

УДК: 591.112.2 / 3

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2024.1.310

ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ КАРДИОГЕМОДИНАМИКИ ЛОШАДЕЙ МЕТОДОМ ОБЪЕМНОЙ КОМПРЕССИОННОЙ ОСЦИЛЛОМЕТРИИ

Степура Е.Е. – канд. биол. наук, доц. кафедры биологии и физиологии человека (ORCID 0000-0002-0554-6331)

ГАОУ ВО г. Москвы, Московский городской педагогический университет,
Институт естествознания и спортивных технологий

*Chimik89@mail.ru

Ключевые слова: осциллометрия кардиогемодинамическая, лошади, сердце, сердечно-сосудистая система.

Key words: oscillometry, cardiohemodynamic, horses, heart, cardiovascular system.

Поступила: 25.12.2023

Принята к публикации: 25.03.2024

Опубликована онлайн: 02.04.2024



РЕФЕРАТ

Сердечно-сосудистая система человека и животных, представляет собой комплекс органов, обеспечивающих снабжение всех участков организма (за небольшим исключением) необходимыми веществами и удаляющих продукты жизнедеятельности. Именно сердечно-сосудистая система обеспечивает все участки тела необходимым кислородом и является основой жизни. В настоящее время не теряют актуальности исследования проблемы поддержания оптимального уровня благополучия, оценка функционального состояния и улучшения адаптационных возможностей животных. Значимым направлением в этой области является исследование деятельности сердечно-сосудистой системы (ССС), для параметров которой характерна высокая реактивность и важная роль в осуществлении адаптационных механизмов организма животных. Сердечно-сосудистые заболевания, остаются главной причиной смертности в большинстве случаев как человека, так и животных. Во многом решение этой проблемы зависит от своевременной и эффективной диагностики изменений в миокарде. Главная цель исследовательской работы установить показатели кардиогемодинамических значений и проанализировать их у лошадей. В наших исследованиях для измерения и дальнейшего анализа показателей центральной и периферической гемодинамики использовали аппаратно-программный комплекс неинвазивного исследования центральной гемодинамики методом объемной компрессионной осциллометрии КАП ЦГосм-«Глобус» (анализатор показателей кровообращения осциллометрический). У лошадей в ходе исследования получили средние числовые значения миокардиально-гемодинамических показателей: разные виды артериального давления, сосудистые характеристики и показатели сердечной деятельности. При математическом анализе показатели гемодинамики установили значения показателей кардиогемодинамики. В связи с этим оценку этих параметров целесообразно включить в базовый набор комплекса методик диагностики заболеваний сердца у лошадей. Изучение сердечно-сосудистой системы имеет большое значение в ветеринарной лечебно-профилактической работе.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Сердечно-сосудистая система человека и животных, представляет собой комплекс органов, обеспечивающих снабжение всех участков организма (за небольшим исключением) необходимыми веществами и удаляющих продукты жизнедеятельности. Именно сердечно-сосудистая система обеспечивает все участки тела необходимым кислородом и является основой жизни [5].

Заболеваемость животных и человека болезнями сердечно-сосудистой системы является одной из наиболее значимых проблем во всем мире [8].

Сердечно-сосудистая заболеваемость (ССЗ) характеризуется высокой летальностью [3, 7].

В настоящее время в практике функциональной диагностики применяется весьма значительное количество методов и методик, которые позволяют оценивать не только отдельные параметры движения и перераспределения крови в организме человека и животных, но и функции отдельных звеньев сердечно-сосудистой системы, осуществляющих эти процессы. Исследование особенностей гемодинамики призвано решить две основные задачи: выявить общие закономерности функционирования кардиоваскулярной системы и определить индивидуальные особенности ведущих показателей кровообращения, что используется для решения различных практических задач, в частности, при диагностике нарушений гемодинамики [1, 2, 4].

Производительность сердца – важнейший параметр, используемый для диагностики и терапии широчайшего спектра заболеваний и состояний.

