребления кислорода и углекислого газа за 1 мин, непрерывно регистрируется ЭКГ. Основные параметры газообмена при проведении КПНТ [4] указаны в таблице 1.

В процессе исследования у пациента может производиться забор капиллярной крови для определения концентрации лактата, парциального давления O_2 , CO_2 и других показателей [2]. Также до и после нагрузки пациенту проводится спирометрия, отражающая функциональное состояние дыхательной системы. Не менее важным пунктом является оценка субъективных симптомов, позволяющая также определить уровень толерантности к физической нагрузке и выявить факторы, ее ограничивающие. Существует специальная шкала для оценки воспринимаемой нагрузки — 10-балльная шкала Борга [5] (приложение 1).

Важным аспектом при проведении нагрузочной пробы является выбор протокола исследования. Персонализация протокола тестирования для определения индивидуальной предполагаемой толерантности к нагрузке должна проводиться с помощью предварительного сбора анамнеза пациента в сочетании с оценкой функционального статуса пациента [8]. Наиболее часто используются протоколы с постепенным увеличением нагрузки (например, Брюс, Балке, Нотон). Протоколы с нарастающей интенсивностью нагрузки применяются с целью определения резервных возможностей организма и диагностики латентных нарушений. В зависимости от природы мощности нагрузки выделяются следующие типы протоколов: ступенчато нарастающий (каждые 2–5 мин нагрузка возрастает скачкообразно на заданную величину — ступень), равномерный (небольшая нагрузка по 5 Вт, каждые 5–10–20 с — рамп-протокол) и экспоненциальный (нагрузка увеличивается пропорционально предыдущей ступени).

Существуют также протоколы с постоянной нагрузкой, которые направлены на изучение процессов адаптации пациентов при выполнении нагрузок, эквивалентных таковым в повседневной деятельности. Они могут использоваться для дифференциальной диагностики (например, одышки), разработки индивидуальных программ реабилитации и оценки эффективности лечения.

Таблица 1.

Основные параметры КПНТ

Параметр	Значение
Максимальное (пиковое) потребление кислорода ($VO_{2\text{пик}}$, $VO_{2\text{max}}$)	Количество кислорода, потребляемое организмом каждую минуту. Данный показатель увеличивается практически линейно при увеличении нагрузки. Отражает максимально достижимую скорость транспорта и использования кислорода, границы возможностей сердечно-легочной систем при пиковой нагрузке; является стандартным выражением способности к выносливости или аэробным упражнениям. Данный показатель определяется уравнением Фика ($VO_{2\text{max}} = \text{ЧСС} \times \text{ударный объем} \times \text{Sat}_{O_2}$). У пожилых пациентов с сердечно-сосудистыми или бронхолегочными заболеваниями не ожидается достижения $VO_{2\text{max}}$, поэтому определяется пиковая VO_2 — потребление кислорода на высоте нагрузки.
VCO_2	Количество углекислого газа, вырабатываемое организмом каждую минуту. Данный показатель отражает соответствие легочной вентиляции к перфузии (при прогрессивном увеличении нагрузки VCO_2 увеличивается в той же мере, что и VO_2 (количество кислорода, потребляемого телом каждую минуту)).
Соотношение газообмена ($RER = VCO_2/VO_2$)	Это отношение VCO_2 к VO_2 (RER —respiratory exchange ratio) в норме < 1 (линейная зависимость кривой соотношения). Значение $RER > 1$ может быть вызвано увеличением продукции CO_2 из молочной кислоты или избыточного поступления O_2 вследствие гипервентиляции. Пиковая RER — отношение VCO_2 к VO_2 при максимальных нагрузках. Значения данного показателя $\geq 1,10$ расцениваются как показатель работы организма при выполнении заданной нагрузки.
Кислородный пульс (VO_2/HR)	Неинвазивный показатель сердечного выброса, равный произведению ударного объема и разницы содержания кислорода в артериальной и венозной крови.
Отношение минутной вентиляции к продукции углекислого газа (VE/VCO_2)	Как правило, данная зависимость линейная, отражает эффективность легочной вентиляции.
Минутная вентиляция (VE)	Объем воздуха, который пациент выдыхает каждую минуту, выраженный в литрах в минуту.
Дыхательный предел	Момент, когда минутная вентиляция растет в зависимости от изменений VO_2 .
Анаэробный порог	Момент развития метаболического ацидоза, вызванного ростом концентрации лактата вследствие перехода на анаэробный путь окисления.

Таблица 2.

Сравнительная характеристика велоэргометра и тредмила

	Велоэргометр	Тредмил
Пиковое потребление кислорода	Ниже	Выше
Возможность использовать рампы-протокол	Легче	Сложнее
Поддающаяся количественной оценке внешняя работа	Да	В зависимости от алгоритма
Анализ газов крови	Легче	Сложнее
Качество ЭКГ	Высокое	Низкое
Шумы и артефакты	Мало	Много
Безопасность	Высокая	Риск падений
Нагрузка при ожирении	Малая	Высокая
Степень тренированности мышц ног	Малая	Высокая
Возможность использования в положении лежа	Да	Нет
Наиболее применим	У больных	У здоровых

Каждый протокол включает 4 фазы (покой, разогрев, нагрузка, восстановление) и обеспечивает длительность тестирования до 8–12 мин. При меньшей продолжительности КПНТ объемы потребления кислорода носят нелинейный характер, что искажает интерпретацию результатов, при большей — возможно прекращение исследования из-за нарастания мышечной усталости пациента [6]. При проведении КПНТ пожилым пациентам, особенно в случае их малоподвижного образа жизни, следует рассмотреть умеренные протоколы тестирования. Например, один из первых разработанных протоколов — протокол Нотона — предполагает лишь незначительное увеличение нагрузки на каждом этапе [9].

