

Естественные науки. 2025. № 3 (20). С. 9–17.

Yestestvennyye nauki = Natural Sciences. 2025; 3 (20): 9–17 (In Russ.)

Научная статья


УДК 612.171.1:063

doi 10.54398/2500-2805.2025.20.3.001

**ОСОБЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ ДЕТЕЙ,
ПРОЖИВАЮЩИХ В ГОРОДСКОЙ И СЕЛЬСКОЙ
МЕСТНОСТИ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Трясучев Андрей Валерьевич , *Курьянова Евгения Владимировна,
Сергиенко Ангелина Владиславовна*

Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева,
г. Астрахань, Россия

my@andtry.ru 

Аннотация. Проанализированы показатели сердечного ритма (ЧСС, размах варьирования ΔX , индекс напряжения) и внешнего дыхания (частота дыхательных движений, резервный объем вдоха, жизненная емкость легких) у мальчиков (41 чел.) и девочек (43 чел.) 12–13-летнего возраста, проживающих в Астраханском регионе, с целью выявления их особенностей в покое и при физической нагрузке на велоэргометре с учетом гендерных различий и места проживания (городская и сельская среда). У здоровых мальчиков и девочек показатели кардиореспираторной системы в целом соответствуют нормам. Однако прослеживается тенденция, свидетельствующая о более высоких функциональных возможностях регуляции ритма сердца и респираторной системы у детей из сельской местности, причём данная тенденция более характерна для мальчиков, чем для девочек. У городских детей отмечается несколько большее напряжение симпатических механизмов регуляции ритма сердца в покое и особенно при физической нагрузке. Следовательно, дети, развивающиеся в условиях сельской местности, потенциально способны эффективнее реагировать на нагрузки и адаптироваться к новым условиям, особенно к физическим нагрузкам.

Ключевые слова: кардиореспираторная система, ЧСС, частота дыхания, анализ вариабельности сердечного ритма, спирометрия, функциональная проба с физической нагрузкой, городская и сельская территория Астраханской области, дети 12–13-летнего возраста, гендерные различия.

Для цитирования: Трясучев А. В., Курьянова Е. В., Сергиенко А. В. Особенности показателей кардио-респираторной системы детей, проживающих в городской и сельской местности Астраханской области // Естественные науки. 2025. № 3 (20). С. 9–17. <https://doi.org/10.54398/2500-2805.2025.20.3.001>.

FEATURES OF PARAMETERS OF THE CARDIORESPIRATORY SYSTEM OF CHILDREN LIVING IN URBAN AND RURAL AREAS OF THE ASTRAKHAN REGION

Tryasuchev Andrey V.✉, *Kuryanova Eugenia V.*, *Sergienko Angelina V.*
Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia
my@andtry.ru✉

Abstract. The heart rate (HR, range of variation ΔX , and exertion index (EI)) and external respiration (respiratory rate (RR), inspiratory reserve volume (IRV), and vital capacity (VC)) parameters were analyzed in 41 boys and 43 girls aged 12–13 years living in the Astrakhan region. The analysis aimed to identify their characteristics at rest and during physical activity on a bicycle ergometer, considering gender differences and place of residence (urban and rural environment). Cardiorespiratory parameters generally correspond to normal in healthy boys and girls. However, a tendency is observed indicating higher functional capabilities of heart rate and respiratory system regulation in children from rural areas; this tendency is more characteristic of boys than girls. Urban children demonstrate slightly higher tension of sympathetic mechanisms of heart rate regulation at rest and, especially, during physical activity. Consequently, children developing in rural areas are potentially more able to respond to stress and adapt to new conditions, especially physical activity.

Keywords: cardiorespiratory system, heart rate, respiratory rate, heart rate variability analysis, spirometry, functional test with physical activity, urban and rural areas of the Astrakhan region, children aged 12–13 years, gender differences.

For citation: Tryasuchev A. V., Kuryanova E. V., Sergienko A. V. Features of indicators of the cardiorespiratory system of children living in urban and rural areas of the Astrakhan region *Yestestvennye nauki = Natural Sciences*. 2025; 3 (20): 9–17. <https://doi.org/10.54398/2500-2805.2025.20.3.001> (In Russ.).