Одним из приоритетных направлений в профилактической медицине является донозологическая диагностика, позволяющая оценить уровень здоровья и контролировать здоровье животного при различных функциональных состояниях в динамике [2, 6].

Для адекватного кровоснабжения органов и тканей в организме человека и животных существует многоконтурная

система регуляции, в которой выделяют два основных уровня: региональный и центральный [10-19].

Однако в отечественных и зарубежных источниках отсутствуют данные параметров кардиогемодинамики у лошадей и подобные исследования физиологических особенностей кровообращения ранее не проводились и в доступной научной литературе не описаны.

Цель исследований – изучение показателей кардиогемодинамики у лошадей для оценки возможности включения их в комплексный подход к анализу функционирования сердца у данных животных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследовано было 150 клинически здоровых лошадей, которые содержались в одинаковых условиях.

Исследования проводились в Конном Клубе «Рязанский табунок» Требухино (поселок Ласковский, Рязань), КСК «Росинант» (Рязанская область, д. Хирино), Пермский племенной конный завод №9 (Рязанская область, Сапожковский район, Село Черная Речка).

Объектом исследования являлись лошади в возрасте от 2 до 23 лет, находились в активном тренинге, а также использовались в прокате для обучения верховой езде, вес в среднем составил 550,78 кг, породы – орловская рысистая, русская рысистая, американская рысистая и ганноверская.

Во время регистрации показателей гемодинамики, лошадей фиксировали с помощью недоуздка на развязках. Опыты проводили в утренние или дневные часы за 1 час до кормления / тренинга или спустя 1 час после.

В нашем исследовании для измерения и дальнейшего анализа показателей центральной и периферической гемодинамики мы использовали аппаратно-программный комплекс неинвазивного исследования центральной гемодинамики методом объемной компрессионной осциллометрии с использованием прибора КАП ЦГосм-«Глобус» (анализатор показателей кровообращения осциллометри-

ческий).

В настоящий момент, существует большое количество разнообразных методов, которые позволяют получить большой спектр показателей центральной и периферической гемодинамике. Исследование проводилось на хвостовой артерии у клинически здоровых лошадей.

Исследование показателей гемодинамики проводилось согласно требованиям, предъявляемым к методике объемной компрессионной осциллометрии (ОКО). При проведении измерения на хвостовую артерию исследуемых животных – лошадей накладывалась манжета, соединенная с измерительным блоком. Компрессия манжеты, запись осциллограммы и анализ данных выполнялись автоматически.

Оценка состояния сердечно-сосудистой системы производилась на основании показателей, регистрируемых в результате измерения. Нами изучались следующие показатели: систолическое артериальное давление (САД) и диастолическое артериальное давление (ДАД), боковое артериальное давление (БАД), среднее артериальное давление (СрАД), пульсовое артериальное давление (АДп), скорость пульсового артериального давления (СКАДп), частота сердечных сокращений (ЧСС), сердечный выброс (СВ), сердечный индекс (СИ), ударный (или систолический) объем сердца (УО), ударный индекс (УИ), объемная скорость выброса (ОСВ), мощность сокращения левого желудочка (МСЛЖ), расход энергии (РЭ), скорость кровотока линейная (СКлин), скорость распространения пульсовой волны (СПВ), податливость сосудистой системы (ПСС), общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС) и удельное периферическое сопротивление сосудов (УПСС).

Клинические исследования включали в себя пальпацию, перкуссию и аускультацию в строгом соответствии с методикой клинического обследования животных по Б.В. Уша [9].

Обработку полученного материала проводили в программе Statistica 10.0 for Windows и рассчитывали следующие па-

раметры: среднее арифметическое (М), ошибку среднего арифметического (m).

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты исследования оценки состояния центрального гемодинамического статуса у 150 лошадей методом компрессионной объемной осциллометрии (КОО) позволил установить различные параметры центрального и периферического кровообращения.

Осциллограмма исследуемой лошади по кличке Лист представлена на рисунке 1.

Автоматизированный анализ осциллограмм позволяет уточнять абсолютные значения интегрированных показателей гемодинамики.