Данные, полученные в результате проведения КПНТ, оформляются в сжатой форме, что важно для удобства и правильности интерпретации, клинического использования. Оценка и указание в протоколе вышеупомянутых переменных является обязательной при проведении данного вида диагностики, так как эти значения непосредственно отражают максимальную и субмаксимальную функциональную способность у пациентов с сердечно-сосудистыми и бронхо-легочными заболеваниями [2].

БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КАРДИОПУЛЬМОНАЛЬНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ У ПОЖИЛЫХ ПАЦИЕНТОВ

Кардиопульмональное нагрузочное тестирование является безопасной процедурой даже для самых пожилых и ослабленных пациентов, однако особое внимание необходимо уделять противопоказаниям к проведению данного метода, специфике его проведения и критериям прекращения теста [6].

К основным противопоказаниям для проведения КПНТ относятся:

- инфаркт миокарда в острой стадии,
- нестабильная стенокардия,
- неконтролируемая аритмия с клиническими проявлениями и/или гемодинамическими нарушениями,
- инфекционный эндокардит,
- острый миокардит,
- выпотной перикардит,
- острая тромбоэмболия легочной артерии,
- острый тромбоз глубоких вен,
- тяжелый аортальный стеноз,
- неконтролируемая бронхиальная астма
- дыхательная недостаточность III [7].

Важным условием успешного проведения КПНТ является соблюдение критериев завершения тестирования, регулярного мониторинга жизненно важных показателей, готовность к немедленному проведению реанимационных мероприятий. Основными критериями для прекращения нагрузочного тестирования служат приступ стенокардии или возникновение болей в грудной

клетке другой этиологии, ишемия или аритмия на ЭКГ, повышение систолического артериального давления (САД) > 250 мм рт. ст. или диастолического (ДАД) > 120 мм рт. ст., снижение АД > 20 мм рт. ст. от наибольшего значения в процессе выполнения тестирования, десатурация O_2 < 80 %, слабость, головокружение, нарушение сознания или признаки дыхательной недостаточности [7]. Не менее важен мониторинг ЧСС, АД, ЭКГ и насыщения крови кислородом во время восстановительного периода, так как нарушения, возникающие после физической нагрузки, предоставляют ценную диагностическую и прогностическую информацию [6].

Для снижения частоты возникновения нежелательных явлений во время КПНТ необходим рациональный выбор технического оборудования и протокола тестирования. В современных комплексах предлагается использовать моторизованную беговую дорожку с возможностью изменения скорости движения и наклона дорожки или стационарный велоэргометр с электронным торможением. Во время теста возможна опора на поручни, однако стоит ее минимизировать, чтобы избежать недостоверного изменения взаимосвязи между скоростью рабочей нагрузки и потреблением кислорода. Тредмил более физиологичен (так как ходьба — более простой и привычный вид нагрузки), во время таких упражнений задействуется больше мышц и обеспечивается большее потребление кислорода. Однако у пожилых людей предпочтительнее велоэргометрия, так как при использовании беговой дорожки повышается риск падений во время проведения тестирования (табл. 2 [4]), а нарушения равновесия, нестабильность походки или наличие ожирения могут повлиять на результаты теста с физической нагрузкой. Помимо этого, велоэргометр компактен, нагрузка подбирается более точно, в результатах теста наблюдается меньше помех и артефактов [6].

Безопасность исследования у пациентов пожилого возраста была оценена по анализу данных жителей Кореи [10]. Так, в ретроспективном анализе историй болезни 1485 пациентов (средний возраст пациентов составил $74,6 \pm 4,7$ года, из них 63,9% мужчин) было показано, что риск проведения исследования не увеличивается с возрастом. Тестирование выполняли с использованием модифицированного протокола Брюса, одним из недостатков которого является большой прирост нагрузки между этапами теста, что может влиять на оценку пикового потребления кислорода. Выбор протокола был основан на том, что, по мнению авторов, он способствует более низкой частоте нежелательных явлений в выбранной популяции. В результатах исследования наблюдалась значительная разница в пиковом потреблении кислорода в зависимости от возрастной группы, с тенденцией к снижению переносимости физической нагрузки пропорционально с возрастом (65–69 лет —

22,9 ± 5,8; 70–79 лет — 20,7 ± 5,4; 80–89 лет — 17,0 ± 4,5 мл/кг/мин, $p < 0,001$). Стоит отметить, что у женщин толерантность к физическим нагрузкам была значительно ниже, чем у мужчин. Частота возникновения нежелательных явлений при проведении тестирования в данном исследовании составила 0,20%. В общей сложности произошло восемь нежелательных явлений. В семи случаях возникла устойчивая желудочковая тахикардия, в одном случае — обморок с последующей остановкой сердца в фазе восстановления. Все восемь пациентов были в возрасте до 70 лет, что позволяет предположить, что пожилой возраст не является абсолютным фактором риска. Наиболее частыми причинами прекращения тестирования были одышка (64,8%) и боль в ногах (24,3%), при этом частота болей в ногах была выше в группе пациентов 80–89 лет по сравнению с другими возрастными группами (65–69 лет, 22,4%; 70–79 лет, 24,6%; 80–89 лет, 32,0%, $p < 0,001$). Выявленная закономерность предположительно связана с тем, что скелетно-мышечные факторы, такие как саркопения или заболевания суставов, обычно тесно связаны с кардиореспираторными нарушениями у пожилых пациентов. У пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, особенно у пациентов с сердечной недостаточностью, частым симптомом является одышка при физической нагрузке. При появлении одышки пожилые склонны воздерживаться от физической активности, что усугубляет тяжесть саркопии. Кроме того, боль в ногах при патологиях опорно-двигательного аппарата, а также нарушения равновесия, которые могут являться следствием заболеваний суставов, могут ограничивать точную оценку функциональных возможностей [10].

