



УДК 616.24-071.6(072)-053.2

## АУСКУЛЬТАЦІЯ ОРГАНІВ ДИХАННЯ З ТОЧКИ ЗОРУ БІОАКУСТИКИ ТА ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Майданник В.Г.<sup>1</sup>, Ємчинська Є.О.<sup>1</sup>,  
Макаренкова А.А.<sup>2</sup>, Макаренков А.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ

<sup>2</sup> Інститут гідромеханіки НАН України, Київ

### Вступ

Аускультация відіграє провідну роль у діагностиці патології органів дихання як у дорослих, так і у дітей. Аускультация легень дозволяє вислуховувати шуми, що виникають у результаті дихання людини, а також виявляти патологічні процеси, які спричиняють зміни нормальних дихальних шумів [1]. З 1816 року, коли Рене Лаеннек винайшов перший стетоскоп, було висунуто ряд теорій, які намагались пояснити механізми формування звуків дихання, що генеруються в бронхолегеневій системі людини. Сьогодні сучасні комп'ютерні технології та методи, що засновані на їх використанні, дозволяють проводити точний облік і аналіз звуків дихання [2].

### Мета досліджень

Підвищити ефективність первинної діагностики захворювань органів дихання за допомогою комп'ютерної фоноспірографії.

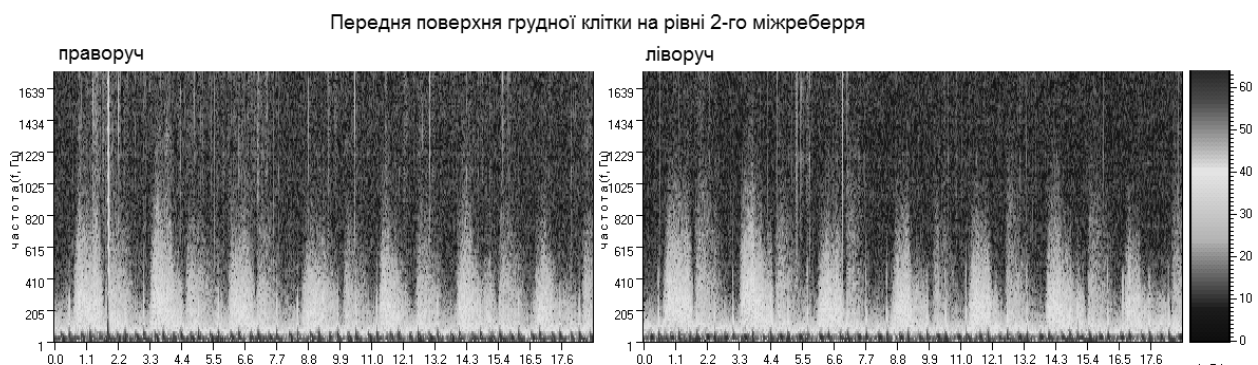
### Матеріали і методи

Було обстежено 148 дітей. З них 88 пацієнтів, хворих на позагоспітальну пневмонію, 20 пацієнтів, хворих на гострий простий бронхіт, та 40 дітей без патології органів дихання. Всі діти були розділені на вікові групи: I групу склали пацієнти віком від 3 до 6

років, II дітей – від 7 до 11 років, III дітей – від 12 до 17 років. Всім пацієнтам проведено клінічне та лабораторно-інструментальне обстеження. Діагноз позалікарняної пневмонії та гострого простого бронхіту верифіковано рентгенологічно. Для виконання поставленої мети та завдань дослідження всім дітям проведена комп'ютерна фоноспірографія. Методика даного обстеження полягає у синхронній одномоментній 4-канальній реєстрації звуків дихання на поверхні грудної клітини з наступною цифровою обробкою та візуалізацією звукового сигналу у вигляді фоноспірограми.