Получены средние значения миокардиально-гемодинамических показателей: разные виды артериального давления, сосудистые характеристики и показатели сердечной деятельности, представлены в таблица 1, 2, 3.

При анализе полученных данных становится возможным определение таких показателей артериального давления (АД), как среднее (АДср), боковое (АДбок), пульсовое (АДп), ударное (АДуд), а также скорости и характера нарастания пульсовой волны, что, в свою очередь, позволяет оценить эластотонические свойства сосудистой стенки.

Артериальное давление – это энергия, с которой движущаяся кровь давит на стенки артерий. В связи с ритмической работой сердца кровяное давление в артериальной системе периодически колеблется, повышаясь во время систолы и снижаясь во время диастолы. Систолическое артериальное давление составило $115,91 \pm 12,3$ мм рт. ст., а диастолическое – $65,02 \pm 7,39$ мм рт. ст.

Пульсовое давление (АДп) вычисляется как разница между систолическим и диастолическим давлением, составило $50,89 \pm 6,2$ мм рт. ст.

Среднее артериальное давление (АДср) – это среднее значение давления в артериях во время систолы и диастолы сердца, для исследуемых лошадей составило $82,1 \pm 3,27$ мм рт. ст.

Таблица 1 – Средние показатели гемодинамики артериального давления лошадей с помощью метода объемной компрессионной осциллометрии, (n=150), M±m

Показатель	Ед. изм.	M±m
Систолическое артериальное давление	мм рт. ст.	115,91±12,3
Диастолическое артериальное давление	мм рт. ст.	65,02±7,39
Боковое артериальное давление	мм рт. ст.	99,83±7,2
Среднее артериальное давление	мм рт. ст.	82,1±3,27
Артериальное давление пульсовое	мм рт. ст.	50,89±6,2
Скорость пульсового артериального давления	мм рт. ст.	213,2±9,14
Артериальное давление ударное	мм рт. ст.	30,05±0,81

Таблица 2 – Средние показатели гемодинамики сердечной деятельности лошадей с помощью метода объемной компрессионной осциллометрии, (n=150), M±m

Показатель	Ед. изм.	M±m
Пульс	уд/мин	42,78±9,5
Сердечный выброс	л/мин	35,07±4,79
Сердечный индекс	л/мин ²	2,48±0,06
Ударный объем	мл	486,3±23,3
Ударный индекс	мл	1,62±0,7
Объемная скорость выброса	мл/с	497,71±14,92
Мощность сокращения ЛЖ	Вт	5,51±0,22
Расход энергии на 1 л СВ за минуту	Вт	10,96±0,23

Таблица 3 – Средние значения сосудистых показателей гемодинамики лошадей с помощью метода объемной компрессионной осциллометрии, (n=150), M±m

Показатель	Ед. изм.	M±m
Скорость кровотока линии	см/с	47,61±1,26
Скорость пульсовой волны	см/с	787,55±31,98
Податливость сосудистой системы	мл/мм рт. ст.	2,91±0,07
Общее периферическое сопротивление сосудов	дин*сек ⁻⁵ /см	708,19±17,29
Удельное периферическое сопротивление	усл. ед	35,19±0,85

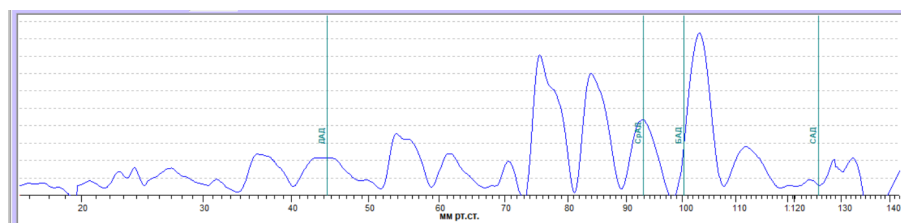


Рисунок 1 – Осциллограмма исследуемой лошади по кличке Лист.

Пульсовое и среднее артериальное давление оценивают работу сердечно-сосудистой системы и состояние артерий.