Введение. В условиях современного мира, вопросы здоровья детей приобретают особую актуальность. Одним из ключевых аспектов здоровья является состояние кардиореспираторной системы, которая обеспечивает жизненно важные функции организма. Астраханская область с её уникальными климатическими и экологическими условиями представляет особый интерес для исследования изменений параметров кардиореспираторной системы у детей.

Дети, проживающие в Астраханской области, сталкиваются с рядом специфических факторов, таких как высокая температура воздуха летом, повышенная влажность, а также возможные изменения в уровне загрязнения воздуха. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью выявления региональных особенностей здоровья детей для разработки эффективных мер профилактики и коррекции возможных нарушений. Результаты работы могут внести значительный вклад в развитие детской медицины и улучшение качества жизни детей, проживающих в Астраханской области.

Целью данной работы стало исследование особенностей параметров кардиореспираторной системы у мальчиков и девочек 12–13-летнего возраста, проживающих в г. Астрахани и Астраханской области.

Методика и организация исследования. Исследования проводились на базе клинико-диагностической лаборатории Государственного бюджетного учреждения здравоохранения Астраханской области «Областной кардиологический диспансер» в осенне-зимний период.

В обследовании приняли участие практически здоровые школьники 12–13-летнего возраста, постоянно проживающие в г. Астрахани, в Ахтубинском и Камызякском районах Астраханской области. Общее число обследованных детей – 84, из них 43 девочки и 41 мальчик. С учётом пола и места проживания сформированы четыре группы школьников. Родители дали письменное согласие на участие их детей в обследовании. Все исследования проводились в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной Медицинской Ассоциации «Этические принципы медицинских исследований с участием человека в качестве испытуемого».

Все исследования проводились в первой половине дня. У каждого ребёнка параметры кардиореспираторной системы регистрировались в состоянии покоя и сразу после функциональной пробы с физической нагрузкой на велоэргометре. Использовался велоэргометр российского производства («Орторент-Вело»), позволяющий точно дозировать нагрузку.

Для оценки состояния сердца проводили регистрацию ЭКГ на аппаратно-программном комплексе «Варикард» («Рамена», Россия) во II стандартном отведении [3]. Обработка кардиоинтервалов и анализ кардиоинтервалограмм осуществляли в программе «ИСКИМ6» («Рамена», Россия). Выполняли статистический анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) [1]. Определяли ЧСС (уд./мин), размах варьирования ΔX (мс), амплитуду моды (АМо, %). На основе полученных данных рассчитывали индекс напряжения (ИН, отн. ед.) по формуле:

$$\text{ИН} = \text{АМо} / 2 \cdot \Delta X \cdot \text{Мо}.$$

Для оценки состояния респираторной системы визуально подсчитывали частоту дыхательных движений (ЧДД в мин), определяли резервный объём вдоха (РОВд) и жизненную ёмкость лёгких (ЖЕЛ) методом спирометрии. Использовали суховоздушный спирометр.

Статистическая обработка полученных результатов проводилась с помощью программы “Microsoft Excel” и программного пакета “Statistica 12.0”, позволяющих рассчитать среднюю арифметическую величину (M), стандартную ошибку средней арифметической (m). Достоверность различий между группами и состояниями определяли по критерию Манна – Уитни. Различия считались значимыми при уровне $p \leq 0,05$. С целью уточнения нормальности распределения был использован критерий Шапиро – Уилка. Все изучаемые и описываемые в данной работе параметры имели распределение, близкое к нормальному.

Результаты исследования и их обсуждение. Согласно полученным данным (табл. 1), в состоянии покоя у мальчиков, проживающих в г. Астрахани и Астраханской области, ЧСС, ΔX и ИН существенно не различались. При этом ИН у детей был достаточно высок (более 200 отн. ед.), согласно Р. М. Баевскому и соавт. [1], что может указывать на напряжённость механизмов регуляции ритмом сердца. ЧСС и ИН у городских мальчиков были несколько выше, чем у мальчиков из области.