### Результати досліджень

Під час аналізу фоноспірограм дітей без патології органів дихання, незалежно від віку, відзначено, що показники частотного діапазону вдиху і видиху на попарно симетричних каналах не відрізняються ( $p > 0,05$ ) (рис. 1). Частотні характеристики вдиху у всіх вікових групах на всіх каналах перевищували видих. Більш широкий частотний діапазон як вдиху, так і видиху реєструвався на рівні 2-го міжребер'я на передній поверхні грудної клітки, у порівнянні з результатами, що були отримані на задній поверхні грудної клітки під кутом лопатки (рис. 1).



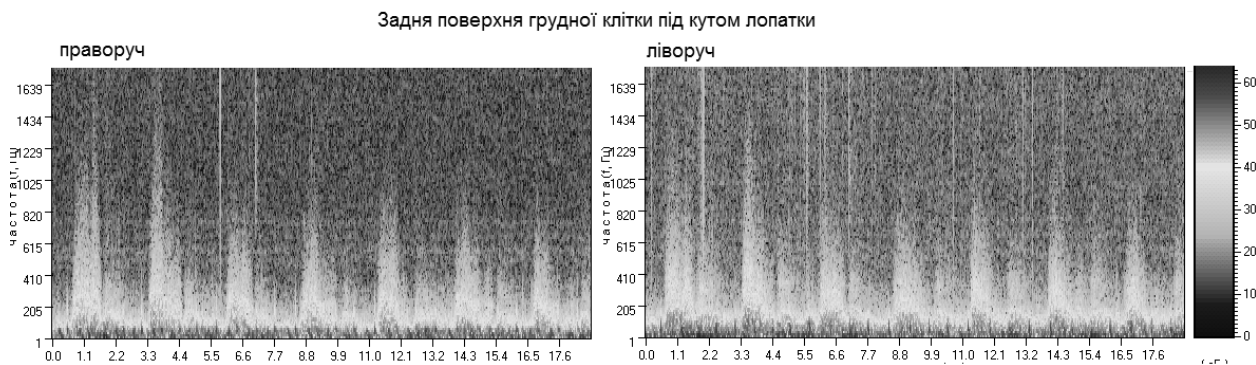


Рис. 1. Фоноспірограма дитини віком 4 роки без патології органів дихання

Аналіз фоноспірограм дітей різного віку показав залежність акустичних характеристик дихальних шумів від віку (рис. 2).

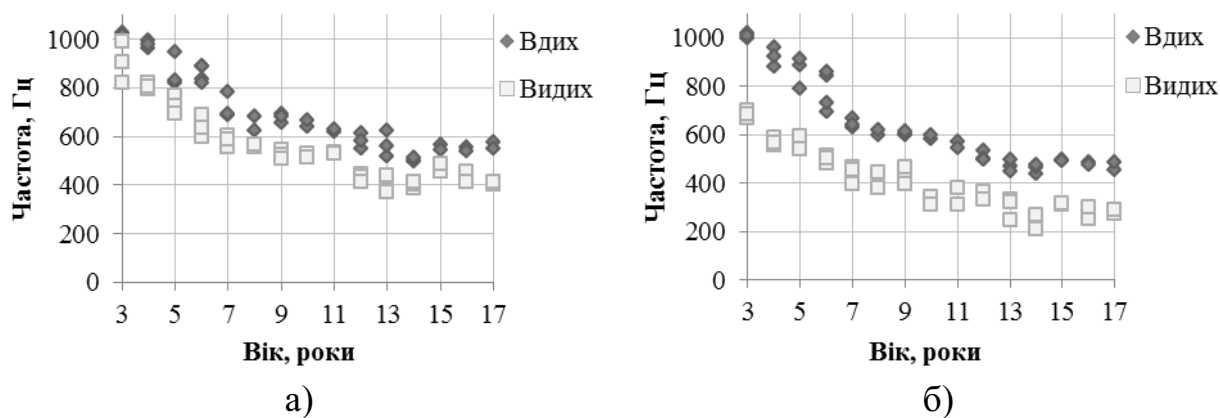


Рис. 2. Динаміка частотного діапазону вдиху та видиху у дітей різного віку на 1,4 каналах (а) та 2,3 каналах (б)

