

Прогностические факторы, определяющие изменения сердечно-сосудистой системы в зависимости от типа и интенсивности физических нагрузок у квалифицированных спортсменов

Гарганеева Н. П.¹, Таминова И. Ф.^{1,2}, Калюжин В. В.¹, Калюжина Е. В.¹, Смирнова И. Н.^{1,3}

Цель. Определить ранние прогностические факторы изменений сердечно-сосудистой системы у квалифицированных спортсменов в зависимости от типа и интенсивности физических нагрузок.

Материал и методы. Обследовано 136 спортсменов мужского пола. Из них 116 человек — квалифицированные спортсмены (возраст 22,07±4,1 года) представляли разные виды спорта на этапах спортивного совершенствования и высшего спортивного мастерства: вольная борьба, дзюдо (n=30), лыжные гонки, биатлон (n=27), пауэрлифтинг (n=33), волейбол (n=26). Контрольная группа (n=20), возраст 17,95±1,5 года, спортивная подготовка <3 лет. Методы исследования: электрокардиография (ЭКГ), эхокардиография (ЭхоКГ), велоэргометрия (ВЭМ) с оценкой физической работоспособности (PWC₁₇₀) и максимального потребления кислорода (МПК). При построении прогностических моделей ранних сердечно-сосудистых изменений применяли метод логистической регрессии, пошагового алгоритма значимых предикторов с использованием стандартизированных коэффициентов регрессии и статистики Вальда (Wald). Критический уровень значимости (p=0,05).

Результаты. Прогностические модели логистической регрессии с использованием ROC-анализа показали высокую чувствительность и специфичность, высокий процент верного прогноза с включением предикторов по данным ЭхоКГ — 86,8%, ВЭМ — 80,9%, ЭКГ и других показателей — 83,1%. Пошаговым алгоритмом были отобраны прогностические факторы, определяющие ранние изменения сердечно-сосудистой системы у молодых спортсменов, в зависимости от этапа спортивной подготовки, интенсивности и типа динамических и/или статических физических нагрузок: толщина задней стенки левого желудочка (p=0,008), масса миокарда левого желудочка (p=0,001), ударный объем (p=0,002), конечно-систолический объем (p=0,001), PWC₁₇₀ (p=0,025), МПК (p=0,003), время восстановления частоты сердечных сокращений (ЧСС) (p=0,029) и артериальное давление (p=0,032) после выполнения субмаксимальной нагрузки на велоэргометре, индекс массы тела (p=0,029), ЧСС (p=0,034), офисное систолическое артериальное давление (p=0,009), внутрисердечные (пучковые) блокады (p=0,046), нарушения процессов реполяризации миокарда левого желудочка (p=0,010), малые соседительнотканые аномалии сердца (p=0,035).

Заключение. Установленные методом логистической регрессии ранние прогностические факторы оказывают влияние на особенности и риск сердечно-сосудистых изменений каждой группы квалифицированных спортсменов молодого возраста, продемонстрировав необходимость разработки индивидуальных программ медицинского сопровождения, дальнейшего контроля и оценки, коррекции и профилактики выявленных нарушений с учетом спортивной направленности, интенсивности и типа физических нагрузок.

Ключевые слова: квалифицированные спортсмены, вид спорта, интенсивность и тип физических нагрузок, факторы прогнозирования, сердечно-сосудистая система, логистическая регрессия.

Отношения и деятельность: нет.

¹ФГБОУ ВО Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России, Томск; ²БУ Клинический врачебно-физкультурный диспансер филиал в городе Нижневартовске, Нижневартовск; ³ФГБУ Сибирский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства России, Томск, Россия.

Гарганеева Н. П.* — д.м.н., профессор, профессор кафедры общей врачебной практики и поликлинической терапии, ORCID: 0000-0002-7353-7154, Таминова И. Ф. — соискатель кафедры госпитальной терапии с курсом реабилитации, физиотерапии и спортивной медицины; зав. филиалом, врач по спортивной медицине высшей квалификационной категории, ORCID: 0000-0001-7437-621X, Калюжин В. В. — д.м.н., профессор, зав. кафедрой госпитальной терапии с курсом реабилитации, физиотерапии и спортивной медицины, ORCID: 0000-0001-9640-2028, Калюжина Е. В. — д.м.н., профессор кафедры госпитальной терапии с курсом реабилитации, физиотерапии и спортивной медицины, ORCID: 0000-0002-7978-5327, Смирнова И. Н. — д.м.н., профессор кафедры госпитальной терапии с курсом реабилитации, физиотерапии и спортивной медицины; руководитель терапевтического отделения, ORCID: 0000-0002-9010-2419.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author): garganeeva@gmail.com

АД — артериальное давление, ВЭМ — велоэргометрия, ИМТ — индекс массы тела, КДО — конечно-диастолический объем, КДР — конечно-диастолический размер, КСО — конечно-систолический объем, КСР — конечно-систолический размер, ЛЖ — левый желудочек, МПК — максимальное потребление кислорода, ММЛЖ — масса миокарда левого желудочка, НРС — нарушения ритма сердца, САД — систолическое артериальное давление, ССС — сердечно-сосудистая система, ТЗСЛЖ — толщина задней стенки левого желудочка, ТМЖП — толщина межжелудочковой перегородки, УО — ударный объем, ЧСС — частота сердечных сокращений, ЭКГ — электрокардиография, ЭхоКГ — эхокардиография, АUC — Area Under Curve, PWC₁₇₀ — физическая работоспособность.

Рукопись получена 24.08.2021

Рецензия получена 26.09.2021

Принята к публикации 11.10.2021



Для цитирования: Гарганеева Н. П., Таминова И. Ф., Калюжин В. В., Калюжина Е. В., Смирнова И. Н. Прогностические факторы, определяющие изменения сердечно-сосудистой системы в зависимости от типа и интенсивности физических нагрузок у квалифицированных спортсменов. *Российский кардиологический журнал*. 2021;26(10):4647. doi:10.15829/1560-4071-2021-4647

Predictive factors of cardiovascular changes depending on the type and intensity of physical activity in professional athletes

Garganeeva N. P.¹, Taminova I. F.^{1,2}, Kalyuzhin V. V.¹, Kalyuzhina E. V.¹, Smirnova I. N.^{1,3}

Aim. To determine the early predictive factors of cardiovascular changes in professional athletes, depending on the type and intensity of physical activity.