Скорость распространения пульсовой волны зависит от растяжимости сосудистой стенки и отношения толщины стен-

ки к радиусу сосуда. Данный показатель используют для характеристики упруго-эластических свойств и тонуса сосудистой стенки. В норме для исследуемых лошадей показатель составил 213,2±9,14 мм рт. ст.

Боковое артериальное давление – это давление, которое испытывает внутренняя стенка сосуда (артерии) во время систолы. Клиническое значение бокового систолического значения состоит в том, что по его уровню определяется истинное давление во время систолы и истинная пульсовая амплитуда, что составило для исследуемых животных – $99,83 \pm 1,45$ мм рт. ст.

Ударное давление отражает деятельность сердца и состояние стенок сосудов, что составило для исследуемых животных – $30,05 \pm 0,81$ мм рт. ст.

Сердечным выбросом называют количество крови, выбрасываемое правым или левым желудочком в единицу времени. В норме эта величина варьирует в широких пределах, при необходимости сердечный выброс может увеличиваться более чем в пять раз по сравнению с уровнем покоя. Данный показатель позволяет оценить эффективность работы сердца и кровообращения в организме. Поскольку желудочки соединены последовательно, их выбросы при каждом сокращении должны быть примерно одинаковы, что составило $35,07 \pm 4,79$ л/мин.

Сердечный индекс (КИ) – это гемодинамический параметр, который связывает сердечный выброс (СО) из левого желудочка за одну минуту с площадью поверхности тела (БСА), таким образом, связывая работу сердца с размером человека и животных, для лошадей данный показатель составил $2,48 \pm 0,06$ л/мин².

Ударный объем сердца – объем, который левый желудочек выбрасывает в аорту (а правый – в легочный ствол) за одно сокращение, для исследуемых животных он составил $486,3 \pm 23,3$ мл.

Ударный индекс (УИ) используется для оценки адекватности объема выброса к потребностям организма и для лошадей составил $1,62 \pm 0,7$ мл/кг.

Объемная скорость кровотока – количество крови, протекающее через поперечное сечение сосуда в единицу времени. Объемная скорость кровотока через сосуд прямо пропорциональна давлению крови в нем и обратно пропорциональна

сопротивлению току крови в этом сосуде, для исследуемых животных – $494,71 \pm 14,92$ мл/с.

Мощность сокращения левого желудочка (МСЛЖ) – работа, выполняемая левым желудочком в единицу времени, например, в 1 сек, для животных составило $5,51 \pm 0,22$ Вт.

Расход энергии на передвижение одного литра крови (РЭ) – мера напряжения, или энергии, развиваемой сократительным миокардом при выполнении им работы по передвижению крови в замкнутой системе сосудов, для исследуемых животных данный показатель составил $10,96 \pm 0,23$ Вт.

Линейная скорость кровотока – это путь, который проходит кровь по сосудам за единицу времени. Под линейной скоростью кровотока понимается скорость перемещения частиц крови вдоль сосуда при ламинарном потоке, что составило $47,61 \pm 1,26$ см/с.

Скорость пульсовой волны (PWV) – это скорость, с которой пульс кровяного давления распространяется по системе кровообращения, обычно по артериям или по совокупности артерий, для лошадей составило $787,55 \pm 31,98$ см/с.

Податливость сосудистой системы – это способность полого органа (сосуда) растягиваться и увеличивать объем при увеличении трансмурального давления или тенденция полого органа сопротивляться возвращению к своим первоначальным размерам при приложении растягивающей или сжимающей силы $2,91 \pm 0,07$ мл/мм рт. ст.

Общее периферическое сосудистое сопротивление (ОПСС) – сопротивление в большом круге кровообращения, создаваемое артериолами потоку крови. ОПСС создает силу, которую должна преодолеть сокращающаяся мышца сердца, для лошадей составила $708,19 \pm 17,29$ дин*сек⁵/см.