Встановлено, що частотний діапазон та інтенсивність дихальних шумів відрізняються у дітей різних вікових груп. Так, у дітей віком від 3 до 6 років значення частотних характеристик та інтенсивності вдиху та види-

ху перевищували результати пацієнтів віком від 7 до 11 років ( $p < 0,05$ ). У дітей віком від 12 до 17 років частотний діапазон вдиху та видиху знижувався у порівнянні з показниками дітей віком від 7 до 11 років ( $p < 0,05$ ) (рис. 3).

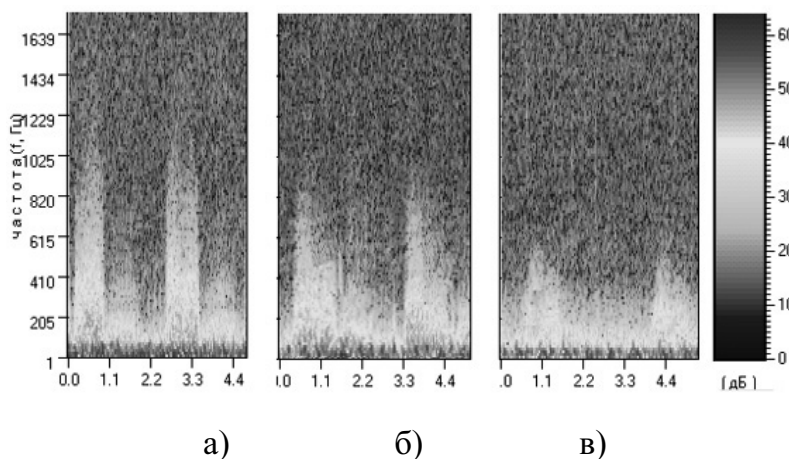


Рис. 3. Фоноспірограма здорових дітей різних вікових груп: а) 3 роки, б) 7 років, в) 16 років



Отже, у всіх обстежених дітей без патології органів дихання на передній поверхні грудної клітки на рівні 2-го міжребер'я зареєстроване бронхіальне дихання, на задній поверхні під кутом лопатки – везикулярне дихання.

Розширення частотного діапазону дихальних шумів на рівні 2-го міжребер'я по передній поверхні грудної клітки (бронхіальне дихання) обумовлено проекцією турбулентних шумів, що генеруються в трахеї та в головних бронхах під час проходження повітряного потоку. Турбулентність потоку визначається числом Рейнольда, яке прямопропорційне швидкості руху повітря та обернено пропорційне радіусу повітряних шляхів. Тому швидкість руху повітря в трахеї та головних бронхах є найбільшою. Так, згідно з розрахунками, по трахеї, діаметр якої складає 2,5 см, повітря рухається із швидкістю 1,63 м/с, а в головних бронхах прискорюється до 2 м/с (при коефіцієнті супротиву менше 1). Отже, в дихальних шляхах із великим діаметром буде мати місце турбулентний рух повітря, а в дистальних відділах – ламінарний [5]. Це буде зумовлювати більш високі частотні характеристики дихальних шумів, що генеруються в трахеї та бронхах великого калібру.

Звуження частотного діапазону вдиху та видиху під кутом лопатки по задній поверхні грудної клітки (везикулярне дихання) пов'язано із зменшенням швидкості руху ламінарного потоку. Так, швидкість руху повітря по бронхіаль-