Material and methods. A total of 136 male athletes were examined. Of these, 116 were professional athletes (age, 22,07±4,1 years) as follows: freestyle wrestling, judo (n=30), cross-country skiing, biathlon (n=27), powerlifting (n=33), volleyball (n=26). Control group included 20 athletes (age, 17,95±1,5 years) with a history of

training less than 3 years. All participants underwent electrocardiography (ECG), echocardiography, cycle ergometry (CE) with assessment of physical performance at a heart rate of 170 bpm (PWC₁₇₀) and maximum oxygen consumption (MOC). When creating predictive models of early cardiovascular changes, we used logistic regression, stepwise regression and Wald statistics. Differences were considered significant at p<0,05.

Results. Predictive models of logistic regression using ROC analysis showed high sensitivity and specificity, a high percentage of correct predictions using data from echocardiography — 86,8%, CE — 80,9%, ECG and other indicators — 83,1%. A stepwise algorithm was used to select prognostic factors determining early cardiovascular changes in young athletes, depending on the stage of sports training, the intensity and type of dynamic and/or static exercise: left ventricular posterior wall thickness ($p=0,008$), left ventricular mass ($p=0,001$), stroke volume ($p=0,002$), end-systolic volume ($p=0,001$), PWC_{170} ($p=0,025$), МОС ($p=0,003$), recovery time of heart rate (HR) ($p=0,029$) and blood pressure ($p=0,032$) after submaximal exercise on a cycle ergometer, body mass index ($p=0,029$), heart rate ($p=0,034$), office systolic blood pressure ($p=0,009$), intraventricular (bundle) block ($p=0,046$), left ventricular repolarization abnormalities ($p=0,010$), mild cardiac connective tissue anomalies ($p=0,035$).

Conclusion. The early prognostic factors established by the logistic regression affect the characteristics and risk of cardiovascular changes in each group of young athletes. This demonstrates the need to develop individual medical support programs, further monitoring, evaluation, correction and prevention of identified disorders, taking into account the type of sports, intensity and exercise.

Keywords: professional athletes, sport, intensity and type of exercise, predictive factors, cardiovascular system, logistic regression.

Relationships and Activities: none.

¹Siberian State Medical University, Tomsk; ²Clinical medical and physical dispensary, Nizhnevartovsk; ³Federal Siberian Research Clinical Center, Tomsk, Russia.

Garganeeva N. P.* ORCID: 0000-0002-7353-7154, Taminova I. F. ORCID: 0000-0001-7437-621X, Kalyuzhin V. V. ORCID: 0000-0001-9640-2028, Kalyuzhina E. V. ORCID: 0000-0002-7978-5327, Smirnova I. N. ORCID: 0000-0002-9010-2419.

*Corresponding author:
garganeeva@gmail.com

Received: 24.08.2021 **Revision Received:** 26.09.2021 **Accepted:** 11.10.2021

For citation: Garganeeva N. P., Taminova I. F., Kalyuzhin V. V., Kalyuzhina E. V., Smirnova I. N. Predictive factors of cardiovascular changes depending on the type and intensity of physical activity in professional athletes. *Russian Journal of Cardiology.* 2021;26(10):4647. doi:10.15829/1560-4071-2021-4647

Современный профессиональный спорт отличается высокой соревновательной активностью спортсменов, что отражается на организации системы подготовки. Спортивные достижения сопровождаются предельными тренировочными и соревновательными нагрузками, усложнением техники упражнений [1]. Специфика спортивной деятельности оказывает существенное влияние на морфоструктуру сердца и системную гемодинамику в развитии кардиомиопатий и спортивного сердца. В этом отношении использование новых технологий визуализации сердца позволяет выявить доклинические нарушения миокарда при различных физиологических и патологических состояниях, значительно расширяя диагностические возможности [2, 3]. Исследование функционального состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) к физическим нагрузкам с оценкой адаптационного потенциала аппарата кровообращения и роста спортивных результатов относится к важнейшим задачам подготовки квалифицированных спортсменов [4-6].

Физические тренировки повышают уровень физической работоспособности и выносливости, обеспечивая экономизацию функций всех систем организма спортсменов, как в состоянии покоя, так и при умеренных нагрузках, сохраняя при этом способность достигать максимальной производительности даже при предельных нагрузках [7, 8].

В литературе обсуждаются проблемы опасности развития синдрома перетренированности, явившегося результатом соревновательной деятельности, чрезмерных и продолжительных тренировок, приводящего к снижению энергообеспечения, нередко сопровождающегося возникновением предпатологических и патологических изменений ССС, и ограничивающего возможности спортивных достижений.

Это обусловлено тем, что механизмы адаптации/деадаптации аппарата кровообращения к регулярным физическим нагрузкам остаются не ясными, как и воздействие интенсивных тренировочных нагрузок на организм спортсменов в качестве фактора риска сердечно-сосудистых нарушений [9-11].

Представляется актуальным изучение ССС у квалифицированных спортсменов с учетом новых тенденций и повышенными требованиями к их спортивной подготовленности.

Цель исследования — определить ранние прогностические факторы изменений ССС у квалифицированных спортсменов в зависимости от типа и интенсивности физических нагрузок.

Материал и методы

Выборку составили 136 спортсменов, прошедших комплексное обследование на базе клинического врачебно-физкультурного диспансера. Отбор спортсменов регламентировался действующими нормативными документами на основании Федерального закона от 04.12.2007 № 329-ФЗ (ред. от 02.07.2021) “О физической культуре и спорте в Российской Федерации”.

