УДК617.586:616.12-008.1-072.7/616.235-053.4
https://doi.org/10.31612/2616-4868.3.2025.09

ОСОБЛИВОСТІ КИСНЕВОТРАНСПОРТНОЇ ФУНКЦІЇ У ДІТЕЙ З ГОСТРИМИ РЕСПІРАТОРНИМИ ЗАХВОРЮВАННЯМИ

Олександр Г. Буряк, Юрій М. Нечитайло

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна

Резюме

Вступ. Гострі запальні захворювання нижніх дихальних шляхів у дітей вважаються найпоширенішою причиною госпіталізації. В їх патогенезі реєструються порушення з боку серцево-судинної системи, особливо при гіпоксичних станах. Навіть у випадках легкого та середньотяжкого перебігу гострих пневмоній та бронхітів спостерігаються серцево-судинні порушення, особливо з боку мікроциркуляції (МКЦ) та пов'язана з цим нестабільність сатурації крові киснем.
Мета. Оцінити стан мікроциркуляції та показники периферійного газообміну у дітей з гострим бронхітом (ГБ) та з позалікарняною пневмонією (ГПП) з виділенням факторів підвищеного ризику тяжкого перебігу хвороби.
Матеріали та методи. В роботі проаналізовано дані біомікроскопії судин нігтьового ложа, рівня сатурації капілярної крові киснем (SaO_2) за пульсоксиметрією та показниками прес-тесту оцінки відновлення мікроциркуляції у 60 госпіталізованих дітей шкільного віку (30 з ГПП та 30 з ГБ) у порівнянні з даними 30 дітей контрольної групи. Отримані результати оброблялися статистично параметричними та непараметричними методами.
Результати. Госпіталізовані діти обстежувалися у період ранньої реконвалесценції, із стабілізацією загального стану та нормалізацією температури тіла. У хворих дітей показник сатурації крові киснем не досягав критичних рівнів, але був достовірно нижчим, ніж у контрольній групі (ГПП – 96,6±0,41%, ГБ – 96,6±0,44%, контроль – 97,7±0,19%, $p<0,05$). При біомікроскопії було зафіксовано ряд змін, таких як спазмованість артеріол і капілярів, зменшення кількості функціонуючих капілярних петель, звивистість та помірне сладжування у венулах. Ці зміни реєструвалися в більшому ступені у дітей з гострою позалікарняною пневмонією, в меншому – у дітей з гострим бронхітом. Кластерний аналіз показників мікроциркуляції та SaO_2 вказує на взаємозв'язки між ними, в основі яких лежить уповільнення периферійного кровотоку, ймовірно через ендотеліальну дисфункцію.
Висновки. У дітей з ГПП та ГБ навіть у період ранньої реконвалесценції спостерігаються судинні порушення з боку мікроциркуляторного русла у вигляді спазмованості артеріол і капілярів, зменшення кількості функціонуючих капілярних петель, звивистості та помірного сладжування венул. Ці зміни реєструються у поєднанні з нестабільною сатурацією крові киснем, що вказує на ураження судин МКЦ у процесі перебігу гострих захворювань нижніх дихальних шляхів у дітей. Ступінь таких змін дає можливість прогнозувати ризик тяжкого перебігу ГПП.

Ключові слова: **гостра пневмонія, бронхіт, діти, сатурація киснем, мікроциркуляція, прес-тест**

ВСТУП

Гострі респіраторні захворювання у дітей займають в світі одне з перших місць за поширеністю та частотою госпіталізації у педіатричні лікарні [1, 2]. Поряд з тим, в їх патогенезі практично завжди реєструються порушення з боку серцево-судинної системи, особливо при гіпоксичних станах, що спонукає практикуючих лікарів та дослідників говорити про поєднану кардіореспіраторну систему [3, 4]. З моменту початку епідемії коронавірусної інфекції таке сприйняття коморбідної патології стало ще більш поширеним – більше ніж у 80% випадків хвороби навіть з легким та середньотяжким перебігом