ному дереву буде знижуватись із збільшенням загальної площі його поперекового перетину. Тобто, якщо кількість термінальних бронхіол у дорослої людини складає більше 150 тис., загальною площею перетину більше 290 см<sup>2</sup>, швидкість руху повітря буде зменшуватись до 2,7 см/с. На рівні респіраторних бронхіол, кількість яких складає більше 1,2 млн., а загальна площа перетину – більше 18 тис. см<sup>2</sup>, повітря буде рухатись із швидкістю 0,04 см/с. Отже, виникнення везикулярного доцільно пов'язувати із бронхіальними шумами, що генеруються при проходженні повітря під час вдиху, а не із коливанням альвеолярних стінок, як це вважалося дотепер [6]. Паренхіма легень виконує функцію високочастотного фільтра: повітря, яким наповнені альвеоли, «видаляє» високочастотний компонент, залишаючи середньо- та низькочастотні звуки [2, 5]. Саме з цим можна пов'язати розширення частотного діапазону вдиху та видиху у дітей молодшого віку (пуерильне дихання). Так, більш вузьким просвіт бронхів, сприяє збільшенню турбулентності потоку, а відносно тонка паренхіма легень «пропускає» високочастотні звукові коливання [3, 5].

При вивченні фоноспірограм дітей, хворих на гострий простий бронхіт та вогнищеву пневмонію, відзначено, що у 100% пацієнтів частотний діапазон вдиху та видиху суттєво розширюється порівняно з показниками дітей без патології органів дихання ( $p < 0,05$ ) (рис. 4).

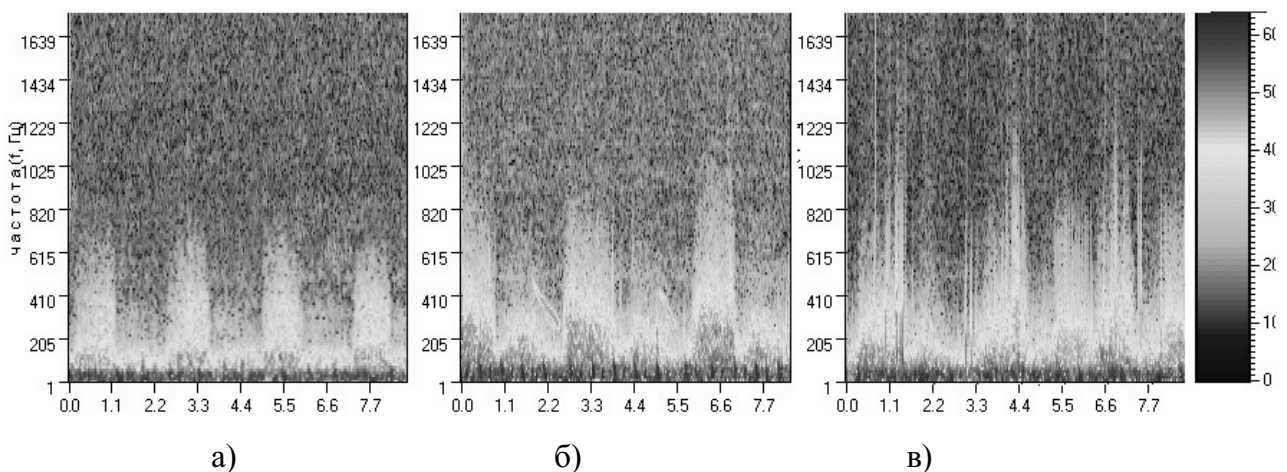


Рис. 4. Фоноспірограма здорової дитини (а), дитини, хворої на гострий простий бронхіт (б) та дитини, хворої на вогнищеву пневмонію (в) у віці 6 років

Такі патологічні зміни везикулярного дихання пов'язані із запальним процесом у бронхах, який супроводжується нерівномірним звуженням просвіту, що викликає додаткову турбулентність повітряного потоку. При цьому збільшується число Рейнольда, а час-

тотний діапазон вдиху та видиху розширюється [2, 5]. Аускультативно перераховані зміни вислуховуються як «жорстке» дихання [6].

Аналіз фоноспірограм хворих на односторонню сегментарну (полісегментарну) пневмонію показав, що у 91,4% пацієнтів знижуються



частотні характеристики вдиху та видиху на боці локалізації ураженого сегмента, у порів-

нянні з показниками, отриманими на боці без пневмонії ( $p < 0,05$ ) (рис. 5).