КАРДИОПУЛЬМОНАЛЬНОЕ НАГРУЗОЧНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ В ГЕРИАТРИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

Сейчас проблема лечения и реабилитации пожилых людей актуальна для всего мира, а ориентирование на параметры, полученные во время КПНТ, позволит более достоверно диагностировать патологии и определять тактику ведения пациента и прогноз, а также подбирать программу реабилитации в соответствии с имеющимися у пациентов отклонениями. Анализ взаимосвязи возраст-ассоциированных заболеваний и их влияния на восприимчивость пожилых пациентов к физической нагрузке является закономерным требованием нашего времени, обусловленным происходящими демографическими изменениями. Так, например, существуют данные о высоком уровне смертности пожилых пациентов с ХСН, а результаты проведенных исследований показали, что КПНТ дает важную информацию для стратификации риска внутри этой группы и его использование необходимо, чтобы повлиять на продолжительность и качество жизни пациентов [11]. Однако в фокусе отдельного внимания должны находиться и гериатрические

синдромы, которые не только снижают качество жизни (КЖ) пожилых людей, но и повышают риск формирования зависимости от помощи окружающих, госпитализаций и риск смерти [12].

Ключевым гериатрическим синдромом является старческая астения (хрупкость), которая характеризуется возраст-ассоциированным снижением физиологического резерва и функций многих систем организма. Старческая астения тесно связана с другими гериатрическими синдромами и полиморбидностью, может быть потенциально обратима и влияет на тактику ведения пациента [13]. Каждый фактор, связанный с синдромом старческой астении, связан и с пиковым потреблением кислорода, что может объяснить, почему данные параметры могут влиять на продолжительность и качество жизни. Были выявлены значимые корреляции между пиковым потреблением кислорода и возрастом ($r = -0,47$, $p < 0,001$), индексом массы тела ($r = 0,49$, $p < 0,001$), мышечной силой ($r = 0,56$, $p < 0,001$), результатами теста «Встань и иди» ($r = -0,44$, $p < 0,001$), когнитивным статусом ($r = 0,37$, $p < 0,001$), депрессией ($r = -0,19$, $p < 0,01$), уровнем гемоглобина ($r = 0,46$), $p < 0,001$ и альбумина ($r = 0,21$, $p < 0,01$) [14].

В литературе описано применение КПНТ для оценки старческой астении у пожилых пациентов. Так, например, в Японии было проведено исследование 92 пожилых пациентов с ХСН с использованием КПНТ и опросника Кихона для диагностики старческой астении (Kihon Checklist, KCL) (приложение 2), [15]. По шкале KCL синдром старческой астении устанавливался при отметке в 8 и более баллов. Средний возраст и показатель KCL в данном исследовании составили 81,7 года и 10,7 соответственно. Оценка KCL значительно коррелировала с пиковым потреблением кислорода ($r = -0,527$, $P < 0,001$), нагрузкой ($r = -0,632$, $p < 0,001$). При многофакторном анализе пиковая нагрузка и пиковое САД были независимыми предикторами слабости ($\beta = -0,108$ и $-0,108$, 0,045 соответственно) [16].

Одним из доменов, значимых при диагностике старческой астении, является функциональный статус пожилого пациента, который напрямую связан с изменением толерантности к физической нагрузке. В особенности важен показатель мышечной силы, обычно определяемый с помощью кистевого динамометра. Снижение физической активности пожилого пациента будет только усугублять проявления саркопии, что приведет к еще более выраженному снижению функциональных способностей. По данным исследований, имелась значимая корреляция между силой хвата кисти и возрастом ($r = -0,22$), пиковым VO_2 ($r = 0,40$), SMI ($r = 0,51$) и скоростью ходьбы ($r = 0,29$). Продольный анализ после 6 месяцев тренировок 2 раза в неделю (разминка, упражнения на гибкость, аэробная нагрузка в форме велотренировок и тренировок с сопротивлением) у данных пациентов показал,

что процентное изменение силы хвата рук после тренировок положительно коррелировало с пиковым VO_2 ($r = 0,22$) у 92 участников, что еще раз подтверждает важность грамотного и своевременного подбора программы реабилитации [16].

Также изучалась взаимосвязь между массой мышц нижних конечностей (бедренных и икроножных) и переносимостью физической нагрузки у пожилых людей. В данном исследовании скелетную мышечную массу определяли с помощью двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии, также определялась скорость ходьбы, проводился тест «Встань и иди» [17]. Пиковое потребление кислорода положительно коррелировало с массой скелетных мышц ($r = 0,491$). Только масса бедренных мышц, которая была скорректирована с мышечной массой всего тела, положительно коррелировала с пиковым потреблением кислорода ($r = 0,473$), силой хвата ($r = 0,382$), комфортной скоростью ходьбы — $0,8\text{--}1$ м/сек ($r = 0,427$) и тестом «Встань и иди» ($r = 0,379$) [18]. Масса бедренных мышц более значимо влияла на толерантность к физическим нагрузкам и компоненты физической слабости по сравнению с массой икроножных мышц, что свидетельствует о важности силы четырехглавой мышцы бедра для сохранения функционального статуса пожилых пациентов. Помимо этого низкая сила четырехглавой мышцы бедра является независимым предиктором смертности [19]. По данным литературы, показаны траектории перехода от саркопении к кахексии при отсутствии своевременной коррекции уровня физической активности пациента и, как следствие, от хрупкости к хрупкости [20].