Критерии включения. Молодые спортсмены, мужчины, в возрасте до 35 лет, имеющие спортивные разряды: кандидат в мастера спорта, первый спортивный разряд и спортивные звания — мастер спорта России международного класса, мастер спорта России. Медицинское заключение о допуске к тренировочным мероприятиям и к участию в спортивных соревнованиях по результатам углубленного медицинского обследования с учетом антропометрических, клинических, лабораторных и инструментальных методов обследования, при отсутствии медицинских противопоказаний. Отсутствие пато-

логии ССС, в т.ч. нарушений ритма сердца высоких градаций, потенциально опасных изменений электрокардиограммы. Отсутствие острых и хронических заболеваний других органов и систем. Письменное информированное согласие от каждого спортсмена на участие в исследовании. Положительное решение локального этического комитета ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России.

Критерии исключения: женский пол; возраст спортсменов старше 35 лет, наличие кардиоваскулярной патологии в анамнезе или впервые выявленное заболевание ССС, наличие острых или обострение хронических заболеваний, отказ от участия в исследовании.

Основные 4 группы составили квалифицированные спортсмены мужского пола — 116 человек (возраст $22,07 \pm 4,1$ года) разных видов спорта с продолжительностью спортивной подготовки 5-15 лет на этапах спортивного совершенствования и высшего спортивного мастерства. Первая группа — вольная борьба, дзюдо ($n=30$). Вторая группа — биатлон, лыжные гонки ($n=27$). Третья группа — пауэрлифтинг ($n=33$). Четвертая группа — волейбол ($n=26$). Пятая группа — контрольная ($n=20$), возраст $17,95 \pm 1,5$ года, спортивная подготовка < 3 лет.

Характеристика видов спорта проводилась в соответствии с классификацией по типу физических нагрузок (динамических и/или статических), их сочетания и интенсивности, ранжированной как низкая, средняя и высокая. Для большинства видов спорта характерен смешанный тип физической нагрузки с преобладанием статического либо динамического. В нашей работе спортсмены представляли следующие виды спорта: лыжные гонки, биатлон (с высоко-динамическими и средне-статическими требованиями к физическим нагрузкам); борьба (со средне-динамическими и высоко-/средне-статическими требованиями); пауэрлифтинг (с низко-динамическими и высоко-статическими требованиями); волейбол (со средне-динамическими и низко-статическими требованиями) [12]. Кроме того, в характеристике спортивных дисциплин в зависимости от преобладания компонента и интенсивности учитывались гемодинамические изменения при длительных тренировках к нагрузкам [13].

В работе использовались результаты клинических и инструментальных методов исследования, включая: электрокардиографию (ЭКГ), велоэргометрию (ВЭМ), эхокардиографию (ЭхоКГ). ЭКГ проводилась на электрокардиографе "АТ-2 plus". Для оценки физической работоспособности (PWC_{170} , кгм/мин) выполняли ВЭМ-тест на стресс системе "Cardiosoft" по методу Карпмана В.Л. (1987). Исходно и на каждой ступени нагрузки регистрировали изменения ЭКГ, частоту сердечных сокращений (ЧСС), систолическое артериальное давление (АД) (САД, мм рт.ст.) и диа-

столическое АД (мм рт.ст.); время восстановления ЧСС и АД после нагрузки (мин). Максимальное потребление кислорода (МПК, мл/мин/кг) рассчитывали непрямым методом по величине PWC_{170} .

ЭхоКГ проводилась на ультразвуковой системе "Sequoia 512" (Acuson, США) с регистрацией изображения в М и В режимах. Анализировались показатели структуры и функции левого желудочка (ЛЖ): конечно-диастолический размер (КДР, см), конечно-систолический размер (КСР, см), толщина межжелудочковой перегородки (ТМЖП, см), толщина задней стенки ЛЖ (ТЗСЛЖ, см), конечно-диастолический объем (КДО, мл), конечно-систолический объем (КСО, мл), масса миокарда (ММ) ЛЖ (г) и индекс ММЛЖ ($г/м^2$), ударный объем (УО, мл), фракция выброса (%), минутный объем кровотока (л/мин); показатели правого желудочка (см), аорты (см) и клапанов сердца.

Исследование проводилось в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской Декларации. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом. Для участия в исследовании от каждого спортсмена было получено письменное информированное согласие с соблюдением добровольности обследования.

Статистический анализ. Анализ материала проводился с применением статистического пакета "SPSS 26". Проверка нормальности распределения признаков осуществлялась с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Для количественных переменных вычислялись средние значения и стандартные отклонения ($M \pm SD$), а также медиана с межквартильным интервалом ($Me [Q_{25}; Q_{75}]$). При отсутствии нормального распределения использовали непараметрический метод Манна-Уитни. При построении прогностических моделей ранних сердечно-сосудистых изменений применяли метод логистической регрессии (модуль Binary logistic regression) с использованием стандартизированных коэффициентов регрессии и статистики Вальда (Wald). Для оценки качества прогностической модели применялся ROC-анализ, проводился расчет чувствительности (Se) и специфичности (Sp) и значение площади под кривой Area Under Curve (AUC). Оценка специфичности и чувствительности, включенных в анализ прогностических признаков, позволили проверить адекватность созданных моделей. Критический уровень значимости ($p=0,05$).

Результаты

Метод бинарной логистической регрессии с пошаговым отбором признаков из множества клинико-гемодинамических показателей, изученных нами в предшествующих исследованиях, продемонстрировал формирование статистически значимых пре-

Таблица 1

Результаты бинарной логистической регрессии по данным ЭхоКГ

Показатель	Коэффициент	Стандартная ошибка коэффициента	χ^2 Вальда (Wald)	Достигнутый уровень значимости (p)
ТЗСЛЖ, см	25,372	9,583	7,009	0,008
ММЛЖ, г	-0,178	0,044	16,364	0,001
УО, мл	0,308	0,099	9,718	0,002
КСО, мл	0,270	0,076	12,567	0,001

Примечание: R-квадрат (Nagelkerke R Square) — 0,580; тест Hosmer and Lemeshow — 0,682; процент правильной классификации — 86,8%.

Сокращения: КСО — конечно-систолический объем, ММЛЖ — масса миокарда левого желудочка, ТЗСЛЖ — толщина задней стенки левого желудочка, УО — ударный объем.