симптоматики спостерігаються серцево-судинні порушення, особливо з боку мікроциркуляторного русла (МКЦ), нестабільність сатурації крові киснем (SaO_2) [4, 5]. Щонайменше у 15% випадків коронавірусної інфекції реєструвався розвиток гострої дихальної та циркуляторної гіпоксемічної недостатності, що суттєво погіршувало стан пацієнта [6]. В той же час, нестабільність сатурації та погіршення забезпечення тканин киснем є притаманними для захворювань дихальної системи різної етіології та патогенезу будь-якої тяжкості перебігу [7-10]. Навіть при гострих респіраторних захворюваннях з коротким перебігом реєструються явища периферійної гіпоксемії. Такі зміни пов'язуються з ендотеліальною дисфункцією, яка асоціюється з тяжкістю перебігу хвороби [11]. Ймовірно, основним механізмом для ендотеліальної дисфункції може бути прямий цитопатичний ефект вірусів, бактерій та продуктів їх обміну, а також ефект медіаторів запалення внаслідок імунної відповіді організму хворого. Серед клінічних проявів таких впливів може бути значне підвищення температури тіла та розвитку злоякісного типу гіпертермії – такої як «біла» лихоманка з централізацією кровообігу [12]. В основі такої реакції лежать порушення МКЦ зі спастичним станом чи виключенням з кровообігу значної кількості дрібних мікросудин кінцівок [13]. Однією з методик встановлення спастичних станів та порушення мікроциркуляції безпосередньо у ліжка хворого є прес-тест (ПТ) на відновлення наповнення капілярів (capillary refill test) [14, 15]. Він переважно застосовується у відділеннях інтенсивної терапії і дуже обмежено в широкій педіатричній практиці. В той же час, цей тест може розширити можливості прогнозування перебігу хвороби та загрози злоякісної гіпертермії. Врахування всіх патогенетичних механізмів порушень транспортування кисню у перебігу респіраторних станів мають вирішальне значення не тільки для успішного лікування, але й для попередження віддаленого ризику серцево-судинних подій після гострих респіраторних інфекцій [8, 16]. Проактивний підхід дозволяє ранню ідентифікацію фізіологічних порушень, в тому числі гіпоксемічних станів, сприяючи швидкій ініціації подальших фізичних оцінок та вибору оптимальної лікувальної тактики. Таке прогнозування має бути клінічним і біологічним, цілком реальним та зручним для застосування біля ліжка хворого [12, 13].

МЕТА

Оцінити стан мікроциркуляції та показники периферійного газообміну у дітей з гострим бронхітом (ГБ) та з позалікарняною пневмонією (ГПП) з виділенням групи підвищеного ризику тяжкого перебігу хвороби.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У роботі проаналізовано стан МКЦ за показниками капіляроскопії нігтьового ложа та рівня сатурації капілярної крові киснем за пульсоксиметрією. В дослідження були включені діти, які знаходилися на стаціонарному лікуванні: 30 дітей шкільного віку з ГПП та 30 – з ГБ. Отримані показники порівнювалися із даними контрольної групи здорових осіб (30 дітей). У пацієнтів реєструвалися частота пульсу та рівень SaO_2 на четвертому пальці руки із застосуванням пульсоксиметра CMS50D-BT (Conte medical system™, Китай) із реєстрацією в комп'ютерній програмі даних SaO_2 та частоти пульсу. Проводилась також біомікроскопія нігтьового ложа пальця руки із застосуванням цифрового USB мікроскопу Supereyes B008 (Shenzhen Supereyes Co, КНР). Зображення фіксувалося на комп'ютері з наступним напівкількісним аналізом. Поряд з тим, на контрлатеральній руці проводився клінічний ПТ оцінки відновлення мікроциркуляції з виміром у секундах. Отримані результати оброблялися статистично з використанням програми Statistica 6,0 (StatSoft) параметричними та непараметричними методами, для твердження про вірогідність різниці враховувалася величина рівня ймовірності $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ

Госпіталізовані діти обстежувалися у період ранньої реконвалесценції – на 4-5 день перебування у стаціонарі, із стабілізацією загального стану та нормалізацією температури тіла. За тяжкістю загального стану при госпіталізації в дослідження включалися тільки діти з легким та середньотяжким перебігом. Тяжкість перебігу хвороби вірогідно корелювала із збільшенням частоти дихання ($r=0,40$, $p<0,05$), наявністю хрипів різного калібру при аускультації ($r=0,39$, $p<0,05$) та зростанням часу ПТ ($r=0,36$, $p<0,05$).

