



Научная статья
УДК 004.42:616.12
DOI: 10.37482/2687-1491-Z212

Нормативные интервалы и цифровое приложение для оценки параметров эхокардиографии детей Архангельской области

Алексей Андреевич Карякин* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4458-8702>
Игорь Сергеевич Чуб** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8593-2808>
Ольга Евгеньевна Карякина** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0781-0164>
Андрей Мечиславович Гржибовский* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5464-0498>
Алексей Владиславович Артемов*** ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2905-9549>
Ульяна Романовна Захарченко** ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3685-7886>

*Северный государственный медицинский университет
(Архангельск, Россия)

**Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
(Архангельск, Россия)

***Архангельская областная детская клиническая больница имени П.Г. Выжлецова
(Архангельск, Россия)

Аннотация. Актуальность проблемы объективной интерпретации результатов эхокардиографии среди детского населения определяется сложностями в идентификации корректной кардиоваскулярной аллометрической связи. Широкое использование существующих в детской кардиологии эхокардиографических номограмм затруднено ввиду отсутствия четких сведений о региональной принадлежности обследуемых, объеме проанализированных выборок, а также недостаточности числа отечественных научных работ в данной области. **Целью** исследования является разработка нормативных интервалов варьирования значений параметров эхокардиографии для детей Архангельской области и автоматизация процесса интерпретации результатов путем создания цифрового приложения. **Материалы и методы.** Проанализированы 3811 протоколов эхокардиографии детей, проживающих в Архангельской области, в возрасте от 1 года до 15 лет без признаков органической патологии со стороны сердечно-сосудистой системы и нарушений ритма сердца. **Результаты.** Разработаны референтные интервалы морфометрических параметров сердца детей Архангельской области от 1 года до 15 лет по данным эхокардиографии. В исследовании использован подход Z-score, основанный на эмпирическом определении степени нарушений по величине стандартного отклонения от нормальных значений, полученных при обследовании большой совокупности здоровых лиц.

© Карякин А.А., Чуб И.С., Карякина О.Е., Гржибовский А.М., Артемов А.В., Захарченко У.Р., 2024

Ответственный за переписку: Ольга Евгеньевна Карякина, *адрес:* 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; *e-mail:* o.travnikova@narfu.ru

Нормативные интервалы параметров эхокардиографии определялись с использованием в качестве результирующей переменной площади поверхности тела. Автоматический расчет величин реализован путем создания цифрового приложения, позволяющего повысить точность и эффективность интерпретации параметров ультразвукового исследования сердца. Результаты изучения различий между должными величинами в работах российских и зарубежных авторов и полученными региональными нормами свидетельствуют, что размеры сердца детей, проживающих на территории Архангельской области, статистически значимо ниже. Использование в практической деятельности врачей функциональной диагностики созданного цифрового приложения позволит объективизировать результаты измерения морфометрических параметров сердца, снизить долю случаев гипердиагностики.

Ключевые слова: эхокардиография, дети Архангельской области, развитие сердца у детей, морфометрические параметры сердца у детей, медицинский калькулятор, взаимосвязь морфофункциональных показателей, нормативные интервалы

Финансирование. Работа выполнена при поддержке министерства экономического развития, промышленности и науки Архангельской области, соглашение № 3 от 28.03.2023.

Для цитирования: Нормативные интервалы и цифровое приложение для оценки параметров эхокардиографии детей Архангельской области / А. А. Карякин, И. С. Чуб, О. Е. Карякина, А. М. Гржибовский, А. В. Артемов, У. Р. Захарченко // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 4. – С. 443-454. – DOI 10.37482/2687-1491-Z212.

Original article

Reference Intervals for Echocardiography Parameters of Children Living in the Arkhangelsk Region and a Digital Application for Their Assessment

Aleksey A. Karyakin* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4458-8702>

Igor' S. Chub** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8593-2808>

Ol'ga E. Karyakina** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0781-0164>

Andrey M. Grjibovski* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5464-0498>

Aleksey V. Artemov*** ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2905-9549>

Ul'yana R. Zakharchenko** ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3685-7886>

*Northern State Medical University
(Arkhangelsk, Russia)

**Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russia)

***Vyzhletsov Arkhangelsk Regional Children's Clinical Hospital
(Arkhangelsk, Russia)

Corresponding author: Ol'ga Karyakina, address: nab. Severnoy Dviny 17, Arkhangelsk, 163000, Russia;
e-mail: o.travnikova@narfu.ru