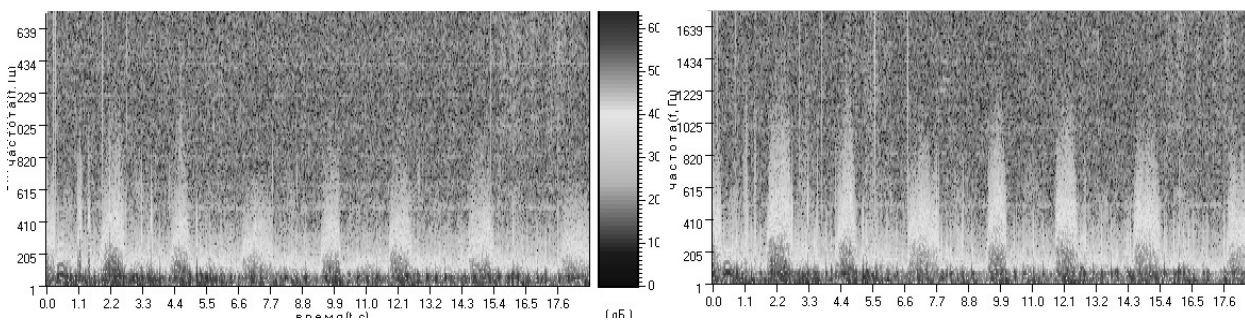


Рис. 5. Фоноспірограма дитини, хворої на правобічну сегментарну пневмонію у віці 4 роки

Зниження частоти основних дихальних шумів при сегментарній (полісегментарній) пневмонії може бути пов'язане зі стисненням сегментарних бронхів внаслідок вираженого інтерстиційного набряку. Це приводить до підвищення коефіцієнта супротиву (більше 1,0) та зменшення швидкості руху, відповідно, знижується число Рейнольда. Тому дихальні шуми, що генеруються в ділянці ураженого сегмента будуть мати більш низькі частотні характеристики (ослаблене везикулярне дихання) [4]. Проте слід зазначити, що при збереженні прохідності сегментарного бронху можливе розширення частотного діапазону основних дихальних шумів (бронхіальне дихання). Це пов'язано з тим, що паренхіма легень перестає виконувати функцію «високочастотного» фільтру через зменшення кількості повітря в альвеолах внаслідок накопичення в них ексудату [5].

Крім кількісних змін везикулярного дихання у пацієнтів із бронхолегеневою патологією на фоноспірограмах були присутні додаткові спектральні складові. У 72,2% пацієнтів в фазу вдиху та видиху реєструвались короточасні (до 0,1 с), непостійні, високоінтенсивні (від 55 до 48 дБ), широкосмугові імпульсні спектральні складові з частотним діапазоном від 100 до 1300 Гц (вологі хрипи), у 26,8% – непостійні, довготривалі (0,4-0,6 с) спектральні складові, зосереджені у вузькій полосі частот на рівні від 200 до 500 Гц з інтенсивністю від 51 до 40 дБ (сухі хрипи). У 82,9% пацієнтів, хворих на пневмонію додатково визначались високоінтенсивні (від 55 до 48 дБ) широкосмугові імпульсні спектральні складові з частотою від 100 – 1500 Гц (у дея-

ких випадках до 1700 Гц) в кінці кожної фази вдиху (крепітація).

Відмінності в акустичних характеристиках додаткових дихальних шумів обумовлені механізмами їх утворення. Так, тривалі низько-частотні додаткові спектральні складові (сухі хрипи) виникають внаслідок вібрації в'язкого секрету в просвіті бронха, під час проходження повітряного потоку, а також вібрацією безпосередньо стінки бронха при швидкому переміщенні повітряних мас через значно звужену ділянку (ефект Бернуллі) [2, 5, 6]. Механізм формування короткотривалих високочастотних додаткових спектральних складових (вологі хрипи) принципово інший. Механізм їх генерації пов'язаний із проходженням повітря через тонкий шар рідкого секрету [5]. Крепітація пов'язана із розкриванням термінальних бронхіол, що спалили під впливом зовнішнього тиску через інтерстиційний набряк. При цьому формується градієнт тиску – високий у центральному відділі бронхіоли та низький у дистальному відділі. Тому, розкривання термінальних бронхіол під час вдиху викликає швидке вирівнювання тиску і супроводжується характерним звуком [5].