В цілому показник SaO_2 у дітей з респіраторними захворюваннями не сягав критичних рівнів, але був вірогідно нижчим, ніж у контрольній групі (ГПП 96,6±0,41%, ГБ 96,6±0,44%, контроль 97,7±0,19%, $p<0,05$) (Рис. 1). При оцінці ефективності забезпечення тканин киснем також застосовували оцінку рівня SaO_2 відносно вікових перцентильних коридорів [17]. Для вікової групи здорових дітей шкільного віку показник 5-ї перцентилі рівня SaO_2 складає 97,8%. Виходячи з цього, ми аналізували кількість дітей в кожній групі з показником нижче вказаної перцентилі. Показники відносного ризику (ВР) зниження рівня SaO_2 нижче 5-ї перцентилі у дітей з ГПП 2,8 (95% довірчий інтервал – 1,7-3,5, $p<0,05$), для дітей з ГБ – 2,4 (95% довірчий інтервал – 1,4-3,9, $p<0,05$).

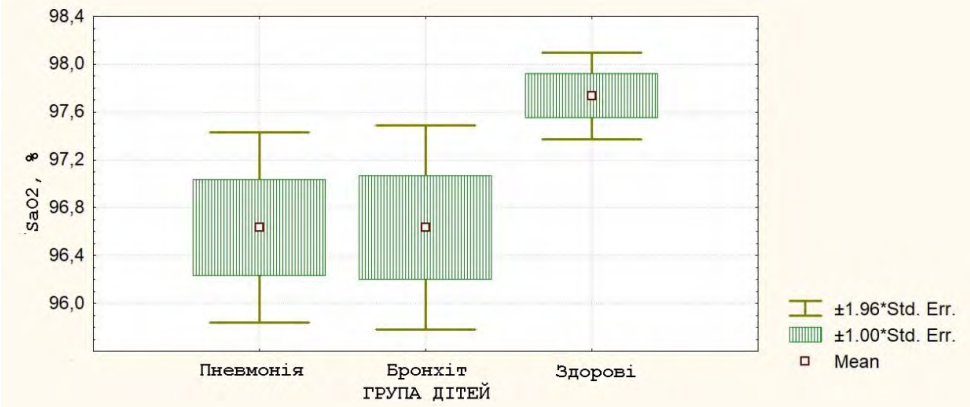

Рисунок 1. Показники SaO_2 у групах обстежених дітей.

При біомікроскопії нігтьового ложа було зафіксовано ряд змін МКЦ у дітей з респіраторними захворюваннями, таких як блідість фону, спазмованість артеріол і капілярів, зменшення кількості функціонуючих капілярних петель (Рис. 2), звивистість та помірне сладжування венул. Ці зміни реєструвалися в більшому ступені у дітей з ГПП, в меншому – у дітей з ГБ, хоча при напівкількісній оцінці різниця показників між групами не мала вірогідного характеру, що очевидно пов'язано з обстеженням у період ранньої реконвалесценції, а не в розпалі хвороби.

Кластерний аналіз найбільш суттєвих показників мікроциркуляції та SaO_2 вказує на певну ієрархію патологічних змін у різних судинах (Рис. 3).

Рисунок 2. Спазмованість судин МКЦ та збідніння термінального кровотоку (*150).

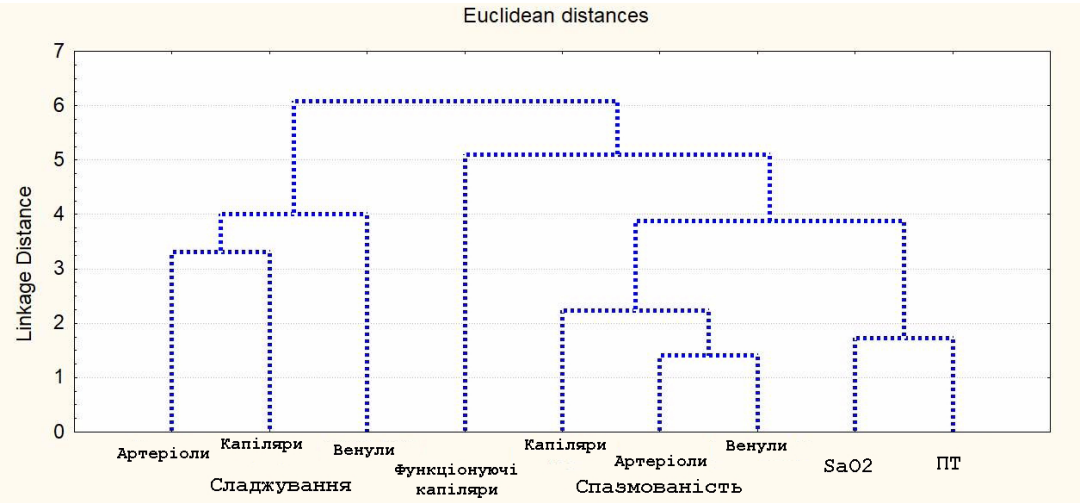

Рисунок 3. Дерево кластерних зв'язків показника SaO_2 та стану мікроциркуляції.