Abstract. Objective interpretation of echocardiography results in the paediatric population is an urgent issue due to the difficulties in identifying the correct cardiovascular allometric relationship. A wide use of existing echocardiographic nomograms in paediatric cardiology is problematic due to the lack of clear data on the subjects' regional affiliation, the volume of samples analysed, and the insufficient number of Russian studies in this sphere. The **purpose** of the study was to develop reference intervals for echocardiography parameters of children living in the Arkhangelsk Region and to automate the process of interpretation of the results by creating a digital application. **Materials and methods.** We analysed 3811 echocardiography protocols of children living in the Arkhangelsk Region aged from 1 to 15 years with no signs of organic pathology of the cardiovascular system or heart rhythm disorders. **Results.** Using echocardiography data, we developed reference intervals for morphometric parameters of the heart for children aged 1 to 15 years living in the Arkhangelsk Region. The research applied the Z-score approach based on the empirical determination of the degree of abnormalities by the standard deviation from normal values obtained during the examination of a large population of healthy individuals. Reference intervals of echocardiography parameters were determined using body surface area as the dependent variable. The values were automatically calculated in our digital application that allows one to increase the accuracy and efficiency of interpretation of cardiac ultrasound parameters. The results of studying the differences between the reference values in Russian and foreign studies and the obtained regional norms indicate that the hearts of children living in the Arkhangelsk Region are statistically significantly smaller in size. The practical use of the digital application created by us in functional diagnostics will allow doctors to objectivize the measurements of morphometric parameters of the heart and reduce overdiagnosis.

Keywords: *echocardiography, children of the Arkhangelsk Region, heart development in children, morphometric parameters of the heart in children, medical calculator, interrelation of morphofunctional parameters, reference intervals*

Funding. The research was supported by the Ministry of Economic Development, Industry and Science of the Arkhangelsk Region, Agreement no. 3 of 28 March 2023.

For citation: Karyakin A.A., Chub I.S., Karyakina O.E., Grjibovski A.M., Artemov A.V., Zakharchenko U.R. Reference Intervals for Echocardiography Parameters of Children Living in the Arkhangelsk Region and a Digital Application for Their Assessment. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 4, pp. 443–454. DOI: 10.37482/2687-1491-Z212

Дети в силу незавершенности морфофункционального развития органов и систем являются одной из наиболее уязвимых категорий населения. На формирование здоровья подрастающего поколения влияет значительное количество факторов риска, среди которых можно выделить несбалансированное питание, неудовлетворительную экологическую обстановку, отсутствие надлежащих гигиенических условий, несоблюдение научно обоснованных условий обучения и характера учебного процесса [1]. Исследованию возрастных особенностей сердечно-сосудистой системы растущего организма, ее адаптации к условиям среды, фи-

зическим и умственным нагрузкам посвящено большое количество работ. Состояние данной системы в детском возрасте можно рассматривать как индикатор адаптационно-приспособительной деятельности целостного организма [2, 3]. Климатозоологические и социально-экономические особенности Архангельской области снижают возможности резервных гомеостатических механизмов уже с периодов эмбрио- и фетогенеза, что выражается в напряжении функционирования системы гемодинамики.

Неотъемлемой составляющей клинической оценки в детской кардиологической практике являются количественные измерения морфо-

метрических параметров сердца с использованием одного из самых информативных и перспективных методов инструментальной диагностики – эхокардиографии (ЭхоКГ) в М- и В-режимах [4]. Важность стандартизации эхокардиографических измерений стала очевидной достаточно давно, а рекомендации по их оценке можно назвать одними из наиболее цитируемых документов в этой сфере медицинской визуализации. Диагностика состояния сердца по данным ЭхоКГ у детей разного возраста имеет ряд особенностей, обусловленных прежде всего необходимостью оценки практически всех размерных показателей в соответствии с массой и площадью поверхности тела (ППТ) ребенка, а также морфогенезом отдельных структур сердца в различные периоды жизни [5].

С учетом указанных особенностей решающее значение для интерпретации результатов ЭхоКГ имеет идентификация корректной кардиоваскулярной аллометрической связи, под которой понимают оценку роста сердечных структур по отношению к соматическому росту [6]. При этом наиболее часто встречающаяся смежная проблема заключается в некорректной оценке исследуемых показателей у детей с крайними вариантами соматической конституции [7]. Вариабельность интерпретации морфометрических параметров сердца, недопонимание оптимальных подходов к оценке его истинных размеров потенциально могут привести на практике к неправильной трактовке изучаемых данных [8]. Очевидным становится и то, что для объективной оценки эхокардиографических данных размеры сердца должны сравниваться с нормальными значениями в популяции, в т. ч. с учетом региональной принадлежности детей.

Характеристике параметров сердца детей Европейского Севера России по данным ЭхоКГ посвящено сравнительно небольшое количество публикаций. В работах А.В. Грибанова и И.Н. Крайновой показано значительное влияние суровых климатических условий на

здоровье детей, в частности на процесс формирования растущего организма, состояние и развитие сердечно-сосудистой системы [9, 10]. Тем не менее по-прежнему отсутствуют нормативные интервалы для стандартизированной оценки морфометрических параметров сердца детей Архангельской области, охватывающие все возрастные группы и определенные на основе репрезентативных выборок. Нерешенным также остается вопрос о формате использования методов оценки в практической деятельности врачей функциональной диагностики, которые зачастую выполняют сравнение измеренных величин с опубликованными Ю.М. Белозеровым табличными данными [11]. Эхокардиографические номограммы для педиатрии доступны благодаря современным цифровым инструментам (онлайн-калькуляторам, приложениям для смартфонов), но широкое использование подобных ресурсов затруднено ввиду отсутствия четких сведений о региональной принадлежности детей, объемах проанализированных выборок, а также составе иностранных референтных популяций.