Старческая астения, саркопения и кахексия связаны с неблагоприятным прогнозом и высокой смертностью, поэтому пиковое потребление кислорода в данном случае известно не только как показатель физической подготовленности организма, но и как показатель ожидаемой продолжительности жизни, что подтверждается значительной корреляцией между пиковым потреблением кислорода и признаками саркопении, хрупкости и кахексии [21].

Масса скелетных мышц связана и с функциональными параметрами сердца у пожилых людей во время физической нагрузки. Были выявлены значительные положительные корреляции между индексом массы тела и пиковым потреблением кислорода ($r = 0,631$, $P < 0,001$), а также между индексом массы тела и отношением пикового потребления кислорода к ЧСС ($r = 0,683$, $P < 0,001$) [22].

Помимо функциональных способностей пожилого человека, влияние на переносимость физических нагрузок оказывают и когнитивные функции. По данным различных публикаций известно, что физическая активность может уменьшать продукцию свободных радикалов, предупреждать развитие артериальной гипертензии и сопряженных с ней изменений белого вещества глубинных

отделов головного мозга [23], сокращать объем амилоидных бляшек в церебральных сосудах и участках мозга, ответственных за когнитивные функции (гиппокамп) [24], а также замедлять процессы возраст-ассоциированных когнитивных изменений за счет стимуляции нейропластичности, индукции нейрогенеза и увеличения объема гиппокампа [25]. Появление или усугубление течения когнитивных расстройств способствует снижению толерантности к физическим нагрузкам и уменьшению пикового VO_2 , что напрямую связано с функциональным статусом пожилого пациента. Как следствие, при увеличении процентного объема лейкоареоза, часто обнаруживаемого при цереброваскулярных и нейродегенеративных заболеваниях головного мозга, приводящих к развитию когнитивных нарушений, повышается риск формирования зависимости пациента от постоянной помощи [26].

Выявлена значительная корреляция между когнитивными способностями и возрастом ($r = -0,388$), пиковым потреблением кислорода (VO_2 , $r = 0,201$), пиковым $\text{VO}_2/\text{ЧСС}$ ($r = 0,243$), пиковым VO_2 /весом ($r = 0,244$), скоростью ходьбы ($r = -0,200$) и тестом «Встань и иди» ($r = -0,230$) [27]. После 6 месяцев тренировок было обнаружено, что процентное изменение пикового VO_2/HR связано с процентным изменением показателя когнитивного статуса [27].

КАРДИОПУЛЬМОНАЛЬНОЕ НАГРУЗОЧНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ У ПАЦИЕНТОВ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА С ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ

Низкая толерантность к физической нагрузке является одним из важных симптомов сердечной недостаточности (СН) независимо от величины ФВ ЛЖ. В развитие СН вносит вклад множество различных факторов, включающих недостаточность снабжения кислородом из-за нарушения систолической и диастолической функции, неадекватного распределения кровотока в периферической циркуляции, снижение ответа на действие нагрузки со стороны легочного сосудистого русла, нарушение скелетных мышц, включая детренированность и патологические изменения параметров вентиляции при воздействии нагрузки. Действие всех вышеуказанных факторов ведет к снижению пиковой VO_2 у больных СН [28]. Другим параметром, имеющим существенную предсказательную значимость в данной группе больных, является соотношение минутной вентиляции (VE) к VCO_2 . В ряде работ устанавливается пороговая величина этого отношения, равная 34. Если VE/VCO_2 превышает пороговое значение, то вероятность неблагоприятного исхода у таких больных достоверно увеличивается [28]. Важно отметить, что на величину показателей влияют некардиологические факторы, в том числе возраст пациента. Вне зависимости от ФВ ЛЖ данный метод обследования

является диагностически значимым в верификации этиологии снижения толерантности к физической нагрузке. Согласно различным источникам, сниженная ФВ ЛЖ характеризуется более выраженным снижением пикового потребления O_2 . Так, в 2017 году в журнале американского кардиологического общества были опубликованы результаты сравнительной характеристики показателей КПНТ и их корреляция с уровнем ФВ ЛЖ [30]. В это исследование были включены 973 пациента с сердечной недостаточностью, которым было проведено КПНТ по клиническим показаниям в Brigham and Women's Hospital в период с июля 2007 года по декабрь 2012 года. Средний возраст пациентов составил 55 ± 14 лет. Пациенты рандомизированы в 3 группы в зависимости от ФВ ЛЖ: сниженная (630 человек), промежуточная (144), сохранная (195 человек). Получены средние данные основных параметров КПНТ: пиковое VO_2 , мл/мин/кг: $14,3 \pm 5,2$, $17,1 \pm 7,1$, $17,4 \pm 7,8$ в трех группах соответственно. Соотношение VE/VCO_2 : $34,5 \pm 9,2$, $29,5 \pm 6,3$, $30,3 \pm 6,7$ в трех группах соответственно. Следует отметить, что коэффициент RER в трех группах значимо не различался: $1,19 \pm 0,13$, $1,21 \pm 0,13$, $1,19 \pm 0,12$. Пиковое значение VO_2 надежно предсказывает худший прогноз при ХСН с сохранной (HFrEF), промежуточной (HFmEF) и сниженной фракцией выброса левого желудочка (HFnEF). Среди пациентов с HFrEF как пиковое VO_2 , так и соотношение VE/VCO_2 обеспечивали возрастающую прогностическую ценность [29].