Два основні кластери пов'язані із морфологічними та функціональними змінами у МКЦ. В першому кластері основні зв'язки були підпорядковані стану функціонуючих судин. Найближчими предикторами зниження сатурації були: стан спазмованості артеріол і венул, в меншому ступені капілярів, що вказує на уповільнення периферійного кровотоку, ймовірно через ендотеліальну дисфункцію, прямий цитопатичний ефект збудників та медіаторів запалення, а також через адаптивну реакцію на зниження доставки кисню до тканин. В унісон з цим змінюються показники ПТ з його значним подовженням.

ДИСКУСІЯ

В описаних явищах можна виділити дві детермінанти: системну циркуляцію, яка відображає рівень систолічного і пульсового артеріального тиску, та регіональну мікроциркуляцію. Найчастіше появі дисфункції макроциркуляції сприяють гіповолемія, низький серцевий викид, периферичні захворювання судин та аномальний судинний тон [18]. У обстежених дітей не було встановлено суттєвої різниці між групами за рівнем артеріального тиску. Тому явище сладжування в мікросудинах у другому кластері, ймовірно, є наслідком зменшення кількості функціонуючих капілярів і уповільнення периферійного кровотоку. В нашому досліджені звертає на себе увагу тісний взаємозв'язок між рівнем SaO_2 та подовженням ПТ. Тест відрізняється досить високою чутливістю (0,71), але слабкою специфічністю (0,39), оскільки існує значна кількість факторів, що впливають на його показники, як от – температура пальців, тонус м'язів руки тощо. Відповідно його рівень менше 2 секунд на 95% описує прогноз нетяжкого перебігу хвороби, в той час як показник тривалістю більше 4 секунд – це специфічний знак, «червоне світло», що може бути предиктором більш тяжкої клінічної ситуації. На думку низки дослідників, клінічне значення цього простого тесту часто недооцінюється лікарями [19, 20]. Міжнародні рекомендації пропонують ввести цей тест в число початкових рутинних тестів при госпіталізації дітей із можливим тяжким перебігом хвороби.

ВИСНОВКИ

У дітей з ГПП та ГБ навіть у період ранньої реконвалесценції спостерігаються судинні порушення з боку мікроциркуляторного русла у вигляді спазмованості артеріол і капілярів, зменшення кількості функціонуючих капілярних петель, звивистості та помірного сладжування у венулах. Ці зміни реєструються у поєднанні з нестабільною сатурацією крові киснем, що вказує на ураження судин МКЦ у процесі перебігу гострих захворювань нижніх дихальних шляхів у дітей. Присутність таких змін дає можливість прогнозувати ризик тяжкого перебігу ГПП.

Перспективи подальших досліджень. Раціональним може бути аналіз змін у дітей в залежності від віку та у прогностичній моделі тяжкості перебігу для іншої респіраторної патології – такої як гострий бронхіоліт.

ДОТРИМАННЯ ЕТИЧНИХ НОРМ

Дослідження проводилося з урахуванням принципів Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини в якості об'єкта дослідження». У всіх включених в дослідження отримано інформовану згоду на участь (батьків дітей або їхніх опікунів), яка акцентує увагу на відсутності інвазивних втручань. Протокол дослідження було обговорено та затверджено на засіданні комісії з питань біомедичної етики Буковинського державного медичного університету.

ФІНАНСУВАННЯ ТА КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Стаття фінансована власним коштом авторів.

ВНЕСОК АВТОРІВ

Буряк О. Г.[A, B, C, D]

Нечитайло Ю. М.[E, F]

REFERENCES

1. Borges, J., Rosa, M. V., Fernandes, R. M., Nogueira, P. J., & Bandeira, T. (2019). Hospital admissions in children with acute respiratory disease in Portugal. Pulmonology, 25(2), 122-125. https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2018.12.004
2. Yadav, K. K., & Awasthi, S. (2023). Childhood Pneumonia: What's Unchanged, and What's New?. Indian journal of pediatrics, 90(7), 693-699. https://doi.org/10.1007/s12098-023-04628-3
3. Oliveira, A. L. M. B., Rodrigues, G. D., Silva, B. M., Rohan, P. A., & Soares, P. P. D. S. (2025). Sex differences in cardiorespiratory control under hypoxia: the roles of oxygen desaturation and hypoxic exposure time. Frontiers in cardiovascular medicine, 12, 1473910. https://doi.org/10.3389/fcvm.2025.1473910