Целью исследования является разработка нормативных интервалов варьирования значений параметров ЭхоКГ для детей Архангельской области и автоматизация процесса интерпретации результатов путем создания цифрового приложения.

Материалы и методы. Расчет минимальной величины репрезентативной выборки для формирования нормативных интервалов морфометрических параметров сердца проводился по формуле для определения объема случайной бесповторной выборки, полученное значение составило 3212 детей. В дальнейшем были проанализированы 3811 протоколов ЭхоКГ детей, проживающих в Архангельской области, в возрасте от 1 года до 15 лет без признаков органической патологии со стороны сердечно-сосудистой системы и нарушений ритма сердца. Данный возрастной промежуток выбран как наиболее репрезентативный. Так, дети в возрасте менее 1 года были исключены из выбор-

ки, поскольку их ультразвуковое обследование сопряжено со значительными трудностями (грудные дети подвижны и не способны сохранять длительно статическую позу в силу того, что не сформирована произвольная регуляция) и слишком высок риск получения недостоверных результатов. Создание нормативов для категории детей старшего школьного возраста (15–17 лет) не представляло значительного интереса, поскольку к 15 годам большая часть из них по величине ППТ достигает значений, характерных для взрослого человека.

Все испытуемые прошли обследование на базе отделения функциональной диагностики Архангельской областной детской клинической больницы имени П.Г. Выжлецова за период с 2016 по 2022 год. Все процедуры отвечали этическим принципам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (редакция 2013 года). От родителей / законных представителей было получено добровольное информированное согласие. Исследования выполнялись пятью врачами функциональной диагностики. Доля мальчиков среди обследуемых составила 54,5 %, а доля девочек – 45,5 %. На ультразвуковом сканере GE Vivid E9 (GE HealthCare Technologies, Inc., США) с использованием матричных фазированных секторальных датчиков M5S-D (1,5–4,6 МГц) и 12S-D (4,0–12,0 МГц) в М- и В-режимах определялись следующие морфометрические параметры сердца (мм): АК – раскрытие аортального клапана, АО – ширина корня аорты на уровне синусов Вальсальвы, ЛП – размер левого предсердия, ПЖ – размер правого желудочка, ЛЖ_{кдр} – размер левого желудочка в диастоле (конечно-диастолический), ЛЖ_{ксп} – размер левого желудочка в систоле (конечно-систолический), ТЗСЛЖ – толщина задней стенки ЛЖ, ТМЖП – толщина межжелудочковой перегородки, ЛА – ширина легочной артерии, ПП – размер правого предсердия. Рутинными антропометрическими методами измерялись длина и масса тела. ППТ рассчитывалась по формуле Мостеллера.

Статистический анализ осуществлялся в пакете прикладных программ Statistica 7.0 (США). На первом этапе в группах детей разного возраста рассчитывались 3-й и 97-й перцентили массы и длины тела с целью исключения выбросов. Далее с использованием критериев Шапиро–Уилка и Колмогорова–Смирнова оценивалось подчинение количественных данных закону нормального распределения с дополнительной корректировкой. Для каждого из анализируемых параметров были вычислены показатели описательной статистики: среднее арифметическое (M), медиана (Me), стандартное отклонение (σ). Сравнение параметров по гендерному признаку проводилось с помощью t -критерия Стьюдента для независимых выборок. Формирование нормативных интервалов морфометрических параметров сердца детей выполнялось методом сигмальных отклонений с использованием в качестве результирующей переменной ППТ. Деление массива значений параметров ЭхоКГ по показателю ППТ осуществлялось от минимального до максимального значения с приращением $dx = 0,08 \text{ м}^2$ на каждый последующий год до 9 лет, после достижения данного возраста приращение увеличивалось до $dx = 0,13 \text{ м}^2$. Определение величины dx представляло собой расчет среднего арифметического ежегодных приращений ППТ в возрастные периоды от 1 года до 9 лет и от 9 до 15 лет, что обусловлено закономерным увеличением годовых приростов морфофункциональных параметров в препубертатный период онтогенеза. Ширина расчетных нормативных интервалов представлена в формате $M \pm 2\sigma$.

Референтные интервалы параметров ЭхоКГ были сформированы отдельно в группах мальчиков и девочек путем разделения исходного массива значений на подвыборки по рассчитанному приросту ППТ. Выбор в качестве результирующей переменной ППТ обоснован тем, что дети одного возраста могут значительно отличаться по росту и массе, в этом случае для точной интерпретации ре-

зультатов диагностики требуется знание нормализованных величин, приведенных к ППТ. Указанное обстоятельство согласуется с рядом зарубежных исследований для популяций детей из разных стран, в которых ППТ также превосходила по значимости массу и длину тела при разработке номограмм для ЭхоКГ [12–14].