Отже, біоакустична обґрунтованість теорій генерації фізіологічних та патологічних дихальних шумів дозволить проводити більш точну кореляцію акустичних феноменів із показниками легеневої механіки.

### Висновки

Цифрова обробка звукового сигналу дозволить проводити кількісний аналіз звуків дихання, що покращить ефективність первинної діагностики захворювань дихальної системи.

### Резюме.

**Вступ.** Аускультация відіграє провідну роль в діагностиці патології органів дихання як у дорослих, так і у дітей. Проте, використання сучасних комп'ютерних технологій та методів, що



засновані на їх використанні, дозволить детальний аналіз звуків дихання, що генеруються в бронхолегеневій системі людини.

**Мета досліджень:** підвищити ефективність первинної діагностики захворювань органів дихання за допомогою комп'ютерної фоноспірографії.

**Матеріали і методи.** Обстежено 88 пацієнтів, хворих на позагоспітальну пневмонію, 20 пацієнтів, хворих на гострий простий бронхіт та 40 дітей без патології органів дихання. Всім пацієнтам проведено клінічне та лабораторно-інструментальне обстеження. Для виконання поставленої мети та задач дослідження всім дітям проведена комп'ютерна фоноспірографія.

**Результати.** Показники частотного діапазону вдиху і видиху у здорових дітей на попарно симетричних каналах не відрізняються ( $p > 0,05$ ). Частотний діапазон дихальних шумів на рівні 2-го міжребір'я на передній поверхні грудної клітки перевищують показники на задній поверхні грудної клітки під кутом лопатки. Встановлено, що у дітей віком від 3 до 6 років значення частотних характеристик вдиху та видиху перевищували результати пацієнтів віком від 7 до 11 років ( $p < 0,05$ ). У дітей віком від 12 до 17 років частотний діапазон вдиху та видиху знижується у порівнянні з показниками дітей віком від 7 до 11 років ( $p < 0,05$ ).

У дітей, хворих на гострий простий бронхіт та вогнищеву пневмонію частотний діапазон та інтенсивність вдиху та видиху суттєво розширюється ( $p < 0,05$ ). У 91,4% пацієнтів, хворих на однобічну сегментарну (полісегментарну) частотні характеристики та інтенсивності вдиху та видиху знижуються на стороні локалізації ураженого сегмента, у порівнянні з показниками, отриманими на стороні без пневмонії ( $p < 0,05$ ).

У пацієнтів із захворюваннями дихальної системи реєструються додаткові спектральні складові. У 72,2% дітей в фазу вдиху та видиху реєструвались короткочасні (до 0,1 с), непостійні, високоінтенсивні (від 55 до 48 дБ), широкосмугові імпульсні спектральні складові з частотним діапазоном від 100 до 1300 Гц (вологі хрипи), у 26,8% - непостійні, довготривалі (0,4-0,6 с) спектральні складові, зосереджені у вузькій полосі частот на рівні від 200 до 500 Гц з інтенсивністю від 51 до 40 дБ (сухі хрипи). У 82,9% пацієнтів, хворих на пневмонію додатково визначались високоінтенсивні (від 55 до 48 дБ) широкосмугові імпульсні спектральні складові з частотою від 100 - 1500 Гц (у деяких випадках до 1700 Гц) в кінці кожної фази вдиху (крепітація).

**Висновки.** Цифрова обробка звукового сигналу дозволить проводити кількісний аналіз звуків дихання, що покращить ефективність первинної діагностики захворювань дихальної системи.