Частота дыхательных движений (ЧДД), резервный объём вдоха (РОВд) и жизненная ёмкость лёгких (ЖЕЛ) соответствовали возрастным нормам. У городских мальчиков объёмные показатели дыхания были немного ниже, чем у сельских ребят, причем разница по РОВд достигала 0,5 л. Следовательно, мальчики из сельской местности в сравнении с городскими имеют несколько большие функциональные возможности дыхательной системы.

Таблица 1 – Параметры кардиореспираторной системы в покое и при физической нагрузке у мальчиков, проживающих на территории г. Астрахани и Астраханской области ($M \pm m$)

Параметры	Группы мальчиков			
	Город		Область	
	Спокойное бодрствование	После нагрузки	Спокойное бодрствование	После нагрузки
ЧСС, уд./мин	$73,8 \pm 3,8$	$94,3 \pm 3,6^*$	$69,8 \pm 2,9$	$83,8 \pm 3,6^{**}$
ΔX , мс	$342,6 \pm 60,5$	$250,3 \pm 38,2^*$	$324,7 \pm 28,2$	$299,7 \pm 38,7$
ИН, отн. ед.	$268,7 \pm 54,5$	$227,4 \pm 69,1$	$248,7 \pm 34,2$	$216,3 \pm 62,1$
ЧДД в мин	$15,3 \pm 0,8$	$25,3 \pm 0,8^*$	$14,2 \pm 1,0$	$24,2 \pm 1,0^{**}$
РОВд, л	$1,5 \pm 0,1$	$1,63 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,2$	$2,4 \pm 0,1$
ЖЕЛ, л	$3,1 \pm 0,2$	$3,8 \pm 0,4^*$	$3,3 \pm 0,1$	$3,8 \pm 0,2$
Примечание – Достоверность различий рассчитана по критерию Манна – Уитни (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$) по сравнению с соответствующим контролем.				

Выполнение детьми физической нагрузки на велоэргометре вызвало изменение большинства показателей. Ожидаемо выросла ЧСС, снизился ΔX , что связано с усилением симпатoadреналовых влияний. Мы проанализировали степень изменений показателей. Так, ЧСС у городских ребят выросла на 28 % ($p \leq 0,05$), у сельских – на 20 % ($p \leq 0,01$). Фактическая ЧСС у сельских мальчиков оказалась ниже почти на 10 уд. / мин. ИН снизился в обеих группах, но остался выше 200 отн. ед. Меньшая ЧСС и ИН у ребят из области по сравнению с городскими свидетельствует, что механизмы регуляции ритма у них характеризуются более высокими функциональными возможностями.

ЧДД у мальчиков обеих групп при нагрузке выросла на 65–70 % от исходной и составляла около 25/мин. Интересно, что на фоне физической нагрузки объёмные показатели внешнего дыхания также немного выросли.

У мальчиков из области РОвд оказался равным 2,4 л, что почти на 0,7 л больше, чем у городских мальчиков. Фактические значения объёмных показателей дыхания были более высокими у сельских ребят. По-видимому, респираторная система сельских ребят также характеризуется более высокими функциональными возможностями в сравнении с городскими сверстниками.

Таким образом, у здоровых мальчиков 12–13-летнего возраста, проживающих в г. Астрахани и Астраханской области, анализируемые показатели кардиореспираторной системы в целом соответствуют нормам. Вместе с тем прослеживается тенденция, свидетельствующая о более высоких функциональных возможностях регуляции ритма сердца и респираторной системы у детей из сельской местности. У городских ребят отмечается несколько большее напряжение симпатических механизмов регуляции ритма сердца в покое, особенно при физической нагрузке.