В качестве меры относительного разброса измеренных параметров сердца относительно среднего рассчитывалась стандартизованная оценка Z -score. Проверка значимости различий между параметрами ЭхоКГ у здоровых детей Архангельской области и точечными оценками, представленными в медицинских онлайн-калькуляторах, проводилась при помощи одновыборочного t -критерия Стьюдента. Критический уровень значимости в работе был принят равным 5 %. Цифровое приложение для автоматизации процесса оценки результатов ЭхоКГ на основании сформированных референтных интервалов создано в виде веб-приложения на основе фреймворка Django с помощью IDE Visual Code. Дизайн интерфейса спроектирован с использованием языка разметки HTML и бэкенд-фреймворка Jinja.

Результаты. Интервалы, полученные для всех анализируемых морфометрических параметров сердца, характеризуются в каждой подвыборке центральным средним значением и границами сигмальных диапазонов $M \pm 1\sigma$ и $M \pm 2\sigma$ с учетом изменения ППТ в процессе развития организма ребенка. Визуализация динамики среднего значения и границ референтных диапазонов морфометрических параметров сердца здоровых детей Архангельской области в возрасте от 1 года до 15 лет представлена на *рис. 1*. Предложенные нами нормативные интервалы позволяют анализировать основные параметры ЭхоКГ у здоровых детей Архангельской области в возрасте от 1 года до 15 лет с диапазоном ППТ среди мальчиков от 0,40 до 1,90 м², среди девочек – от 0,40 до 1,75 м².

Для повышения сопоставимости и унифицируемости интерпретируемых центильным

методом параметров ЭхоКГ далее применялся метод Z -score, предусматривающий эквивалентное преобразование баллов нормального распределения в стандартное нормальное распределение данных. Автоматический расчет величин указанным методом реализовывался путем создания цифрового приложения « Z -score калькулятор основных параметров ЭхоКГ детей Архангельской области» [15]. При разработке технических требований к проектируемому приложению использовались технологии адаптивного дизайна, позволяющие автоматически подстраивать положение элементов под размер и ориентацию экрана любого электронного устройства. Функция обновления отображаемых в приложении данных выполняет автоматический пересчет показателей при изменении значений. Встроенная процедура валидации вводимых в поля числовых величин исключает отображение некорректных значений.

Рассмотрим работу приложения на следующем примере. В диалоговом окне, указав пол (женский) и возраст (9 лет) ребенка, вводим значения массы (39 кг) и длины тела (148 см), на основании которых автоматически определяется ППТ, которая составила 1,27 м². Далее в ячейки заносим значения параметров сердца, после чего встроенный алгоритм соотносит значение ППТ с одним из сформированных интервалов с учетом гендерной принадлежности ребенка. Рядом со строкой ввода значений конкретного параметра сердца отображаются позиции границ референтного диапазона ($M \pm 2\sigma$) и его среднее значение (*рис. 2*, см. с. 450). Приложение осуществляет расчет отклонения Z -score с визуализацией на числовой оси в формате значения, выделенного красным цветом. В случае положительных отклонений относительно центральной тенденции оценка Z -score отображается справа от нее, отрицательных – слева, при превышении двойного стандартного отклонения – за пределами обозначенных границ.