4. Restrepo, M. I., & Reyes, L. F. (2018). Pneumonia as a cardiovascular disease. Respirology, 23(3), 250-259. https://doi.org/10.1111/resp.13233
5. Cairo, B., Gelpi, F., Bari, V., Anguissola, M., Singh, P., De Maria, B., Ranucci, M., & Porta, A. (2025). A model-based spectral directional approach reveals the long-term impact of COVID-19 on cardiorespiratory control and baroreflex. Biomedical engineering online, 24(1), 8. https://doi.org/10.1186/s12938-024-01327-8
6. Mesquida, J., Caballer, A., Cortese, L., Vila, C., Karadeniz, U., Pagliazzi, M., Zanoletti, M., Pacheco, A. P., Castro, P., García-de-Acilu, M., Mesquita, R. C., Busch, D. R., Durduran, T., & HEMOCOVID-19 Consortium (2021). Peripheral microcirculatory alterations are associated with the severity of acute respiratory distress syndrome in COVID-19 patients admitted to intermediate respiratory and intensive care units. Critical care, 25(1), 381. https://doi.org/10.1186/s13054-021-03803-2
7. Ruppel, H., Bonafide, C. P., Beidas, R. S., Albanowski, K., Parlar-Chun, R., Rajbhandari, P., Kern-Goldberger, A. S., Stoeck, P. A., Snow, K., House, S. A., Lucey, K. E., Brady, P. W., Schondelmeyer, A. C., & Pediatric Research in Inpatient Settings (PRIS) Network (2024). Continuous pulse oximetry monitoring in children hospitalized with bronchiolitis: A qualitative analysis of clinicians' justifications. Journal of hospital medicine, 19(11), 1028-1034. https://doi.org/10.1002/jhm.13442
8. Schondelmeyer, A. C., Dewan, M. L., Brady, P. W., Timmons, K. M., Cable, R., Britto, M. T., & Bonafide, C. P. (2020). Cardiorespiratory and Pulse Oximetry Monitoring in Hospitalized Children: A Delphi Process. Pediatrics, 146(2), e20193336. https://doi.org/10.1542/peds.2019-3336
9. Tesfaye, S. H., Loha, E., Johansson, K. A., & Lindtjørn, B. (2022). Cost-effectiveness of pulse oximetry and integrated management of childhood illness for diagnosing severe pneumonia. PLOS global public health, 2(7), e0000757. https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0000757
10. Khan, M., Pretty, C. G., Amies, A. C., Balmer, J., Banna, H. E., Shaw, G. M., & Geoffrey Chase, J. (2017). Proof of concept non-invasive estimation of peripheral venous oxygen saturation. Biomedical engineering online, 16(1), 60. https://doi.org/10.1186/s12938-017-0351-x
11. Arslan, N. G., Aksakal, Ş., Yılmam, İ., & Görgün, S. (2022). VEGF, IL-17 and IgG4 levels of patients with lung sequelae in post-COVID-19 period. Tuberkuloz ve toraks, 70(2), 179-186. https://doi.org/10.5578/tt.20229808
12. Kuijpers, D. L., Peeters, D., Boom, N. C., van de Maat, J., Oostenbrink, R., & Driessen, G. J. A. (2021). Parental assessment of disease severity in febrile children under 5 years of age: a qualitative study. BMJ open, 11(3), e042609. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-042609
13. Chung, Y. T., Yeh, C. Y., Chen, C. C., Lai, C. H., Lin, Y. H., Lin, C. Y., Shu, Y. C., & Ko, N. Y. (2024). Early changes in skin surface temperature predict body temperature increases in patients with fever: A pilot study. Intensive & critical care nursing, 83, 103652. https://doi.org/10.1016/j.iccn.2024.103652
14. Fernández-Sarmiento, J., Lamprea, S., Barrera, S., Acevedo, L., Duque, C., Trujillo, M., Aguirre, V., & Jimenez, C. (2024). The association between prolonged capillary refill time and microcirculation changes in children with sepsis. BMC pediatrics, 24(1), 68. https://doi.org/10.1186/s12887-024-04524-5
15. Fleming, S., Gill, P., Jones, C., Taylor, J. A., Van den Bruel, A., Heneghan, C., & Thompson, M. (2015). Validity and reliability of measurement of capillary refill time in children: a systematic review. Archives of disease in childhood, 100(3), 239-249. https://doi.org/10.1136/archdischild-2014-307079
16. Jacquet-Lagrèze, M., Pernollet, A., Kattan, E., Ait-Oufella, H., Chesnel, D., Ruste, M., Schweizer, R., Allaouchiche, B., Hernandez, G., & Fellahi, J. L. (2023). Prognostic value of capillary refill time in adult patients: a systematic review with meta-analysis. Critical care, 27(1), 473. https://doi.org/10.1186/s13054-023-04751-9
17. Chada, V. R., Gulla, K. M., Das, R. R., & Kumar, K. (2024). Normative values of oxygen saturation by pulse oximetry (SpO2) in apparently healthy children from Eastern India – A cross-sectional study. Lung India, 41(5), 362-365. https://doi.org/10.4103/lungindia.lungindia_485_23
18. Low, D. A., Jones, H., Cable, N. T., Alexander, L. M., & Kenney, W. L. (2020). Historical reviews of the assessment of human cardiovascular function: interrogation and understanding of the control of skin blood flow. European journal of applied physiology, 120(1), 1-16. https://doi.org/10.1007/s00421-019-04246-y
19. Fleming, S., Gill, P., Jones, C., Taylor, J. A., Van den Bruel, A., Heneghan, C., Roberts, N., & Thompson, M. (2015). The Diagnostic Value of Capillary Refill Time for Detecting Serious Illness in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. PloS one, 10(9), e0138155. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138155
20. Jacquet-Lagrèze, M., Pernollet, A., Kattan, E., Ait-Oufella, H., Chesnel, D., Ruste, M., Schweizer, R., Allaouchiche, B., Hernandez, G., & Fellahi, J. L. (2023). Prognostic value of capillary refill time in adult patients: a systematic review with meta-analysis. Critical care, 27(1), 473. https://doi.org/10.1186/s13054-023-04751-9