Таблица 2 – Параметры кардиореспираторной системы в покое и при физической нагрузке у девочек, проживающих на территории г. Астрахани и Астраханской области ($M \pm m$)

Параметры	Группы девочек			
	Город		Область	
	Спокойное бодрствование	После нагрузки	Спокойное бодрствование	После нагрузки
ЧСС, уд./мин	79,38 \pm 1,01	91,25 \pm 1,60*	78,38 \pm 1,14	88,63 \pm 1,30*
ΔX , мс	147,46 \pm 2,05	220,59 \pm 4,01**	185,00 \pm 1,93 [#]	242,63 \pm 3,23**
ИН, отн. ед.	253,18 \pm 4,57	220,63 \pm 2,56**	263,01 \pm 3,20	199,18 \pm 1,49***
ЧДД в мин	15,33 \pm 0,8	17,33 \pm 0,8	14,15 \pm 1,0	20,15 \pm 1,0**
РОвд, л	1,11 \pm 0,2	1,31 \pm 0,2	1,55 \pm 0,1 [#]	1,68 \pm 0,2
ЖЕЛ, л	2,58 \pm 0,1	2,65 \pm 0,3	2,74 \pm 0,2 [#]	2,97 \pm 0,1*
Примечание – Достоверность различий рассчитана по критерию Манна – Уитни: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ – по сравнению с соответствующим контролем; [#] $p < 0,05$ – по сравнению с девочками из города.				

У девочек 12–13-летнего возраста из города и области ЧСС в покое находилась в пределах 78–80 уд./мин (табл. 2). ΔX был ниже, чем у мальчиков, что может указывать на меньшую активность парасимпатических влияний и больший вклад симпатической системы в регуляцию ритма сердца, о чём также свидетельствует довольно высокий ИН, превышающий в покое 200 отн. ед. Согласно данным, показатели регуляции ритма сердца в состоянии покоя у девочек из города и области практически не различались.

ЧДД у девочек обеих групп составляла 14–15/мин, но РОвд у сельских жительниц был на 41 % (или в среднем на 0,45 л) выше, чем у городских. По ЖЕЛ значимых различий не было, но большим оказалось значение

показателя также у девочек из области. Объёмные показатели внешнего дыхания у девочек были ниже, чем у их сверстников-мальчиков.

В целом по показателям кардиореспираторной системы различия между городскими и сельскими девочками весьма незначительны, тренды, указывающие на большие функциональные возможности у жителей сельской территории, здесь проявились слабее, чем у мальчиков.

При выполнении физической нагрузки на велоэргометре ЧСС у городских девочек повышалась на 15 % ($p \leq 0,05$), у сельских – на 12 % ($p \leq 0,05$). Различия по ЧСС между группами не отмечались. ΔX повысился, а ИН снизился по сравнению с покоем, т. е. изменения были аналогичны с обнаруженными у мальчиков. Причём у девочек из области ΔX вырос на 31 %, ИН снизился на 24 %, у городских девочек более резкий рост ΔX (на 50 %) выявлен при меньшем снижении ИН (только на 13 %). Фактические значения ИН у сельских жительниц может указывать на меньшее напряжение регуляторных систем при выполнении физической нагрузки, в сравнении с городскими.

ЧДД при нагрузке выросла только у девочек из области и всего на шесть циклов. Объёмные параметры внешнего дыхания оказались стабильными, по сравнению с мальчиками, прирост был незначительным. Но фактические величины были всё же выше у сельских жительниц: РОвд – на 0,37 л, ЖЕЛ – на 0,32 л.

В целом изменения показателей кардиореспираторной системы при физической нагрузке у девочек выражены слабее, чем у мальчиков. Особенно слабо изменяются показатели дыхательной системы. Тенденции, свидетельствующие о больших функциональных возможностях организма сельских жителей, для представительниц женского пола характерны в меньшей мере, чем для представителей мужского пола.

Переходя к обсуждению результатов работы, отмечаем, что показатели кардиореспираторной системы обследованных детей в целом соответствуют возрастным нормам [6], следовательно, в городе и в сельской местности Астраханского региона имеются все основные условия для нормального роста и развития детей и подростков. Важно отметить, что практически по всем показателям различия между детьми городской и сельской местности статистически несутенственны, носят лишь характер тенденций. Вместе с тем обнаруженные тенденции указывают на то, что совокупность факторов городской среды создает менее благоприятные условия для растущего организма, сдерживает или не позволяет развиваться в полной мере его функциональным возможностям.