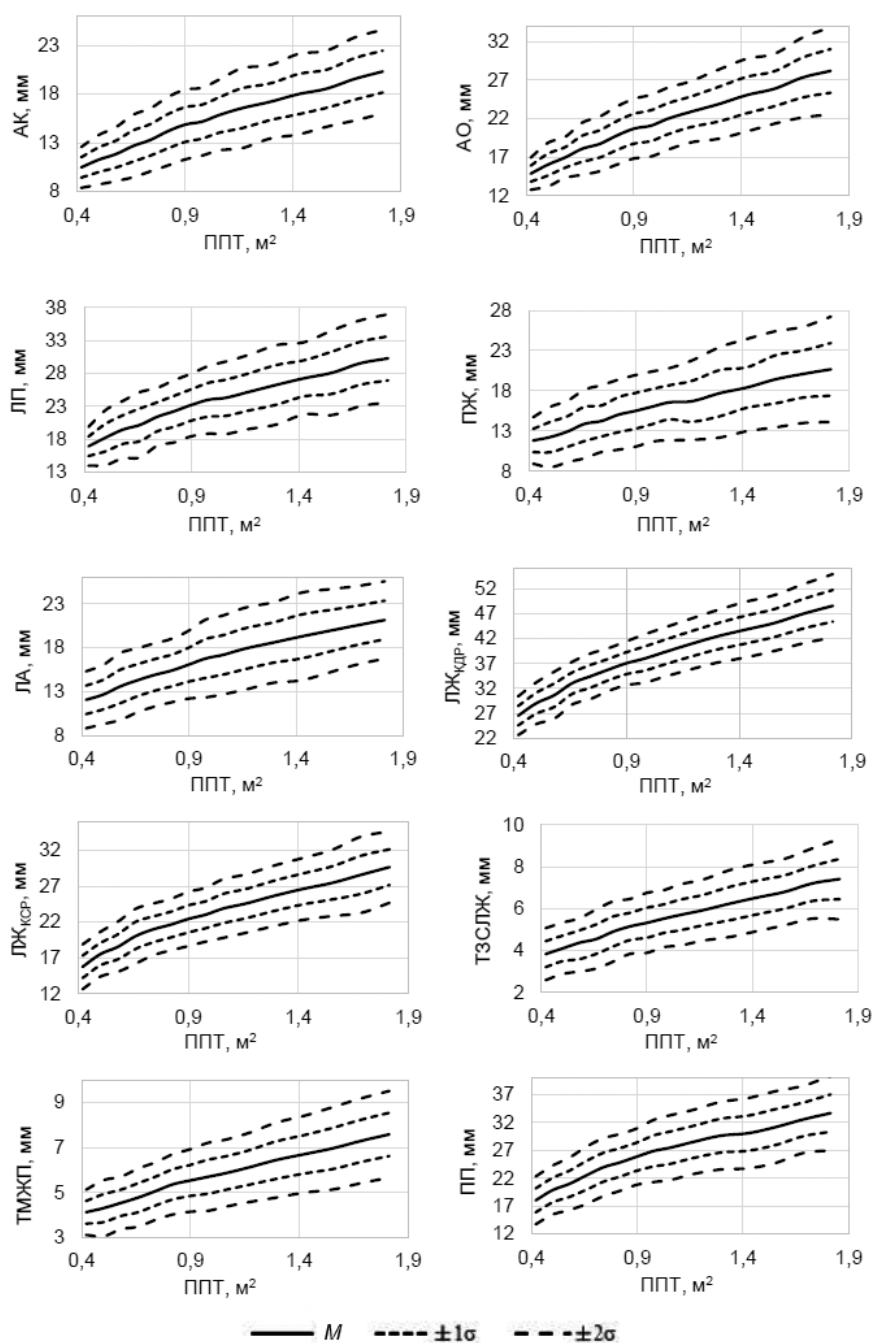


Рис. 1. Динамика параметров ЭхоКГ здоровых детей Архангельской области, приведенная к величине ППТ

Fig. 1. Dynamics of echocardiography parameters in healthy children living in the Arkhangelsk Region, normalized to body surface area

Z-score калькулятор основных эхокардиографических показателей у детей Архангельской области



Рис. 2. Пример оценки параметров ЭхоКГ с использованием метода Z-score в созданном цифровом приложении

Fig. 2. Example of the evaluation of echocardiography parameters using the Z-score method in the new digital application

Обсуждение. В рамках настоящего исследования интерес также представляло изучение различий между должными величинами, заложенными в опубликованные медицинские калькуляторы для оценки параметров ЭхоКГ, со сформированными нами региональными диапазонами. При выполнении оценки статистических различий (см. *таблицу*) под 1-й выборкой понимали рас-

считанные нормативные параметры ЭхоКГ детей Архангельской области, в качестве 2-й выборки – должные величины зарубежной платформы Pediatric Calculator¹, 3-я выборка представлена нормативами, разработанными коллективом российских авторов из Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук [16].

¹Ped (Z) Kinderarzt Rechner. URL: <https://www.pedz.de/de/willkommen.html> (дата обращения: 16.10.2023).

Сравнение средних значений параметров ЭхоКГ здоровых детей Архангельской области (выборка 1) с должными значениями, приведенными в медицинских калькуляторах зарубежных (выборка 2) и российских (выборка 3) авторов, мм

Comparison of mean values of echocardiography parameters in healthy children living in the Arkhangelsk Region (sample 1) with the reference values in the medical calculators of foreign (sample 2) and Russian (sample 3) authors, mm

Параметр	Выборка	Возраст, годы (ППТ, м ²)				
		1 (0,50)	4 (0,71)	7 (0,93)	10 (1,20)	13 (1,52)
АК	1	11,50	13,15	14,97	16,71	18,37
	2	11,50	13,20	15,00	16,80	18,40
	3	X	X	X	X	X
АО	1	16,52	18,61	20,86	23,24	25,60
	2	16,10**	18,80**	21,40***	24,20***	27,40***
	3	14,45***	16,21***	18,28***	20,68***	23,74***
ЛП	1	18,94	21,05	23,40	25,57	27,87
	2	X	X	X	X	X
	3	19,99***	22,04***	24,46***	27,26***	30,84***
ПП	1	20,10	23,39	26,23	28,69	30,98
	2	X	X	X	X	X
	3	22,60***	25,05***	27,87***	31,30***	35,48***
ПЖ	1	12,59	14,18	15,76	17,28	18,98
	2	9,40***	10,10***	11,10***	12,40***	15,70***
	3	12,24*	14,03*	16,15***	18,61***	21,74***
ЛЖ _{кдр}	1	29,46	33,93	37,42	41,11	44,66
	2	29,90*	34,15*	37,64**	41,60***	45,60***
	3	29,16*	32,57***	36,33***	40,71***	44,29***
ЛА	1	12,96	14,70	16,32	18,10	19,61
	2	13,40*	16,20***	18,70***	20,50***	21,90***
	3	14,31***	16,17***	18,37***	20,91***	24,16***
ТЗСЛЖ	1	4,10	4,79	5,41	6,06	6,71
	2	4,70***	5,20***	5,90***	6,60***	7,80***
	3	4,67***	5,16***	5,73***	6,39***	7,24***
ТМЖП	1	4,31	4,98	5,60	6,22	6,87
	2	4,45*	5,03*	5,70***	6,50***	7,50***
	3	5,04***	5,54***	6,13***	6,81***	7,69***