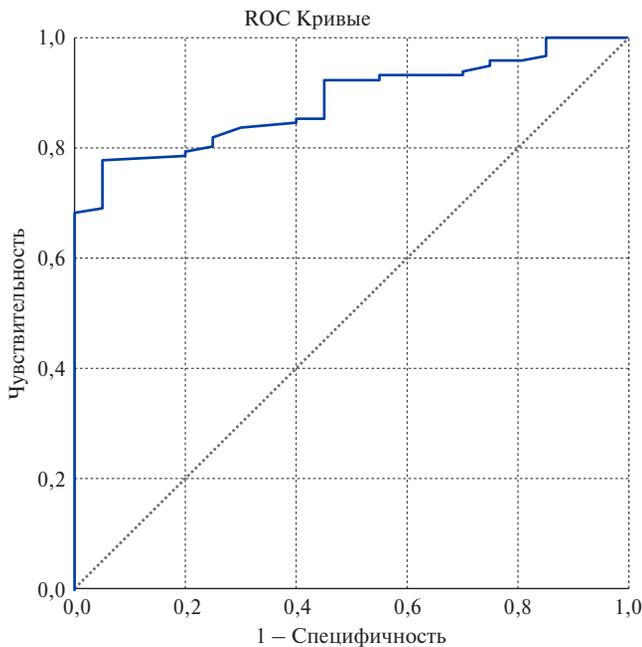


Рис. 1. ROC-кривая чувствительности и специфичности модели по данным ЭхоКГ.

Примечание: значение площади под кривой AUC составило — 0,884; стандартная ошибка — 0,029; доверительный интервал (нижний уровень — 0,827; верхний уровень — 0,942); чувствительность — 87,1%; специфичность — 85,0%.

дикторов, влияющих на состояние ССС спортсменов [14]. Включенные алгоритмом признаки легли в основу создания прогностических моделей.

Так, по данным ЭхоКГ значимые различия структурно-функциональных показателей в исследуемых группах явились факторами, вошедшими в прогностическую модель.

У спортсменов 2 группы (лыжные гонки, биатлон) с высоко-динамической направленностью тренировок выявлено увеличение объемов и размеров ЛЖ, таких как КДО 124,0 (117,0; 147,0) мл; КСО 46,0 (40,0; 54,0) мл; КДР 5,1 (4,9; 5,5) см; КСР 3,3 (3,2; 3,6) см по сравнению со спортсменами, тренирующимися в условиях интенсивных статических нагрузок и низких- или средне-динамических нагрузок. Так, у спортсменов 3 группы: КДО 119,0 (109,0; 130,0) мл, $p_{2-3}=0,0403$; КСО 42,0 (35,0; 46,0) мл, $p_{2-3}=0,0481$;

КДР 5,0 (4,8; 5,2) см, $p_{2-3}=0,0398$; КСР 3,2 (3,0; 3,4) см, $p_{2-3}=0,0475$. В 1 группе КСО — 39,0 (33,0; 47,0) мл, $p_{1-2}=0,0493$. В контрольной группе — КСО 37,5 (33,0; 42,5), $p_{2-5}=0,0184$.

В 3 группе пауэрлифтинга с высокой интенсивностью статических и низкой интенсивностью динамических нагрузок структурные изменения сердца отличались увеличением ММЛЖ 179,8 (151,3; 200,7) г, увеличением ТЗСЛЖ 0,9 (0,9; 1,0) см и ТМЖП 1,0 (0,9; 1,05) см в сравнении с группой лыжников и биатлонистов, где: ТЗСЛЖ 0,9 (0,8; 1,0) см, $p_{2-3}=0,0133$ и ТМЖП 0,9 (0,8; 1,0) см, $p_{2-3}=0,0481$.

Значимым показателем гемодинамики является УО, вошедший в логистическую модель, как фактор, отражающий выносливость ССС в условиях чрезмерной физической нагрузки. Высокий уровень УО 87,0 (77,0; 94,0) мл наблюдался у спортсменов с высоко-динамической направленностью тренировок и значительно превышал в группах статических видов спорта — 78,0 (72,0; 82,0) мл; $p_{2-3}=0,0145$ и контроля 71,5 (65,5; 73,5) мл, $p_{2-5}=0,0001$.

В таблице 1 представлены результаты логистической регрессии, где вероятность верного прогноза составила 86,8%. В качестве прогностических факторов, определяющих состояние ССС спортсменов по данным ЭхоКГ, пошаговый алгоритм включил показатели: ТЗСЛЖ, ММЛЖ, УО, КСО.

Результаты ROC-анализа по данным ЭхоКГ представлены на рисунке 1.

Малые соединительнотканые аномалии, выявленные при визуализации сердца, вошли в качестве прогностических факторов в другие модели логистической регрессии. В одной из них вероятность прогноза составила — 85,7%; чувствительность — 87,9%, специфичность — 80,8%. Проплап митрального клапана, ложные хорды ЛЖ и их сочетания, чаще встречающиеся у спортсменов со средне-динамической интенсивностью нагрузок ($p=0,035$), влияют на показатели гемодинамики, сопровождаются учащением изменений ЭКГ и нарушениями ритма сердца (НРС).

Следующая модель построена по результатам ВЭМ [14]. Спортсменов 2 группы, тренирующихся на выносливость, отличали более высокие показате-

Таблица 2

Результаты бинарной логистической регрессии по данным ВЭМ (соревновательный период)

Показатель	Коэффициент	Стандартная ошибка коэффициента	χ^2 Вальда (Wald)	Достигнутый уровень значимости (p)
PWC ₁₇₀ , кгм/мин	-0,002	0,001	5,032	0,025
МПК, мл/мин/кг	-0,106	0,035	9,095	0,003
Время восстановления ЧСС, мин	-1,923	0,878	4,790	0,029
Время восстановления АД, мин	4,459	2,078	4,607	0,032

Примечание: R-квадрат (Nagelkerke R Square) — 0,403; тест Hosmer and Lemeshow — 0,849; процент правильной классификации — 80,9%.

Сокращения: АД — артериальное давление, МПК — максимальное потребление кислорода, ЧСС — частота сердечных сокращений, PWC₁₇₀ — физическая работоспособность.