Удельное периферическое сопротивление в условиях покоя (основного обмена) является величиной достаточно постоянной и колеблется у здоровых лошадей в среднем $35,19 \pm 0,85$ усл.ед.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Оценке гемодинамики методом ОКО присущи очевидные достоинства: исключительная простота использования метода, абсолютная безопасность, отсутствие дополнительных датчиков и расходных материалов. Следует, однако, помнить, что у объемно-компрессионной осциллометрии есть ограничения, свойственные любому методу, основанному на анализе пульсовой волны.

Полученные показатели отражают состояние и работу сердечно-сосудистой системы. Они характеризуют кровоток и все его основные характеристики, такие как объем циркулирующей крови, скорость движения, сосудистое сопротивление и давление в них.

Измерение кардиогемодинамических показателей позволит дать оценку работе сердца, а также определить наличие патологий и контролировать эффективность лечения.

Значения данных гемодинамических показателей заключается в том, что они позволяют оценить состояние кровообращения и сердечной функции животного.

ASSESSMENT OF PHYSIOLOGICAL FEATURES OF EQUINE CARDIOHEMODYNAMICS BY VOLUMETRIC COMPRESSION OSCILLOMETRY

Stepura E. E. – Ph.D. Sc., Associate Professor, Department of Biology and Human Physiology,

State Autonomous Educational Institution of Higher Education in Moscow, Moscow City Pedagogical University, Institute of Natural Sciences and Sports Technologies

*Chimik89@mail.ru

ABSTRACT

The cardiovascular system of humans and animals is a complex of organs that ensure the supply of all parts of the body (with a few exceptions) with necessary substances and remove waste products. It is the cardiovascular system that provides all parts of the body with the necessary oxygen and is the basis of life. Currently, research into the problems of maintaining an optimal level of

well-being, assessing the functional state and improving the adaptive capabilities of animals continues to be relevant. A significant direction in this area is the study of the activity of the cardiovascular system (CVS), the parameters of which are characterized by high reactivity and an important role in the implementation of adaptive mechanisms of the animal body. Cardiovascular diseases remain the leading cause of death in most cases in both humans and animals. In many ways, the solution to this problem depends on timely and effective diagnosis of changes in the myocardium. The main goal of the research work is to establish indicators of cardiohemodynamic values and analyze them in horses. In our studies, to measure and further analyze indicators of central and peripheral hemodynamics, we used a hardware-software complex for non-invasive study of central hemodynamics using the method of volumetric compression oscillometry KAP TsGosm-“Globus” (oscillometric analyzer of blood circulation indicators). In horses, during the study, average numerical values of myocardial-hemodynamic parameters were obtained: different types of blood pressure, vascular characteristics and indicators of cardiac activity. Mathematical analysis of hemodynamic indicators established the values of cardiohemodynamic indicators. In this regard, it is advisable to include the assessment of these parameters in the basic set of methods for diagnosing heart diseases in horses. The study of the cardiovascular system is of great importance in veterinary treatment and prophylactic work.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1.Аверьянова И.В., Максимов А.Л. Особенности морфофункциональных профилей и межсистемных взаимосвязей у юношей – уроженцев Севера с различным типом вегетативной регуляции // Экология человека. 2016. № 9. С. 21–29.
- 2.Баевский Р.М., Берсенева А.П., Берсенева Е.Ю., Ешманова А.К. Использование принципов донозологической диагностики для оценки функционального состояния организма при стрессорных воздействиях. Физиология человека. 2009;35