Примечание: *, **, *** – установлены статистически значимые отличия от выборки 1 при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$ соответственно; X – данные отсутствуют.

Данные таблицы свидетельствуют, что практически во всех случаях эхокардиографические параметры детей Архангельской области (1-я выборка) достоверно отличались от должных величин 2-й и 3-й выборок, за исключением диаметра раскрытия аортального клапана.

Большинство параметров сердца (ЛП, ПП, ЛА, ТЗСЛЖ, ТМЖП) детей, проживающих на территории Архангельской области, были меньше представленных в исследованиях зарубежных и российских авторов (2-я и 3-я выборки). Средние значения ширины корня аорты,

установленные нами, превосходили таковые в 3-й выборке ($p < 0,001$ для всех возрастов), но оказались ниже в сравнении со 2-й выборкой, за исключением детей в возрасте 1 года (16,52 против 16,10 мм; $p = 0,003$). Размеры правого желудочка в нашем исследовании были достоверно выше, чем во 2-й выборке, во всех проанализированных случаях ($p < 0,001$), как и в сравнении с результатами в 3-й выборке для детей 1 года (12,59 против 12,24 мм; $p = 0,038$) и 4 лет (14,18 против 14,03 мм; $p = 0,038$), но для детей в возрасте 7, 10 и 13 лет были ниже данных 3-й выборки ($p < 0,001$). Полученные нами значения диастолического размера левого желудочка оказались достоверно выше в сравнении с 3-й выборкой, но уступали аналогичным величинам 2-й выборки. Представленные результаты свидетельствуют о том, что существующие нормативы, встроенные в доступные медицинские калькуляторы, не позволяют провести надежную интерпретацию эхокардиографических данных у детей Архангельской области.

Таким образом, разработанные номограммы призваны способствовать корректной оценке результатов ЭхоКГ, основанной на выборке, с нормализацией размеров структур сердца по отношению к морфофункциональным параметрам физического развития детей Архангельской области в разные возрастные периоды. Рассчитанные референтные интервалы охватывают практически все возрастные группы детского населения и были получены в ходе обследования здоровой и относительно крупной репрезентативной выборки. Использование в практической деятельности врачей функциональной диагностики созданного нами цифрового приложения позволит объективизировать результаты измерения морфометрических параметров сердца, потенциально снизить долю случаев гипердиагностики [17]. В перспективе эффективность рассмотренного подхода может быть существенно повышена путем увеличения объема входящих медицинских данных и привлечения для их обработки средств интеллектуального анализа на основе нейронных сетей.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

1. Кучма В.Р., Сухарева Л.М., Рапопорт И.К., Шубочкина Е.И., Скоблина Н.А., Милушкина О.Ю. Популяционное здоровье детского населения, риски здоровью и санитарно-эпидемиологическое благополучие обучающихся: проблемы, пути решения, технологии деятельности // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 10. С. 990–995.
2. Глебов В.В. Состояние сердечно-сосудистой системы как адаптационный показатель в процессе развития человека // Мир науки, культуры и образования. 2014. № 5(48). С. 183–185.
3. Ермакова И.В., Догадкина С.Б., Рублева Л.В., Кмить Г.В., Безобразова В.Н., Шапанов А.Н. Особенности адаптации сердечно-сосудистой системы, автономной нервной регуляции сердечного ритма и эндокринной системы к нагрузкам разного характера у школьников 10-15 лет // Science for Education Today. 2019. Т. 9, № 5. С. 176–204. <https://doi.org/10.15293/2658-6762.1905.11>
4. Лебеденко А.А., Семерник О.Е., Тюрина Е.Б., Семерник Ю.В. Особенности морфометрического строения правых и левых отделов сердца у детей с бронхиальной астмой // Апробация. 2016. № 3(42). С. 103–105.
5. Васильев В.А., Мурейси К.А., Басий Р.В., Вакуленко И.П., Коктышев И.В. Морфофункциональные особенности строения сердца у детей грудного возраста по данным ультразвукового исследования // Унив. клиника. 2020. № 4(37). С. 26–30.
6. Li J.K.-J. Cardiovascular Allometry: Analysis, Methodology, and Clinical Applications // Sex-Specific Analysis of Cardiovascular Function / ed. by P.L.M. Kerkhof, V.M. Miller. Cham: Springer, 2018. P. 207–224. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77932-4_14