Кардиопульмональное нагрузочное тестирование в группе пожилых пациентов с сердечной недостаточностью возможно проводить с целью прогнозирования исхода. Согласно данным английских ученых, у пожилых пациентов с СН более крутой наклон кривой VE/VCO_2 предоставляет дополнительную информацию для стратификации риска по всему спектру функции желудочков и определяет группу высокого риска, обычно не учитываемую в рекомендациях по нагрузочному тестированию. Данные основаны на проведенном исследовании среди пациентов старше 70 лет с сердечной недостаточностью I–III ФК по NYHA [30].

Также проводилось исследование по определению диагностической ценности однократного выполнения КПНТ у пациентов с ХСН. У 52 пациентов с ХСН с сохранной ФВ ЛЖ (возраст 70 ± 7 лет) было выполнено две КПНТ. Два теста были разделены в среднем 23 ± 13 днями (медиана: 22 дня) и проводились в идентичных условиях, без вмешательства или изменения статуса между визитами, за исключением начала вводного периода с плацебо. Был использован многоэтапный протокол для скрининга пациентов, обучения и контроля качества. Средний пик VO_2 был одинаковым в тесте 1 и тесте 2 ($14,4 \pm 2,4$ против $14,3 \pm 2,3$ мл/кг/мин), что показало эффективность однократного проведения теста [31].

КПНТ ПРИ ОБСТРУКТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ЛЕГКИХ

Непереносимость физической нагрузки является отличительной чертой хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ). Хотя симптомы физической нагрузки вначале могут быть легкими, ограничение физических нагрузок является наиболее инвалидирующим и мучительным последствием ХОБЛ для большинства пациентов. КПНТ является золотым стандартом и общепризнанным инструментом для оценки функциональной способности и определения прогноза у пациентов с ХОБЛ. У таких больных наблюдается целый спектр разных ответов на нагрузку. Пациенты с ХОБЛ с умеренными и тяжелыми формами имеют обычно снижение толерантности к нагрузке и уменьшение пиковой VO_2 , в то время как у больных с легкой формой ХОБЛ пиковая VO_2 приближается к нормальным значениям. Один из важнейших признаков, характерный для многих пациентов с умеренной и тяжелой ХОБЛ, — снижение дыхательного резерва, сигнализирующего о значительном вкладе дыхательных факторов в ограничение физической нагрузки [28].

На основании приведенных данных представлена сравнительная характеристика показателей КПНТ при различных состояниях (сердечно-сосудистые заболевания, бронхолегочная патология, гериатрические синдромы) (табл. 3). Учитывая недостаточный опыт проведения

Таблица 3.

Сравнительная характеристика параметров КПНТ при различных патологиях

Показатель	Сердечно-сосудистые причины	Легочные причины	Гериатрические синдромы
Пиковое VO_2	Снижен	Снижен	Снижен
Пиковая ЧСС	Норма при легких нарушениях	Чаще снижена	Снижена
Дыхательный предел	Снижен	В норме/ снижен	Снижен
VO_2/HR	Может быть снижен	Не меняется	Не меняется
Постнагрузочный форсированный выдох	Не меняется	Чаще изменен по сравнению с исходными параметрами	Не меняется
VE/VCO_2	Увеличен	Увеличен	Увеличен

КПНТ в гериатрической практике, изменения показателей при проведении данного метода у пожилых пациентов могут быть основаны на предположениях.

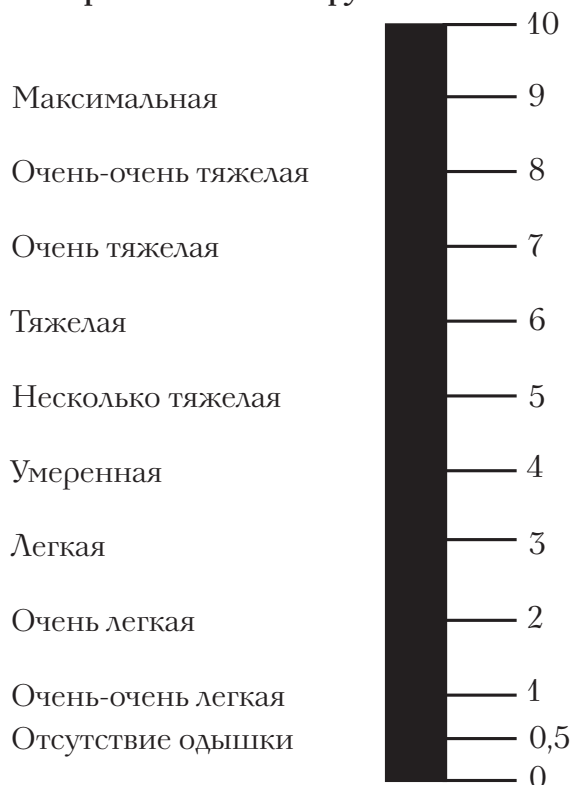
ВЫВОДЫ

Оценка состояния пожилого пациента — многофакторный процесс, а снижение социального, психоэмоционального и функционального статуса взаимосвязаны [32]. Функциональная способность и резервные возможности организма в свою очередь значительно коррелируют со способностью увеличивать потребление кислорода при нагрузке и зависят от возраста и сопутствующих заболеваний [33]. Поэтому большую роль играет своевременное выявление отклонений во всех вышеперечисленных показателях и их коррекция. А подбор программы физических упражнений на основе результатов КПНТ позволяет предотвратить прогрессирование хрупкости, частично вернуть независимость, способность к самообслуживанию, повысить качество и продолжительность жизни у 89% пожилых пациентов [34].