тели физической работоспособности (PWC₁₇₀), как в подготовительном периоде — 1508,0 (1300,0; 1700,0) кгм/мин, так и в соревновательном — 1560,0 (1313,0; 1730,0) кгм/мин ($p=0,0001$). В соревновательном периоде у спортсменов с высокой интенсивностью статических нагрузок и низкой интенсивностью динамических нагрузок, направленных преимущественно на развитие силовых качеств, наблюдалось снижение уровня PWC₁₇₀, включая контрольную группу, где PWC₁₇₀ составил 1180,5 (875,0; 1311,5) кгм/мин ($p_{2-5}=0,0001$). Максимальное снижение PWC₁₇₀ отмечено в 3 группе — 1120,0 (976,0; 1252,0) кгм/мин ($p_{2-3}<0,0001$) у спортсменов, тренировочный процесс которых направлен на развитие абсолютной силы. У единоборцев (1 группа), тренирующихся на развитие скоростно-силовых качеств, координации и выносливости, более высокий уровень PWC₁₇₀ — 1352,5 (1100,0; 1520,0) кгм/мин ($p_{1-3}=0,0035$) обусловлен не только статическим, но средне-динамическим характером нагрузки в отличие от 3 группы пауэрлифтинга с максимальной интенсивной статической нагрузкой, но был ниже, чем во 2 группе ($p_{1-2}=0,0090$). Высокий показатель PWC₁₇₀ — 1502,0 (1300,0; 1808,0) кгм/мин ($p_{3-4}=0,0001$) у волейболистов (4 группа) в отличие от 3 группы объясняется сочетанным средне-динамическим и низко-статическим типом нагрузки и антропометрическими особенностями спортсменов игрового вида спорта.

В соревновательном периоде у всех спортсменов отмечено повышение показателя МПК, указывающего на усиление аэробного энергообразования. Лыжники имели значительно более высокий уровень МПК — 68,00 (63,81; 72,88) мл/мин/кг. Низкий уровень МПК — в группе пауэрлифтинга — 42,04 (38,76; 48,47) мл/мин/кг ($p_{2-3}=0,0001$). У единоборцев МПК — 53,55 (47,56; 58,89) мл/мин/кг ($p_{1-2}=0,0001$). У волейболистов — 50,30 (48,90; 54,00) мл/мин/кг ($p_{2-4}=0,0001$). В группе контроля — 47,17 (40,19; 53,92) мл/мин/кг ($p_{2-5}=0,0001$). Атлетов высоко- и средне-динамических видов спорта отличает наличие высоких уровней УО крови и PWC₁₇₀, что является показателем эффективности аэробных процессов ССС.

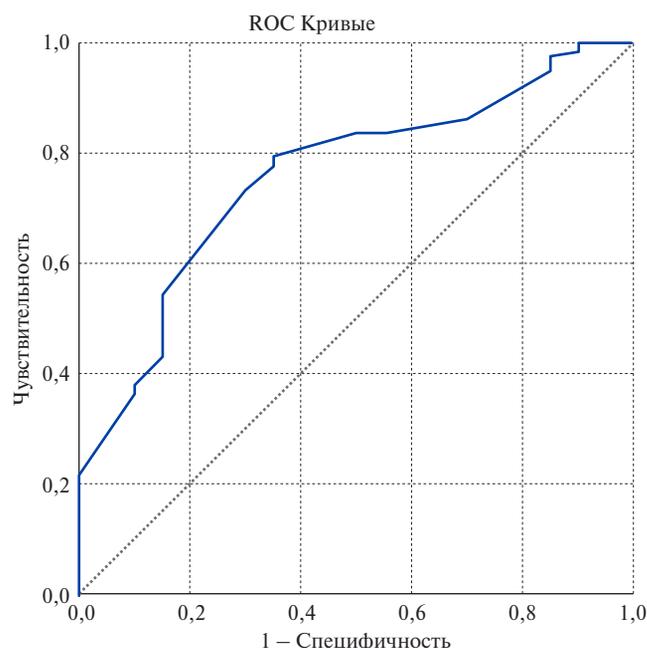


Рис. 2. ROC-кривая чувствительности и специфичности модели по данным ВЭМ.

Примечание: значение показателя площади под кривой AUC — 0,759; стандартная ошибка — 0,045; доверительный интервал (нижний уровень — 0,653; верхний уровень — 0,864); чувствительность — 81,0%; специфичность — 80,0%.

В ходе ВЭМ у спортсменов 2 группы восстановление гемодинамических показателей проходит быстрее: время восстановления АД — 4,0 (4,0; 5,0) мин, ЧСС — 4,0 (4,0; 9,0) мин в сравнении с группами скоростно-силовых, силовых и игровых видов спорта. У спортсменов 1 группы время восстановления АД 5,0 (4,8; 7,0) мин ($p_{1-2}=0,008$), ЧСС 9,0 (6,0; 12,0) мин ($p_{1-2}=0,007$), 3 группы — АД 5,0 (4,0; 6,0) мин ($p_{2-3}=0,051$) и ЧСС 7,0 (5,0; 11,5) мин ($p_{2-3}=0,008$), 4 группы — АД 5,0 (4,8; 6,0) мин ($p_{2-4}=0,001$), ЧСС 6,0 (4,8; 10,3) мин ($p_{2-4}=0,107$). У спортсменов 1 и 3 групп превышение времени восстановления ЧСС после прекращения нагрузки является фактором риска.

По данным ВЭМ (табл. 2) вошедшими в логистическую модель значимыми прогностическими факторами изменений ССС у спортсменов оказались:

Таблица 3

Результаты бинарной логистической регрессии по данным ЭКГ и другим показателям (соревновательный период)

Показатель	Коэффициент	Стандартная ошибка коэффициента	χ^2 Вальда (Wald)	Достигнутый уровень значимости (p)
ЧСС, уд./мин	0,050	0,024	4,512	0,034
САД, мм рт.ст.	-0,105	0,040	6,814	0,009
ИМТ, кг/м ²	-2,360	1,079	4,785	0,029
Нарушения процессов реполяризации миокарда ЛЖ	-0,081	0,031	4,684	0,010
Внутрижелудочковые (пучковые) блокады	-0,062	0,031	3,989	0,046

Примечание: R-квадрат (Nagelkerke R Square) — 0,385; тест Hosmer and Lemeshow — 0,716; процент правильной классификации — 83,1%.