7. Соколов А.А., Солдатенко М.В., Сморгон А.В. Предсказательная ценность модели расчета эхокардиографических показателей у здоровых пациентов // Рос. кардиол. журн. 2018. Т. 23, № 12. С. 98–102. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-12-98-102>
8. Chubb H., Simpson J.M. The Use of Z-Scores in Paediatric Cardiology // Ann. Pediatr. Cardiol. 2012. Vol. 5, № 2. P. 179–184. <https://doi.org/10.4103/0974-2069.99622>
9. Грибанов А.В., Крайнова И.Н. Возрастно-половая характеристика структурных параметров сердца у школьников Приполярного региона // Современ. проблемы науки и образования. 2013. № 6. Ст. № 595.
10. Грибанов А.В., Крайнова И.Н. Морфофункциональное состояние левого желудочка сердца у школьников Приполярного региона // Вестн. Помор. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2011. № 4. С. 40–46.
11. Белозеров Ю.М., Болбииков В.В. Ультразвуковая семиотика и диагностика в кардиологии детского возраста: рук. М.: Медпресс, 2001. 176 с.
12. Dallaire F., Slorach C., Hui W., Sarkola T., Friedberg M.K., Bradley T.J., Jaeggi E., Dragulescu A., Har R.L.H., Cherney D.Z.I., Mertens L. Reference Values for Pulse Wave Doppler and Tissue Doppler Imaging in Pediatric Echocardiography // Circ. Cardiovasc. Imaging. 2015. Vol. 8, № 2. Art. № e002167. <https://doi.org/10.1161/circimaging.114.002167>
13. Wang S.-S., Hong W.-J., Zhang Y.-Q., Chen S.-B., Huang G.-Y., Zhang H.-Y., Chen L.-J., Wu L.-P., Shen R., Liu Y.-Q., Zhu J.-X. Regression Equations for Calculation of Z Scores for Echocardiographic Measurements of Left Heart Structures in Healthy Han Chinese Children // J. Clin. Ultrasound. 2018. Vol. 46, № 5. P. 328–333. <https://doi.org/10.1002/jcu.22579>
14. Cantinotti M., Giordano R., Scalese M., Murzi B., Assanta N., Spadoni I., Maura C., Marco M., Molinaro S., Kutty S., Iervasi G. Nomograms for Two-Dimensional Echocardiography Derived Valvular and Arterial Dimensions in Caucasian Children // J. Cardiol. 2017. Vol. 69, № 1. P. 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2016.03.010>
15. Свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2023687946 Рос. Федерация. Z-score калькулятор основных эхокардиографических показателей у детей Европейского Севера России: № 2023686810: заявл. 29.11.2023 / Карякин А.А., Карякина О.Е., Чуб И.С., Артемов А.В.
16. Свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2020662288 Рос. Федерация. Мобильное приложение для медицинского калькулятора «Echo Cardio Calculator Mobile»: № 2020618892: заявл. 11.08.2020 / Брагин Д.С., Поспелова И.В., Соколов А.А., Серебрякова В.Н., Черепанова И.В., Бощенко А.А.
17. Наркевич А.Н., Виноградов К.А., Параскевопуло К.М., Гржибовский А.М. Интеллектуальные методы анализа данных в биомедицинских исследованиях: нейронные сети // Экология человека. 2021. № 4. С. 55–64. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-4-55-64>

References

1. Kuchma V.R., Sukhareva L.M., Rapoport I.K., Shubochkina E.I., Skoblina N.A., Milushkina O.Yu. Population Health of Children, Risks to Health and Sanitary and Epidemiological Wellbeing of Students: Problems, Ways of Solution and Technology of the Activity. *Hyg. Sanitation*, 2017, vol. 96, no. 10, pp. 990–995 (in Russ.).
2. Glebov V.V. Sostoyanie serdechno-sosudistoy sistemy kak adaptatsionnyy pokazatel' v protsesse razvitiya cheloveka [Condition of Cardio-Vascular System as an Adaptation Indicator in Development of a Person]. *Mir nauki, kul'tury i obrazovaniya*, 2014, no. 5, pp. 183–185.
3. Ermakova I.V., Dogadkina S.B., Rubleva L.V., Kmit G.V., Bezobrazova V.N., Sharapov A.N. Adaptation of Cardiovascular System, Autonomous Nervous Regulation of Heart Rate and Endocrine System to Different Types of Loads in 10–15-Year-Old Schoolchildren: Characteristic Features. *Sci. Educ. Today*, 2019, vol. 9, no. 5, pp. 176–204 (in Russ.). <https://doi.org/10.15293/2658-6762.1905.11>
4. Lebedenko A.A., Semernik O.E., Tyurina E.B., Semernik Yu.V. Osobennosti morfometricheskogo stroeniya pravoykh i levoykh otdelov serdtsa u detey s bronkhial'noy astmoy [Morphological and Functional Features of Heart of Children Living in the North and Suffering from Bronchial Asthma]. *Aprobatsiya*, 2016, no. 3, pp. 103–105.
5. Vasil'ev V.A., Mureysi K.A., Basiy R.V., Vakulenko I.P., Koktyshhev I.V. Morfofunktsional'nye osobennosti stroeniya serdtsa u detey grudnogo vozrasta po dannym ul'trazvukovogo issledovaniya [Ultrasound Guided Morphofunctional Characteristics of Heart Structure of Children of the Age from 4 Weeks till 12 Months]. *Universitetskaya klinika*, 2020, no. 4, pp. 26–30.