Abstract

PECULIARITIES OF OXYGEN TRANSPORT FUNCTION IN CHILDREN WITH ACUTE RESPIRATORY DISEASES

Oleksandr H. Buriak, Yurii M. Nechytailo

Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

Introduction. Acute inflammatory diseases of the lower respiratory tract in children are considered to be the most common cause of high hospitalization rates. In their pathogenesis, disorders of the cardiovascular system are recorded, especially under hypoxic conditions. Even in cases of mild and moderate course of acute pneumonia and bronchitis, cardiovascular disorders are observed, especially from microcirculation (MC) and associated with instability of blood oxygen saturation.
Aim. To evaluate the peculiarities of the MC and peripheral gas exchange indicators in children with acute bronchitis (AB) and community-acquired pneumonia (CAP) with the assessment of increased risk of severe course of disease.
Materials and methods. The data of the biomicroscopy of the finger nail bed vessels, the level of the capillary blood oxygen saturation (SaO_2) from pulsoxymetry and capillary refill test obtained in 60 school-age children (30 with CAP and 30 with AB) compared to the data of 30 children of the control group) were assessed. The obtained results were analyzed statistically using parametric and nonparametric methods.
Results. Hospitalized children were examined during the early convalescence with stabilized general conditions and normalization of body temperature. In patients' blood oxygen saturation did not reach critical levels, but were significantly lower than in the control group (CAP – 96.6±0.41%, AB – 96.6±0.44%, control – 97.7±0.19%, $p < 0.05$). In biomicroscopy, a number of changes were recorded, such as arterioles and capillary cramps, reducing the number of functioning capillary loops, tortuosity and red cells adhesion in venules. These changes were registered in a greater extent in children with CAP and slight lower – in children with AB. Cluster analysis of MC and SaO_2 indicators shows a relationship between them based on slowed down peripheral blood flow, probably due to endothelial dysfunction.
Conclusions. In children with CAP and AB, even in period of early convalescence, vascular disorders of the MC bed in the form of spasms of arterioles and capillaries, reducing the number of functioning capillary loops, tortuosity of venules could be present. These changes are recorded in combination with the unstable blood oxygen saturation, which indicates damage to the MC vessels in the course of acute lower respiratory tract diseases in children. The presence of such changes makes it possible to predict the risk of severe CAP.

Keywords: **acute pneumonia, bronchitis, children, oxygen saturation, microcirculation, capillary refill test**

Received: 10.12.2024
Accepted: 13.02.2025