Сокращения: ИМТ — индекс массы тела, ЛЖ — левый желудочек, САД — систолическое артериальное давление, ЧСС — частота сердечных сокращений.

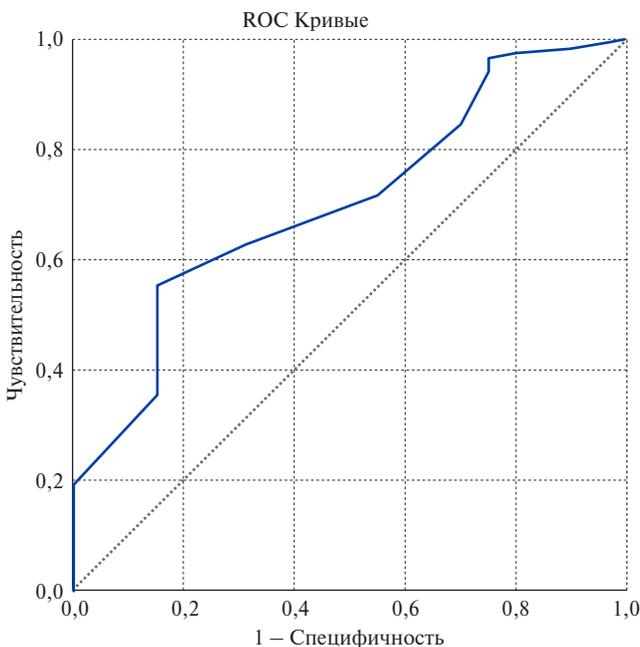


Рис. 3. ROC-кривая чувствительности и специфичности модели по данным ЭКГ и другим признакам.

Примечание: значение площади под кривой AUC — 0,703; стандартная ошибка — 0,047; доверительный интервал (нижний уровень — 0,589; верхний уровень — 0,817); чувствительность — 83,6%; специфичность — 80,0%.

уровень PWC_{170} , уровень МПК, время восстановления ЧСС, время восстановления АД; вероятность верного прогноза созданной модели — 80,9%.

Результаты ROC-анализа по данным ВЭМ представлены на рисунке 2.

Анализ данных ЭКГ также определил ряд прогностических факторов [14]. У 74,14% квалифицированных спортсменов регистрировались изменения ЭКГ. В соревновательном периоде отмечено увеличение общего числа спортсменов с сочетанными изменениями ЭКГ, а также количество случаев значимых НРС, явившихся факторами риска. Такие НРС, как синусовая брадикардия ($p=0,0321$); синусовая тахикардия ($p=0,0473$); блокады ножек пучка Гиса

($p=0,0455$), включая двухпучковые блокады: блокады передней и задней ветвей левой ножки пучка Гиса, сочетание с блокадой правой ножки пучка Гиса; нарушения процессов реполяризации миокарда ЛЖ ($p=0,003$); другие НРС (феномен WPW, экстрасистолическая аритмия), требующие дополнительного обследования.

Среди других признаков в качестве факторов прогноза вошли: индекс массы тела (ИМТ), ЧСС, уровень офисного САД.

Нормальная масса тела по целевым значениям ИМТ (20-24,9, кг/м²) была у спортсменов 2, 1, 4 и 5 групп. Более низкий ИМТ отмечен у спортсменов 2 группы — 20,8 (19,3; 22,5 кг/м²) по сравнению с 1 группой — 24,8 (23,6; 26,8) кг/м² ($p_{1-2}<0,0001$), с 4 группой — 22,4 (21,3; 23,6) кг/м² ($p_{2-4}=0,0027$) и контрольной — 22,7 (20,6; 23,9) ($p_{2-5}=0,0212$). В 3 группе ИМТ составил 25,9 (24,3; 29,0) кг/м² ($p_{2-3}<0,0001$), что соответствует избыточной массе тела. Обнаруженные различия связаны с антропометрическими особенностями атлетов и спецификой спорта.

В соответствии с классификацией уровня АД и степени гипертензии офисное значение САД в соревновательном периоде у спортсменов 3 группы классифицировалось как “высокое нормальное” САД 130,0 (120,0; 136,0) мм рт.ст., тогда как во 2 группе — “оптимальное” САД 110,0 (100,0; 116,0) мм рт.ст.; а в 1, в 4 и в контрольной группах — “нормальное” ($p<0,0001$). Уровень диастолического АД оставался в пределах “нормальное” и “оптимальное” во всех группах. Значение САД как “высокое нормальное” в группе пауэрлифтинга требует динамического контроля АД.

В таблице 3 отражены результаты логистической регрессии, по итогам которой вероятность верного прогноза составляет — 83,1%. Прогностическими факторами, влияющими на состояние ССС спортсменов, являются: ЧСС, уровень САД, ИМТ, нарушения процессов реполяризации миокарда ЛЖ, внутрижелудочковые блокады.

Результаты оценки ROC-анализа по данным ЭКГ представлены на рисунке 3.

Таким образом, результаты комплексного изучения клинических, структурно-функциональных, гемодинамических ЭКГ показателей, уровня физической работоспособности и МПК свидетельствуют о возрастающей нагрузке на ССС спортсменов параллельно с увеличением продолжительности и интенсивности тренировок.

Обсуждение

Анализ проведенного исследования квалифицированных спортсменов в возрасте до 35 лет, относящихся к категории молодых спортсменов, и специализирующихся в разных спортивных дисциплинах, показал, что систематические и продолжительные тренировки в зависимости от специфики видов спорта, типа и интенсивности физических нагрузок оказывают влияние на особенности гемодинамики и способствуют развитию ранних морфоструктурных изменений сердца.

Для оценки функционального состояния спортсменов, представляющих различные спортивные дисциплины, в исследовании были использованы классификации, обеспечивающие допуск спортсменов к тренировкам и соревнованиям, учитывающие динамическую и статическую интенсивность спорта, а также их сочетанное влияние на изменения ССС и ремоделирование сердца [12, 13].