Обзор имеющейся литературы показывает на недостаточный объем исследования клинического воздействия КПНТ на тактику ведения пожилых пациентов. Однако полученные данные позволяют определить направление целей будущих исследований.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1. 10-балльная шкала Борга для субъективной оценки переносимости нагрузки



Приложение 2. Опросник Кихона (Kihon checklist)

1. Ездите ли вы на автобусе или поезде один?	Да (0)	Нет (1)
2. Ходите ли вы самостоятельно по магазинам, чтобы купить предметы первой необходимости?	Да (0)	Нет (1)
3. Управляете ли вы собственными депозитами или сбережениями в банке?	Да (0)	Нет (1)
4. Навещаете ли вы иногда своих друзей?	Да (0)	Нет (1)
5. Обращаетесь ли вы за советом к своей семье или друзьям?	Да (0)	Нет (1)
6. Обычно вы поднимаетесь по лестнице, не используя поручни или стену в качестве опоры?	Да (0)	Нет (1)
7. Обычно вы встаете со стула без каких-либо вспомогательных средств?	Да (0)	Нет (1)
8. Обычно ваша ходьба продолжается непрерывно в течение 15 минут?	Да (0)	Нет (1)
9. Испытывали ли вы падения в прошлом году?	Да (1)	Нет (0)
10. Испытываете ли вы страх падений во время ходьбы?	Да (1)	Нет (0)
11. Похудели ли вы на 2 кг или более за прошедшие 6 месяцев?	Да (1)	Нет (0)
12. Рост: см, вес: кг, ИМТ кг/м ² . Если ИМТ менее 18,5, то данный пункт учитывается.	Да (1)	Нет (0)
13. Испытываете ли вы какие-то трудности с употреблением твердой пищи по сравнению с тем, что было 6 месяцев назад?	Да (1)	Нет (0)
14. Вы недавно поперхнулись чаем или супом?	Да (1)	Нет (0)
15. Вы часто испытываете сухость во рту?	Да (1)	Нет (0)
16. Выходите ли вы куда-то хотя бы 1 раз в неделю?	Да (0)	Нет (1)
17. Выходите ли вы из дома реже по сравнению с прошлым годом?	Да (1)	Нет (0)
18. Указывает ли вам ваша семья на снижение памяти? Например, «Ты всегда задаешь один вопрос снова и снова!»	Да (1)	Нет (0)