**Ключові слова:** аускультация, діагностика, патологія органів дихання, діти, комп'ютерна фоноспірографія.

### **Auscultation of Respiratory System by respect of Bioacoustics and digital technologies**

*Maidannyk V.H., Yemchynska Ye.O., Makarenkova A.A., Makarenkov A.P.*

#### **Summary.**

**Introduction.** Auscultation is important method in diagnosis pathology of the respiratory system. However, use of computer technology will allow a detailed analysis of respiratory sounds which generated in bronchopulmonary person.

**Objective:** Improve the effectiveness of primary diagnosis of respiratory diseases by use computer fonospirography.

**Materials and methods.** 88 patients with community-acquired pneumonia, 20 patients with acute bronchitis and 40 healthy children were examined. All patients underwent detailed laboratory examinations and clinical assessment and computer fonospirography.

**Results.** Frequency range of inhalation and exhalation are not differ in healthy children on symmetrical channels ( $p > 0,05$ ). Frequency of respiratory noise, which recorded in 2nd intercostal space on the front of the chest higher than respiratory noise on the back of the chest at an angle of scapula. Children aged from 3 to 6 years have a higher frequency characteristics of inhalation and exhalation than the results of patients aged from 7 to 11 years ( $p < 0,05$ ). Frequency range of inhalation and exhalation in children aged from 12 to 17 years is reduced compared to those of children aged 7 to 11 years ( $p < 0,05$ ).

Frequency range of the inhalation and exhalation significantly expanded in children with acute bronchitis and focal pneumonia ( $p < 0,05$ ). Frequency characteristics of inhalation and exhalation are



lower on the side of the localization of the diseased segment, compared with those obtained on the side without pneumonia in 91.4% of patients with segmental pneumonia frequency response of inhalation and exhalation are falling on the side of the localization of the diseased segment, compared with those obtained on the side without pneumonia in 91.4% of patients with unilateral segmental ( $p < 0,05$ ).

Additional spectral components was registered in patients with diseases of the respiratory system. Short (to 0.1 s), high-intensity (55 to 48 dB), wideband pulse spectral components with a frequency range from 100 to 1300 Hz registered in 72.2 % of children. Long (up 0.4 to 0.6 s) spectral components are concentrated in a narrow band of frequencies in the range of 200 to 500 Hz with an intensity of 51 to 40 dB registered in 26.8 % patients. Besides, high intensity (55 to 48 dB) broadband pulse spectral components with a frequency of 100 - 1500 Hz (in some cases up to 1700 Hz) at the end of each phase of inspiration registration in 82.9% of patients with pneumonia.

**Conclusions.** Digital audio signal processing allows the quantitative analysis of breath sounds that will improve the efficiency of primary diagnosis of diseases of the respiratory system.

**Key words:** auscultation, diagnostics, respiratory pathology, children, computer fonospirography

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Чеботарева В.Д., Майданник В.Г. Пропедевтична педіатрія. – К., 1999. – 579 с.
2. Bohadana A., Izbicki G., Kraman S. Fundamentals of Lung Auscultation. N Engl J Med. – 2014. – Vol. 370 (8.). – P. 744-751.
3. Емчинская Е.А., Макаренкова А.А. Возрастная трансформация звуков дыхания у здоровых детей // Акустичний вісник. – 2012. – Том 15 (3). – С. 22-28.
4. Майданник В.Г., Емчинская Е.А., Макаренкова А.А., Макаренко А.П. Фоноспирографическая диагностика клинко-рентгенологических форм внебольничной пневмонии у детей // Международный журнал педиатрии, акушерства и гинекологии. – 2013. – Том 3 (2). – С. 49-56.
5. Монджони С. Секреты клинической диагностики. – М.: Издательство БИОНОМ, 2004. – 608 с.
6. Василенко В.Х., Гребенев А.Л., Голочевская В.С. и др. Пропедевтика внутренних болезней. – М.: Медицина, 2001. – 592 с.