Одним из главных условий включения спортсменов в исследование было отсутствие клинико-инструментальных патологических изменений ССС. Однако, как показало наше исследование, квалифицированные спортсмены имели значимые различия по уровню функционального состояния ССС и особенностям кардиогемодинамики, которые определялись спецификой спортивной подготовки, что и послужило обоснованием проведения данной работы.

У спортсменов с преобладанием динамических физических нагрузок высокой интенсивности, тренирующихся на общую выносливость, морфоструктурные изменения характеризовались увеличением показателей, отражающих объем ЛЖ. При высокоинтенсивных статических и низко-динамических нагрузках у спортсменов, тренировочный процесс которых направлен на развитие силы, морфоструктурные изменения отличались увеличением толщины стенок ЛЖ без увеличения размеров полости. При этом во всех случаях не отмечено нарушений сократительной функции миокарда ЛЖ. Наиболее высокий уровень физической работоспособности и функциональных резервов гемодинамики по данным показателей УО, минутного объема кровотока, МПК наблюдался у квалифицированных спортсменов, развивающих выносливость (лыжные гонки, биатлон). Спортсменов высоко- и средне-динамических видов спорта отличает наличие высоких уровней УО крови и физической работоспособности,

что является показателем эффективности аэробных процессов ССС. Тогда как у спортсменов скоростно-силовых и силовых качеств (вольная борьба, дзюдо, пауэрлифтинг) ССС работает в энергетически более напряженном режиме. Не менее значимым показателем функциональной подготовленности спортсменов является ЭКГ как наиболее эффективный и доступный метод диагностики потенциально опасных нарушений ритма сердца в спорте. Так, изменения ЭКГ встречались у 74,14% спортсменов. Это согласуется с данными, что в 80% случаев, чаще у мужчин, регистрируются нарушения ЭКГ, не являющиеся противопоказанием к занятиям спортом [6]. При усилении интенсивности и частоты физических тренировок в соревновательном периоде выявлялись сочетанные изменения ЭКГ и значимые НРС, требующие уточнения диагноза. Результаты нашего исследования и анализ литературы свидетельствуют о необходимости комплексного изучения ССС спортсменов [1-3, 13, 15].

Спортсмены относятся к группе повышенного риска развития патологии ССС. Специфика спортивной подготовки ассоциируется с целым спектром морфологических и функциональных адаптаций сердца к физическим нагрузкам. Значительный вклад в решение данной проблемы на современном этапе вносят изданные рекомендательные документы [6, 15].

Однако остаются спорными вопросы, касающиеся методов скрининга на выявление ранних нарушений ССС именно у молодых спортсменов, участвующих в соревнованиях.

Комплексное изучение клинических, гемодинамических, электрокардиографических особенностей, учитывающих тип и интенсивность физических нагрузок, периоды подготовки спортсменов, обеспечивает возможность динамического контроля состояния ССС квалифицированных спортсменов. Проведенный анализ полученных данных позволил определить значимые факторы риска развития сердечно-сосудистых нарушений у молодых спортсменов, не имеющих на момент обследования медицинских противопоказаний к тренировочно-соревновательному процессу.

Заключение

Метод бинарной логистической регрессии с процедурой пошагового введения статистически значимых прогностических признаков (предикторов) позволил выявить и оценить ранние факторы, определяющие изменения ССС у молодых спортсменов.

Построение моделей логистической регрессии основывалось на предварительном анализе множества признаков, характеризующих состояние ССС и его динамику в процессе мониторинга спортсменов на этапах подготовки с разной направленностью и ин-

тенсивностью физических динамических и/или статических нагрузок и в разные периоды тренировочного процесса.

Представленные прогностические модели логистической регрессии с использованием ROC-анализа данных ЭхоКГ, ВЭМ, ЭКГ и других включенных в анализ прогностических признаков показали высокую чувствительность и специфичность, а также высокий процент правильной классификации — значение верного предсказания, что свидетельствует об адекватности каждой созданной модели.

По итогам логистической регрессии с процедурой включения ряда значимых показателей ЭхоКГ с вероятностью верного прогноза 86,8% прогностическими факторами, отражающими ранние изменения ССС и различные механизмы формирования структурных и гемодинамических особенностей у квалифицированных спортсменов, оказались ТЗСЛЖ, ММЛЖ, УО, КСО.

Морфоструктурные показатели у квалифицированных спортсменов (оставаясь в пределах физиологической нормы) указывают на увеличение объемов (КСО) и размеров ЛЖ преимущественно у спортсменов динамических видов спорта, тогда как увеличение ТЗСЛЖ и ММЛЖ — преимущественно в статических видах спорта. Эти прогностические факторы отражают ранние изменения геометрии сердца у спортсменов разной направленности тренировок при интенсивных и продолжительных физических нагрузках. Кроме того, фактором прогноза явились обнаруженные малые соединительнотканые аномалии сердца.

В логистической модели показателей ВЭМ факторами прогноза явились предикторы, характеризующие аэробные возможности спортсменов: PWC₁₇₀, МПК, время восстановления ЧСС и АД после выполнения нагрузки. Вероятность верного прогноза нарушений процессов аэробного энергообразования, обеспечивающих уровень общей выносливости и PWC₁₇₀ спортсменов разных видов спорта, составила — 80,9%.

В модели, где использовались показатели ЭКГ и другие клинические признаки, в число предикторов сердечно-сосудистых нарушений у спортсменов с вероятностью прогноза 83,1% вошли: ЧСС, САД, ИМТ, нарушения процессов реполяризации миокарда ЛЖ, внутрижелудочковые (пучковые) блокады.

Установленные методом логистической регрессии ранние прогностические факторы оказывают влияние на особенности и риск сердечно-сосудистых изменений каждой группы квалифицированных спортсменов.

У спортсменов высоко- и средне-динамических видов спорта с преобладанием в тренировочном процессе интенсивных динамических нагрузок прогностическими факторами, отражающими ранние изменения ССС, явились: увеличение КСО, высокие уровни УО, PWC₁₇₀, МПК, время восстановления ЧСС и АД, малые соединительнотканые аномалии сердца.