6. Li J.K.-J. Cardiovascular Allometry: Analysis, Methodology, and Clinical Applications. Kerkhof P.L.M., Miller V.M. (eds.). *Sex-Specific Analysis of Cardiovascular Function*. Cham, 2018, pp. 207–224. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77932-4_14
7. Sokolov A.A., Soldatenko M.V., Smorgon A.V. Predictive Validity of the Model for Calculating of Echocardiographic Parameters in Healthy Patients. *Russ. J. Cardiol.*, 2018, vol. 23, no. 12, pp. 98–102 (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-12-98-102>
8. Chubb H., Simpson J.M. The Use of Z-Scores in Paediatric Cardiology. *Ann. Paediatr. Cardiol.*, 2012, vol. 5, no. 2, pp. 179–184. <https://doi.org/10.4103/0974-2069.99622>
9. Griбанov A.V., Kraynova I.N. Vozrastno-polovaya kharakteristika strukturnykh parametrov serdtsa u shkol'nikov Pripolyarnogo regiona [Age and Sex Dynamics of Heart Structural Parameters in Schoolchildren of the Circumpolar Region]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, no. 6, p. 595.
10. Griбанov A.V., Kraynova I.N. Morfofunktsional'noe sostoyanie levogo zheludochka serdtsa u shkol'nikov Pripolyarnogo regiona [Morphofunctional Parameters of the Heart Left Ventricle in Schoolchildren of the Circumpolar Region]. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Ser.: Estestvennyye nauki*, 2011, no. 4, pp. 40–46.
11. Belozarov Yu.M., Bolbikov V.V. *Ul'trazvukovaya semiotika i diagnostika v kardiologii detskogo vozrasta* [Ultrasound Semiotics and Diagnostics in Paediatric Cardiology]. Moscow, 2001. 176 p.
12. Dallaire F., Slorach C., Hui W., Sarkola T., Friedberg M.K., Bradley T.J., Jaeggi E., Dragulescu A., Har R.L.H., Cherney D.Z.I., Mertens L. Reference Values for Pulse Wave Doppler and Tissue Doppler Imaging in Pediatric Echocardiography. *Circ. Cardiovasc. Imaging*, 2015, vol. 8, no. 2. Art. no. e002167. <https://doi.org/10.1161/circimaging.114.002167>
13. Wang S.-S., Hong W.-J., Zhang Y.-Q., Chen S.-B., Huang G.-Y., Zhang H.-Y., Chen L.-J., Wu L.-P., Shen R., Liu Y.-Q., Zhu J.-X. Regression Equations for Calculation of Z Scores for Echocardiographic Measurements of Left Heart Structures in Healthy Han Chinese Children. *J. Clin. Ultrasound*, 2018, vol. 46, no. 5, pp. 328–333. <https://doi.org/10.1002/jcu.22579>
14. Cantinotti M., Giordano R., Scalese M., Murzi B., Assanta N., Spadoni I., Maura C., Marco M., Molinaro S., Kutty S., Iervasi G. Nomograms for Two-Dimensional Echocardiography Derived Valvular and Arterial Dimensions in Caucasian Children. *J. Cardiol.*, 2017, vol. 69, no. 1, pp. 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2016.03.010>
15. Karyakin A.A., Karyakina O.E., Chub I.S., Artemov A.V. *Z-Score Calculator for the Main Echocardiographic Parameters of Children in the European North of Russia*. Registration Certificate RF no. 2023687946, 2023 (in Russ.).
16. Bragin D.S., Pospelova I.V., Sokolov A.A., Serebryakova V.N., Cherepanova I.V., Boshchenko A.A. *Mobile Application for the Medical Calculator "Echo Cardio Calculator Mobile"*. Registration Certificate RF no. 2020662288, 2020 (in Russ.).
17. Narkevich A.N., Vinogradov K.A., Paraskevopulo K.M., Grjibovski A.M. Intelligent Data Analysis in Biomedical Research: Artificial Neural Networks. *Hum. Ecol.*, 2021, no. 4, pp. 55–64 (in Russ.). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-4-55-64>

Поступила в редакцию 12.12.2023 / Одобрена после рецензирования 22.05.2024 / Принята к публикации 28.05.2024.

Submitted 12 December 2023 / Approved after reviewing 22 May 2024 / Accepted for publication 28 May 2024.