- (1):41-51.
- 3.Бисярина В.П., Яковлев В.М., Кукса П.Я. Артериальные сосуды и возраст. М.: Медицина. 1986. 224 с.
 - 4.Васюк Ю.А., Иванова С.В., Школьник Е.Л., Котовская Ю.В., Милягин В.И. и др. Согласованное мнение российских экспертов по оценке артериальной жесткости в клинической практике // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2016. № 15 (2). С. 4–19.
 - 5.Ефремушкин Г.Г., Денисова Е.А., Филиппова Т.В. Гемодинамика в магистральных артериях у здоровых людей молодого возраста // Российский кардиологический журнал. 2009. № 1 (75). С. 18–23.
 - 6.Левушкин С.П. Комплексная оценка физической работоспособности юношей // Физиология человека. 2001. Т. 27. № 5. С. 68.
 - 7.Начкина Э.И. Ремоделирование сердца у больных артериальной гипертензией без нарушения углеводного обмена и при сочетании с сахарным диабетом II типа // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2009. № 8 (2). С. 39–45.
 - 8.Серебряков П.В., Серебрякова О.Д., Яцына И.В., Соболевская О.В., Яцына Д.С. Оценка риска развития сердечно-сосудистой патологии у подростков. Здравоохранение Российской Федерации. 2016;60(2):70-76.
 - 9.Уша, Б.В. Клиническая диагностика внутренних незаразных болезней животных /Б.В. Уша, И.М. Беляков, Р.П. Пушкарев; под редакцией В. Н. Сайтаниди. – 2-е изд. — Санкт-Петербург: Квадро, 2021.
 - 10.Mangoni A.A., Mircoli L., Giannattasio C. Heart rate-dependence of arterial distensibility in vivo. J. Hypertens. 1996; 14: 897–901.
 - 11.Asmar R., Topouchian J., Pannier B. et. al. Reversion of arterial abnormalities by long-term antihypertensive therapy in a large population. J. Hypertens. 1999.
 - 12.Heffernan K.S., Patvardhan E.A., Hession M., Ruan J., Karas R.H., Kuvin J.T. Elevated augmentation index derived from peripheral arterial tonometry is associated with abnormal ventricular-vascular coupling. Clin. Phys. Funct. Imag. 2010; 30 (5): 313–317.
 - 13.Boutouyrie P., Tropeano A.I., Asmar R. Aortic stiff ness is an independent predictor of primary coronary events in hypertensive patients. Hypertension. 2002; 39: 10–15.
 - 14.Oliver J.J., Webb D.J. Noninvasive assessment of arterial stiff ness and risk of atherosclerotic events. Arterioscler. Tromb. Vasc. Biol. 2003; 23: 554–566.
 - 15.Vasan R.S., Levy D. Changes in arterial stiff ness and wave reflection with advancing age in healthy men and women: the Framingham Heart Study. Hypertension. 2004; 43: 1239–1245.
 - 16.Mitchell G.F., Guo C.Y., Benjamin E.J., Larson M.G., Keyes M.J., Vita J.A., Vasan R.S., Levy D. Cross-sectional correlates of increased aortic stiff ness in the community: the Framingham Heart Study. Circulation. 2007; 115: 2628–2636.
 - 17.Cavalcante J.L., Lima J.A., Redheuil A., AlMallah M.H. Aortic stiff ness: current understanding and future directions. J. Am Coll. Cardiol. 2011; 57 (14): 1511–1522.
 - 18.Laurent S., Boutouyrie P., Asmar R., Gautier I., Laloux B., Guize L., Ducimetiere P., Benetoset A. Aortic stiff ness is an independent predictor of all-cause and cardiovascular mortality in hypertensive patients. Hypertension. 2001; 37: 1236.
 - 19.Arnett D.K., Evans G.W., Riley W.A. Arterial stiff ness: a new cardiovascular risk factor? Am J. Epidemiol. 1994; 15: 669–682.
 - 20.Laurent S., Cockcroft J., Van Bortel L. On behalf of the European Network of Non-invasive Investigation of large Arteries. Expert consensus document on arterial stiff ness: methodological issues and clinical application. Eur. Heart J. 2006; 27: 2588–2605.