Известно, что на городских территориях повышена концентрация углекислого газа, компонентов выхлопных газов автотранспорта, в том числе тяжёлых металлов [2]. Это может снижать концентрацию гемоглобина в крови [9], ухудшать работу ферментов дыхательной цепи митохондрий, тем самым снижать энергообеспеченность всех процессов жизнедеятельности, в том числе роста и развития детского организма.

Немалую роль в обеспечении оптимального роста и развития организма играет полноценное питание [5]. В городских условиях вместо приготовления домашней еды из качественных продуктов «модно» пользоваться доставкой готовых продуктов, в основном фастфуда. Детей привлекают точки продаж калорийных чипсов, шоколадных батончиков и газированных напитков. Регулярное употребление таких продуктов не может не сказаться на состоянии здоровья детей и подростков, что, в свою очередь, отражается на их двигательной активности и сдерживает развитие физиологических систем организма [5]. Мы считаем, что питание людей, проживающих в сельской местности, более натуральное, выше доступность экологически чистых продуктов, свежих овощей и фруктов, натурального молока и молочных продуктов. Это позволяет обеспечить растущий организм необходимым количеством белка и других компонентов для полноценного формирования всех систем, в том числе органов кардиореспираторной системы.

Основной причиной обнаруженных тенденций, по нашему мнению, является разный уровень физической активности детей и подростков городской и сельской местности. Дети и подростки, проживающие в области, обычно проходят большие расстояния до места учебы и других занятий, более свободно перемещаются в пределах населённого пункта, заняты работой по домашнему хозяйству, участвуют в сельхозработах, в то время как городские дети меньше ходят пешком, физическая активность в лучшем случае ограничивается условиями придомовой территории, посещение спортивных секций доступно не всем. Многие городские дети имеют признаки гиподинамии и низкого тонуса мышц, что пагубно влияет на состояние здоровья [6; 8].

Приведённые в настоящей статье данные и выявленные на основе их анализа тенденции о несколько больших функциональных возможностях кардиореспираторной системы детей из сельской местности по сравнению с городскими детьми согласуются с опубликованными ранее данными [4] о том, что в условиях городской среды изменения состава крови, вызванные проблемами здоровья, проявляются сильнее. Результаты выполненных исследований дают основание говорить об актуальности и необходимости регулярного скрининга состояния здоровья населения российских регионов с учётом факторов среды городских и сельских территорий, более критической оценки информации о якобы лучших условиях жизни в городе и малой привлекательности для жизни сельских территорий.

Заключение. Проведённые исследования свидетельствуют, что у здоровых мальчиков и девочек 12–13-летнего возраста, проживающих в городских и сельских условиях Астраханского региона, показатели кардиореспираторной системы в целом соответствуют возрастным нормам. Дети обоего пола, развивающиеся в условиях сельской местности, существенно не отличаются от городских по параметрам функционирования кардиореспираторной системы, а по некоторым показателям имеют даже большие функциональные возможности. Следовательно, они способны потенциально лучше,

эффективнее реагировать на нагрузки и адаптироваться к новым условиям, особенно к тем, которые требуют значительных физических усилий.