19. Совершаете ли вы звонок, просматривая телефонные номера?	Да (0)	Нет (1)
20. Ловите ли вы себя на том, что не знаете сегодняшнюю дату?	Да (1)	Нет (0)
21. За последние 2 недели чувствовали ли недостаток самореализации в своей повседневной жизни?	Да (1)	Нет (0)
22. За последние 2 недели испытывали ли недостаток радости, занимаясь тем, что раньше нравилось?	Да (1)	Нет (0)
23. За последние 2 недели испытывали ли вы трудность в выполнении того, что раньше давалось вам с легкостью?	Да (1)	Нет (0)
24. За последние 2 недели чувствовали ли вы себя беспомощным?	Да (1)	Нет (0)
25. За последние 2 недели чувствовали ли вы усталость без причины?	Да (1)	Нет (0)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Song L, Qu H, Luo J, Wang W, Zheng L, Xue M, Shi D. Cardiopulmonary exercise test: A 20-year (2002-2021) bibliometric analysis. *Front Cardiovasc Med*. 2022 Aug 15;9:982351. doi: 10.3389/fcvm.2022.982351. PMID: 36046187; PMCID: PMC9420934.
- Guazzi M, Arena R, Halle M, Piepoli MF, Myers J, Lavie CJ. 2016 Focused Update: Clinical Recommendations for Cardiopulmonary Exercise Testing Data Assessment in Specific Patient Populations. *Circulation*. 2016 Jun 14;133(24):e694-711. doi: 10.1161/CIR.0000000000000406. Epub 2016 May 2. PMID: 27143685.
- Arena R, Sietsema KE. Cardiopulmonary exercise testing in the clinical evaluation of patients with heart and lung disease. *Circulation*. 2011 Feb 15;123(6):668-80. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.914788. PMID: 21321183.
- Pritchard A, Burns P, Correia J, et al. ARTP statement on cardiopulmonary exercise testing 2021. *BMJ Open Res* 2021;8:e001121. doi:10.1136/bmjresp-2021-001121
- Wasserman K, Hansen JE, Sue DS, Stringer WW, Sietsema KE, Sun XG, Whipp BJ. Principles of exercise testing and interpretation including pathophysiology and clinical applications. Fifth Edition. Lippincott Williams & Wilkins; 2012.
- Venturelli M, Cè E, Paneroni M, Guazzi M, Lippi G, Paoli A, Baldari C, Schena F, Esposito F. Maximal aerobic capacity exercise testing protocols for elderly individuals in the era of COVID-19. *Aging Clin Exp Res*. 2021 May;33(5):1433-1437. doi: 10.1007/s40520-021-01858-3. Epub 2021 Apr 21. PMID: 33881755; PMCID: PMC8058145.
- Marcadet DM. Nouvelles recommandations concernant la pratique des tests d'effort en cardiologie [Exercise testing: New guidelines]. *Presse Med*. 2019 Dec;48(12):1387-1392. French. doi: 10.1016/j.lpm.2019.09.011. Epub 2019 Oct 31. PMID: 31679896.
- Postnikova L.B., Gudim A.L., Kostrov V.A., Dorovskoy I.A., Sodayeva S.K., Popova N.A. Diagnostic role of cardiopulmonary exercise testing in patients with sarcoidosis. *PULMONOLOGIYA*. 2018;28(6):736-745. (In Russ.) <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2018-28-6-736-745>
- Naughton J, Balke B, Nagle F. Refinements In Method Of Evaluation And Physical Conditioning Before And After Myocardial Infarction. *Am J Cardiol*. 1964 Dec;14:837-43. doi: 10.1016/0002-9149(64)90011-6. PMID: 14232807.
- Kim BJ, Kim Y, Oh J, Jang J, Kang SM. Characteristics and Safety of Cardiopulmonary Exercise Testing in Elderly Patients with Cardiovascular Diseases in Korea. *Yonsei Med J*. 2019 Jun;60(6):547-553. doi: 10.3349/ymj.2019.60.6.547. PMID: 31124338; PMCID: PMC6536393.
- Chen SM, Wu PJ, Wang LY, Wei CL, Cheng CI, Fang HY, Fang YN, Chen YL, Huang DK, Lee FY, Chen MC. Optimizing exercise testing-based risk stratification to predict poor prognosis after acute heart failure. *ESC Heart Fail*. 2022 Dec 2. doi: 10.1002/ehf2.14240. Epub ahead of print. PMID: 36460605.
- Ostapenko V.S., Runikhina N.K., Sharashkina N.V. Prevalence of frailty and its correlation with chronic non-infectious diseases among outpatients in Moscow. *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2020;(2):131-137. (In Russ.) <https://doi.org/10.37586/2686-8636-2-2020-131-137>
- Ткачева О.Н., Котовская Ю.В., Рунихина Н.К., Фролова Е.В., Наумов А.В., Воробьева Н.М., Остапенко В.С., Мхитарян Э.А., Шарашкина Н.В., Тюхменев Е.А., Переверзев А.П., Дудинская Е.Н. Клинические рекомендации «Старческая астения». Часть 2. Российский журнал гериатрической медицины. 2020;(2):115-130. [Tkacheva O.N., Kotovskaya Yu.V., Runikhina N.K., Frolova E.V., Naumov A.V., Vorobyeva N.M., Ostapenko V.S., Mkhitarian E.A., Sharashkina N.V., Tyukhmenev E.A., Pereverzev A.P., Dudinskaya E.N. Clinical guidelines frailty. Part 2. Russian Journal of Geriatric Medicine. 2020;(2):115-130. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37586/2686-8636-2-2020-115-130>
- Masamitsu Sugie, K.H. Harada, M.N. Nara, Tetsuya Takahashi, H.F. Fujimoto, T.K. Koyama, S.K. Kyo, Hideki Ito. The relationship between peak VO2 and each frailty-related factor. — Insight into frailty cycle. *European Heart Journal*. August 2017; <https://doi.org/10.17987/jcsm-cr.v3i2.69>
- Satake S, Senda K, Hong YJ, Miura H, Endo H, Sakurai T, Kondo I, Toba K. Validity of the Kihon Checklist for assessing frailty status. *Geriatr Gerontol Int*. 2016 Jun;16(6):709-15. doi: 10.1111/ggi.12543. Epub 2015 Jul 14. PMID: 26171645.
- Masamitsu Sugie, Kazumasa Harada, Tetsuya Takahashi, Marina Nara, Joji Ishikawa, Jun Tanaka, Teruyuki Koyama, Hajime Fujimoto, Obuchi Shuichi, Shunei Kyo, Hideki Ito. Relationship between hand grip strength and peak VO2 in community-dwelling elderly outpatients. *CSM Clinical Reports*. January 2018; <https://doi.org/10.17987/jcsm-cr.v3i1.48>
- Podsiadlo D, Richardson S. The timed «Up & Go»: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*. 1991 Feb;39(2):142-8. doi: 10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x. PMID: 1991946.
- Tetsuya Takahashi, Masamitsu Sugie, Marina Nara, Teruyuki Koyama, Obuchi Shuichi, Kazumasa Harada, Shunei Kyo, Hideki Ito. Femoral muscle mass relates to physical frailty components in community-dwelling older people: Femoral muscle mass and physical frailty. *Geriatrics and Gerontology International*. January 2017.
- Newman AB, Kupelian V, Visser M, Simonsick EM, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, Tykavsky FA, Rubin SM, Harris TB. Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2006 Jan;61(1):72-7. doi: 10.1093/gerona/61.1.72. PMID: 16456196
- Masamitsu Sugie, Kazumasa Harada, Tetsuya Takahashi, Marina Nara, Teruyuki Koyama, Hajime Fujimoto, Shunei Kyo, Hideki Ito. Muscle wasting diseases has two distinct trajectories on the 3-dimensional age-BMI-peak VO2 scatterplot. *JCSM Clinical Reports*. November 2018; <https://doi.org/10.17987/jcsm-cr.v3i2.69>
- Masamitsu Sugie, Kazumasa Harada, Tetsuya Takahashi, Marina Nara, Hajime Fujimoto, Shunei Kyo, Hideki Ito. Peak oxygen uptake correlates with indices of sarcopenia, frailty, and cachexia in older Japanese outpatients. *JCSM Rapid Communications*. June 2024; <https://doi.org/10.1002/rco.2.45>
- Sugie M, Harada K, Takahashi T, Nara M, Ishikawa J, Koyama T, Kim H, Tanaka J, Fujimoto H, Obuchi S, von Haehling S, Kyo S, Ito H. Relationship between skeletal muscle mass and cardiac function during exercise in community-dwelling older adults. *ESC*

Heart Fail. 2017 Nov;4(4):409-416. doi: 10.1002/ehf2.12158. Epub 2017 Apr 10. PMID: 29154420; PMCID: PMC5695195.