REFERENCES

- 1.Averyanova I.V., Maksimov A.L. Features of morphofunctional profiles and intersystem relationships in young men - natives of the North with different types of autonomic regulation // Human Ecology. 2016. No. 9. pp. 21–29.
- 2.Baevsky R.M., Berseneva A.P., Bersenev E.Yu., Eshmanova A.K. Using the principles

- of prenosological diagnostics to assess the functional state of the body under stress influences. *Human physiology*. 2009;35(1):41-51.
3. Bisyarina V.P., Yakovlev V.M., Kuksa P.Ya. Arterial vessels and age. M.: Medicine. 1986. 224 p.
4. Vasyuk Yu.A., Ivanova S.V., Shkolnik E.L., Kotovskaya Yu.V., Milyagin V.I. and others. Consensus opinion of Russian experts on the assessment of arterial stiffness in clinical practice // *Cardiovascular therapy and prevention*. 2016. No. 15 (2). pp. 4–19.
5. Efremushkin G.G., Denisova E.A., Filipova T.V. Hemodynamics in the main arteries in healthy young people // *Russian Journal of Cardiology*. 2009. No. 1 (75). pp. 18–23.
6. Levushkin S.P. Comprehensive assessment of the physical performance of young men // *Human Physiology*. 2001. T. 27. No. 5. P. 68.
7. Nachkina E.I. Cardiac remodeling in patients with arterial hypertension without impaired carbohydrate metabolism and in combination with type II diabetes mellitus // *Cardiovascular therapy and prevention*. 2009. No. 8 (2). pp. 39–45.
8. Serebryakov P.V., Serebryakova O.D., Yatsyna I.V., Sobolevskaya O.V., Yatsyna D.S. Assessing the risk of developing cardiovascular pathology in adolescents. Healthcare of the Russian Federation. 2016;60(2):70-76.
9. Usha, B.V. Clinical diagnosis of internal non-contagious animal diseases / B.V. Usha, I.M. Belyakov, R.P. Pushkarev; edited by V. N. Saitanidi. – 2nd ed. — St. Petersburg: Quadro, 2021.
10. Mangoni A.A., Mircoli L., Giannattasio C. Heart rate-dependence of arterial distensibility in vivo. *J. Hypertens*. 1996; 14:897–901.
11. Asmar R., Topouchian J., Pannier B. et. al. Reversion of arterial abnormalities by long-term antihypertensive therapy in a large population. *J. Hypertens*. 1999.
11. Heffernan K.S., Patvardhan E.A., Hession M., Ruan J., Karas R.H., Kuvin J.T. Elevated augmentation index derived from peripheral arterial tonometry is associated with abnormal ventricular-vascular coupling. *Clin. Phys. Funct. Imag*. 2010; 30 (5): 313–317.
12. Boutouyrie P., Tropeano A.I., Asmar R. Aortic stiffness is an independent predictor of primary coronary events in hypertensive patients. *Hypertension*. 2002; 39: 10–15.
13. Oliver J.J., Webb D.J. Noninvasive assessment of arterial stiffness and risk of atherosclerotic events. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol*. 2003; 23:554–566.
14. Vasan R.S., Levy D. Changes in arterial stiffness and wave reflection with advancing age in healthy men and women: the Framingham Heart Study. *Hypertension*. 2004; 43:1239–1245.
15. Mitchell G.F., Guo C.Y., Benjamin E.J., Larson M.G., Keyes M.J., Vita J.A., Vasan R.S., Levy D. Cross-sectional correlates of increased aortic stiffness in the community: the Framingham Heart Study. *Circulation*. 2007; 115:2628–2636.
16. Cavalcante J.L., Lima J.A., Redheuil A., AlMallah M.H. Aortic stiffness: current understanding and future directions. *J. Am Coll. Cardiol*. 2011; 57 (14): 1511–1522.
17. Laurent S., Boutouyrie P., Asmar R., Gautier I., Laloux B., Guize L., Ducimetiere P., Benetoset A. Aortic stiffness is an independent predictor of all-cause and cardiovascular mortality in hypertensive patients. *Hypertension*. 2001; 37:1236.
18. Arnett D.K., Evans G.W., Riley W.A. Arterial stiffness: a new cardiovascular risk factor? *Am J Epidemiol*. 1994; 15:669–682.
19. Laurent S., Cockcroft J., Van Bortel L. On behalf of the European Network of Non-invasive Investigation of large Arteries. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical application. *Eur. Heart J*. 2006; 27:2588–2605.