Список литературы

1. Баевский, Р. М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов, Л. В. Чирейкин и др. // Вестник аритмологии. — 2002. — № 24. — С. 65–87.
2. Коломин, В. В. Влияние факторов окружающей среды на состояние заболеваемости детского населения города Астрахани / В. В. Коломин, В. С. Рыбкин, В. Н. Филяев // Российский медико-биологический вестник им. академика И. П. Павлова. — 2015. — Т. 23, № 2. — С. 63–69.
3. Курьянова, Е. В. Вегетативная регуляция сердечного ритма: результаты и перспективы исследований / Е. В. Курьянова. — Астрахань : Астраханский университет, 2011. — 125 с.
4. Трясучев, А. В. Особенности показателей крови у лиц с разным состоянием здоровья, проживающих в городской и сельской местности / А. В. Трясучев, Е. В. Курьянова, В. Ф. Батаева // Естественные науки. — 2024. — № 1. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65625157>.
5. Хабриев, Р. У. Оценка образа жизни и питания подростков мегаполиса / Р. У. Хабриев, Э. В. Зимина, О. В. Миронова, С. П. Сапожников, С. В. Нагорная // Вопросы диетологии. — 2020. — Т. 10, № 1. — С. 18–26.
6. Шилов, В. Н. Проблемы гиподинамии в современном обществе / В. Н. Шилов // Здоровье детей и подростков. — 2006. — № 2. — С. 12–14.
7. Шлык, Н. И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов / Н. И. Шлык. — Ижевск : Удмуртский университет, 2009. — 255 с.
8. Eveloff, J. L. Regional cerebral metabolic rate of oxygen in Parkinson's disease / J. L. Eveloff, J. Finkelstein, J. D. Buxbaum, F. A. Jolesz, C. S. Kase, J. H. Growdon // Neurology. — 1987. — Vol. 37 (Suppl 1). — P. 11–15.
9. Tomao, E. The effects of air pollution on the lipid balance of traffic police personnel / E. Tomao, P. B. Tiziana, V. Rosati, L. Marcellini, F. Tomei // Annals of Saudi Medicine. — 2002. — Vol. 22, № 5–6. — P. 287–290.

References

1. Baevskiy, R. M., Ivanov, G. G., Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems (guidelines). *Vestnik aritmologii = Journal of Arrhythmology*. 2002; 24:65–87.
2. Kolomin, V. V., Rybkin, V. S., Filyaev, V. N. Influence of environmental factors on the morbidity rate of the child population of the city of Astrakhan. *Rossiyskiy mediko-biologicheskiy vestnik imeni akademika I. P. Pavlova = Russian Medical and Biological Bulletin named after Academician I. P. Pavlov*. 2015, 23 (2): 63–69.
3. Kuryanova, E. V. *Vegetativnaya regulyatsiya serdechnogo ritma: rezultaty i perspektivy issledovaniy = Autonomic regulation of heart rate: results and prospects of research*. Astrakhan: Astrakhan University; 2011: 125 p.
4. Tryasuchev, A. V., Kuryanova, E. V., Bataeva, V. F. Features of blood parameters in people with different health status living in urban and rural areas. *Estestvennye nauki = Natural Sciences*. 2024; 1. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65625157>.
5. Khabriev, R. U., Zimina, E. V., Mironova, O. V., Sapozhnikov, S. P., Nagornaya, S. V. Assessment of lifestyle and nutrition of megalopolis adolescents. *Voprosy dietologii = Nutrition Issues*. 2020; 10 (1): 18–26.

6. Shilov, V. N. Problems of hypodynamia in modern society. *Zdorove detey i podrostkov = Health of Children and Adolescents*. 2006; 2: 12–14.

7. Shlyk, N. I. *Serdechnyy ritm i tip regulyatsii u detey, podrostkov i sportsmenov = Heart rate and type of regulation in children, adolescents and athletes*. Izhevsk: Udmurt University; 2009: 255 p.

8. Eveloff, J. L., Finkelstein, J., Buxbaum, J. D., Jolesz, F. A., Kase, C. S., Growdon, J. H. Regional cerebral metabolic rate of oxygen in Parkinson's disease. *Neurology*. 1987; 37 (1): 11–15.

9. Tomao, E., Tiziana, P. B., Rosati, V., Marcellini, L., Tomei, F. The effects of air pollution on the lipid balance of traffic police personnel. *Annals of Saudi Medicine*. 2002; 22 (5–6): 287–290.

Информация об авторах

Трясучев А. В. — кандидат биологических наук, доцент;

Курыянова Е. В. — доктор биологических наук, доцент, профессор;

Сергиенко А. В. — студент.

Information about the authors

Tryasuchev A. V. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor;

Kuryanova E. V. — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor;

Sergienko A. V. — student.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

All authors have made equivalent contributions to publications.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26.08.2025; одобрена после рецензирования 04.09.2025; принята к публикации 08.09.2025.

The article was submitted 26.08.2025; approved after reviewing 04.09.2025; accepted for publication 08.09.2025.