23. Tarumi T, Zhang R. Cerebral blood flow in normal aging adults: cardiovascular determinants, clinical implications, and aerobic fitness. *J Neurochem*. 2018 Mar;144(5):595-608. doi: 10.1111/jnc.14234. Epub 2017 Nov 7. PMID: 28986925; PMCID: PMC5874460.

24. Khodadadi D, Gharakhanlou R, Naghdi N, Salimi M, Azimi M, Shahed A, Heysieattalab S. Treadmill Exercise Ameliorates Spatial Learning and Memory Deficits Through Improving the Clearance of Peripheral and Central Amyloid-Beta Levels. *Neurochem Res*. 2018 Aug;43(8):1561-1574. doi: 10.1007/s11064-018-2571-2. Epub 2018 Jun 11. PMID: 29948724.

25. Prakash RS, Voss MW, Erickson KI, Kramer AF. Physical activity and cognitive vitality. *Annu Rev Psychol*. 2015 Jan 3;66:769-97. doi: 10.1146/annurev-psych-010814-015249. Epub 2014 Sep 12. PMID: 25251492.

26. Akihiro Hirashiki, Atsuya Shimizu, Kazuhiro Kawashima, Kenichiro Nomoto, Manabu Kokubo, Sakurai Takashi, Hidenori Arai. Exercise Capacity is Associated With Cerebral White Matter Hyperintensity in Frail Elderly Patients With Heart Failure. *AHA Journals Abstract* 12114. 2019.

27. Sugie M, Harada K, Takahashi T, Nara M, Kawai H, Fujiwara Y, Ishikawa J, Tanaka J, Koyama T, Kim H, Sengoku R, Fujimoto H, Obuchi S, Kyo S, Ito H. Peak exercise stroke volume effects on cognitive impairment in community-dwelling people with preserved ejection fraction. *ESC Heart Fail*. 2018 Oct;5(5):876-883. doi: 10.1002/ehf2.12311. Epub 2018 Jun 26. PMID: 29947095; PMCID: PMC6165962.

28. Кербинов О.Б., Аверьянов А.В., Борская Е.Н., Крутова Т.В. Кардиопульмональное нагрузочное тестирование в клинической практике. *Клиническая практика*, 2012, №2:58-70 [Cardiopulmonary Exercise Testing In Clinical Practice Kerbikov O, Averyanov A., Borskaya E., Krutova T.].

29. Prognostic Value of Cardiopulmonary Exercise Testing in Heart Failure With Reduced, Midrange, and Preserved Ejection Fraction Wilson Nadruz Jr, Erin West, Morten Sengeløv, Mário

Santos, John D. Groarke, Daniel E. Forman, Brian Claggett, Hicham Skali and Amil M. Shah Originally published 31 Oct 2017 <https://doi.org/10.1161/JAHA.117.006000> Journal of the American Heart Association. 2017;6:e006000.

30. Scardovi AB, De Maria R, Celestini A, Perna S, Coletta C, Feola M, Aspromonte N, Rosso GL, Carunchio A, Ferraironi A, Pimpinella A, Ricci R. Additive prognostic value of cardiopulmonary exercise testing in elderly patients with heart failure. *Clin Sci (Lond)*. 2009 Mar;116(5):415-22. doi: 10.1042/CS20080111. PMID: 18699772.

31. Scott JM, Haykowsky MJ, Eggebeen J, Morgan TM, Brubaker PH, Kitzman DW. Reliability of peak exercise testing in patients with heart failure with preserved ejection fraction. *Am J Cardiol*. 2012 Dec 15;110(12):1809-13. doi: 10.1016/j.amjcard.2012.08.015. Epub 2012 Sep 13. PMID: 22981266; PMCID: PMC3511643.

32. Masamitsu Sugie, Kazumasa Harada, Marina Nara, Yoshihiro Kugimiya, Tetsuya Takahashi, Moe Kitagou, Hunkyung Kim, Shunei Kyo, Hideki Ito. Prevalence, overlap, and interrelationships of physical, cognitive, psychological, and social frailty among community-dwelling older people in Japan. *Archives of Gerontology and Geriatrics* 100(10):104659. February 2022; <https://doi.org/10.1016/j.archger.2022.104659>

33. Зарипова З.А., Ткачук А.С., Тишков А.В., Страх Л.В. 2020. Потребление кислорода как показатель готовности к операции. *Актуальные проблемы медицины*, 43 (3): 431–440. [: Zaripova Z.A., Tkachuk A.S., Tishkov A.V., Strakh L.V. 2020. Oxygen consumption as an indicator of readiness for surgery. *Challenges in Modern Medicine*, 43 (3): 431–440 (in Russian)] DOI: 10.18443/2687-0940-2020-43-3-431-440

34. Masamitsu Sugie, Kazumasa Harada, Tetsuya Takahashi, Marina Nara, Hunkyung Kim, Teruyuki Koyama, Hajime Fujimoto, Shunei Kyo, Hideki Ito. Effectiveness of Exercise-Training on Frailty and the Specificity of Exercise Effectiveness on Frailty-Related Indices among Community Dwelling Robust, Pre-Frailty and Frailty Older Peoples. *Journal of Gerontology & Geriatric Research*. January 2018; DOI: 10.4172/2167-7182.1000491