Прогностические факторы, такие как увеличение ТЗСЛЖ и ММЛЖ, нарушения процессов реполяризации миокарда, внутрижелудочковые блокады, ИМТ, САД, превышение времени восстановления ЧСС и АД, а также снижение показателей УО, PWC₁₇₀, МПК, являются предикторами изменений ССС у спортсменов высоко- и средне-статических видов спорта при выполнении интенсивных статических нагрузок и недостаточной интенсивности динамических нагрузок.

Результаты исследования являются ориентирами для разработки индивидуальных программ медицинского сопровождения квалифицированных спортсменов молодого возраста, динамического контроля состояния ССС и оценки прогноза, коррекции и профилактики выявленных изменений с учетом спортивной дисциплины, интенсивности и типа физических нагрузок.

Отношения и деятельность: авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

- Gorbenko AV, Skirdenko YP, Nikolaev NA, et al. Physiological or pathological hypertrophy of athlete's heart syndrome. *Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2020;24(2):16-25. (In Russ.) Горбенко А.В., Скирденко Ю.П., Николаев Н.А. и др. Спортивное сердце: норма или патология. Патология кровообращения и кардиохирургия. 2020;24(2):16-25. doi:10.21688/1681-3472-2020-2-16-25.
- Vasyuk YuA, Nesvetov VV, Yushuk EN, et al. Clinical Capabilities and Limitations in the Use of Modern Technologies in Echocardiography. *Kardiologiya*. 2019;59(7):68-75. (In Russ.) Васюк Ю.А., Несветов В.В., Ющук Е.Н. и др. Клинические возможности и ограничения в применении современных технологий в эхокардиографии. *Кардиология*. 2019;59(7):68-75. doi:10.18087/cardio.2019.7.2651.
- Sharykin AS, Badtieva VA, Trunina II, et al. Myocardial fibrosis — a new component of heart remodeling in athletes? *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2019;18(6):126-35. (In Russ.) Шарыкин А.С., Бадтиева В.А., Трунина И.И. и др. Фиброз миокарда — новый компонент ремоделирования сердца у спортсменов? *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2019;18(6):126-35. doi:10.15829/1728-8800-2019-6-126-135.
- Fesyun AD, Datiy AV, Yakovlev MYu, et al. Assessment of the functional state of the cardiovascular system of individuals involved in physical education and sports. *Sports medicine: research and practice*. 2019;9(2):68-78. (In Russ.) Фесюн А.Д., Дати́й А.В., Яковлев М.Ю. и др. Оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы лиц, занимающихся физической культурой и спортом. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2019;9(2):68-78. doi:10.17238/ISSN2223-2524.2019.2.68.
- Chumakova OS, Isaeva MYu, Koroleva OS, et al. Contribution of electrocardiography to the diagnosis of cardiomyopathies and athletic heart syndrome. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(S3):4023. (In Russ.) Чумакова О.С., Исаева М.Ю., Королева О.С. и др. Место электрокардиографии в диагностике кардиомиопатий и спортивного сердца. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(S3):4023. doi:10.15829/1560-4071-2020-4023.
- Sharma S, Drezner JA, Baggish A, et al. International Recommendations for Electrocardiographic Interpretation in Athletes. *Eur Heart J*. 2018;39(16):1466-80. doi:10.1093/eurheartj/ehw631.
- Lüscher ThF. Sports cardiology: towards the sweet spot in competitive and leisure exercise. *Eur Heart J*. 2019;40:1-4. doi:10.1093/eurheartj/ehy883.
- Celis-Morales CA, Lyall DM, Anderson J, et al. The association between physical activity and risk of mortality is modulated by grip strength and cardiorespiratory fitness: evidence

- from 498 135 UK-Biobank participants. *Eur Heart J.* 2017;38:116-22. doi:10.1093/eurheartj/ehw249.
9. Dikunets MA, Dudko GA, Shachnev EN, et al. Development of overtraining syndrome: survey of hypotheses. *Sports medicine: research and practice.* 2019;9(2):5-14 (in Russ.) Дикунец М.А., Дудко Г.А., Шачнев Е.Н. и др. Анализ гипотез развития синдрома перетренированности. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2019;9(2):5-14. doi:10.17238/ISSN2223-2524.2019.2.5.
 10. Kreher JB, Schwartz JB. Overtraining syndrome: a practical guide. *Sports Health.* 2012;4(2):128-38. doi:10.1177/1941738111434406.
 11. D'Ascenzi F, Caselli S, Alvino F, et al. Cardiovascular risk profile in Olympic athletes: an unexpected and underestimated risk scenario. *Br J Sports Med.* 2019;53(1):37-42. doi:10.1136/bjsports-2018-099530.
 12. Mitchell JH, Haskell W, Snell P, Van Camp SP. Task Force 8: Classification of Sports. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45(8):1364-7. doi:10.1016/j.jacc.2005.02.015.
 13. Pelliccia A, Caselli S, Sharma S, et al. European Association of Preventive Cardiology (EAPC) and European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) joint position statement: recommendations for the indication and interpretation of cardiovascular imaging in the evaluation of the athlete's heart. *Eur Heart J.* 2018;39:1949-69. doi:10.1093/eurheartj/ehx532.
 14. Garganeeva NP, Taminova IF, Tyukalova LI, et al. The influence of dynamic and static physical exercises on the parameters of intracardiac hemodynamics and physical endurance in higher-level sportsmen. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2015;14(5):60-6. (In Russ.) Гарганеева Н.П., Таминова И.Ф., Тюкалова Л.И. и др. Влияние динамических и статических физических нагрузок на показатели внутрисердечной гемодинамики и физической работоспособности у квалифицированных спортсменов. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика.* 2015;14(5):60-6. doi:10.15829/1728-8800-2015-5-60-66.
 15. Pelliccia A, Sharma S, Gati S, et al., ESC Scientific Document Group. 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease: The Task Force on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease of the European Society of Cardiology (ESC). *Russian Journal of Cardiology.* 2021;26(5):4488. (In Russ.) Pelliccia A, Sharma S, Gati S, et al., от имени рабочей группы ESC. Рекомендации ESC по спортивной кардиологии и физическим тренировкам у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями 2020. *Российский кардиологический журнал.* 2021;26(5):4488. doi:10.15829/1560-4071-2021-4488.