

УДК 579.61:616-092]-022.532:616-089(045)

Роль мікрочастинок у перенесенні патогенної мікрофлори в повітрі ортопедичних операційних (огляд літератури)

С. В. Васюк, Я. М. Васильчишин, В. Л. Васюк

Буковинський державний медичний університет, Чернівці. Україна

Ключові слова: мікрочастинки, наночастинки, фільтрація повітря, HEPA

Емпіричним шляхом ще у 1972 р. John Charnley, винахідник першого цементного ендопротеза кульшового суглоба, встановив, що після впровадження фільтрації повітря в операційній кількість інфекційних ускладнень ендопротезування кульшового суглоба знизилась з 9 до 1 % [1].

Вивчення зв'язку між вмістом частинок та мікробіологічною чистотою повітря в операційних триває і нині [2]. Проте взаємозв'язок між кількістю та складом мікрочастинок, які перебувають у зваженому стані в повітрі операційної, а також між мікробіологічною чистотою повітря та кількістю інфекційних ускладнень після операцій вивчений недостатньо.

Згідно з сучасною науковою літературою, мікрочастинки (МЧ) та наночастинки (НЧ) постійно присутні в атмосферному повітрі у вигляді стійких аерозолів, суттєво впливають на гомеостаз людського організму як самостійні чинники, так і опосередковано як носії патогенної мікрофлори. Єдиної класифікації частинок, зважених у повітрі, не створено. Найчастіше використовують такі їх розмірні фракції в повітрі:

- загальний пил (total suspended particles, TSP) — сума зважених речовин — поєднує всі частинки, які містяться в повітрі;
- РМ (Particulate matter) -10 — МЧ з аеродинамічним діаметром менш ніж 10 мкм;
- РМ-2,5 — МЧ з аеродинамічним діаметром менш ніж 2,5 мкм;
- РМ-1 — МЧ з аеродинамічним діаметром менш ніж 1,0 мкм;
- груба фракція (Coarse particles) — розміри від 2,5 до 10 мкм;
- найдрібніша частинка (Ultrafine particles), або наночастинка, — МЧ з аеродинамічним діаметром менш ніж 0,1 мкм.

Наночастинками називають тверді об'єкти діаметром менш ніж 0,1 мкм, а мікрочастинками — від 0,1 до 100 мкм.

Клінічне значення в профілактиці інфекційних ускладнень після операцій має дослідження частинок, розміри яких дорівнюють діаметру клітин патогенних мікроорганізмів, а також крупніших частинок, на поверхні яких мікроорганізми здатні осідати та переміщуватися на значні відстані, що під час операції призводить до можливого контамінування операційної рани, хірургічних інструментів та рукавичок. У зоні операційного столу загрозливий розмір частинок (серед них бактерії і гриби) коливається в межах від 1 до 30 мкм із середнім значенням 10 мкм [3].

Вплив МЧ інтенсивно вивчають, про що свідчить велика кількість публікацій протягом останніх років. Проте роль МЧ вивчена недостатньо. На відміну від макрооб'єктів вони мають незначну швидкість гравітаційного осідання і пересуваються в повітрі у випадкових напрямках за законами броунівського руху та з повітряними потоками на значні відстані, а дрібні фракції взагалі не осідають, існуючи як стійкий аерозоль. НЧ здатні проникати через непошкоджені шкіру, слизові оболонки, їх знаходять у крові, плазмі, всередині клітин, вони проходять крізь гематоенцефалічний та плацентарний бар'єри, тривало персистують в органах і тканинах, включаючи ЦНС, а частинки розмірами менш ніж 20 нм не підлягають фагоцитозу (рис. 1). Вплив цих об'єктів на імунний, біохімічний та інші статуси організму вивчений недостатньо, його необхідно надалі досліджувати. Недостатньо розроблена також методологія вивчення впливу МЧ на здоров'я людини, оскільки їх дія залежить не лише від дози, концентрації та хімічного складу, а й ступеня дисперсності, форми, заряду та шляхів їх надходження.

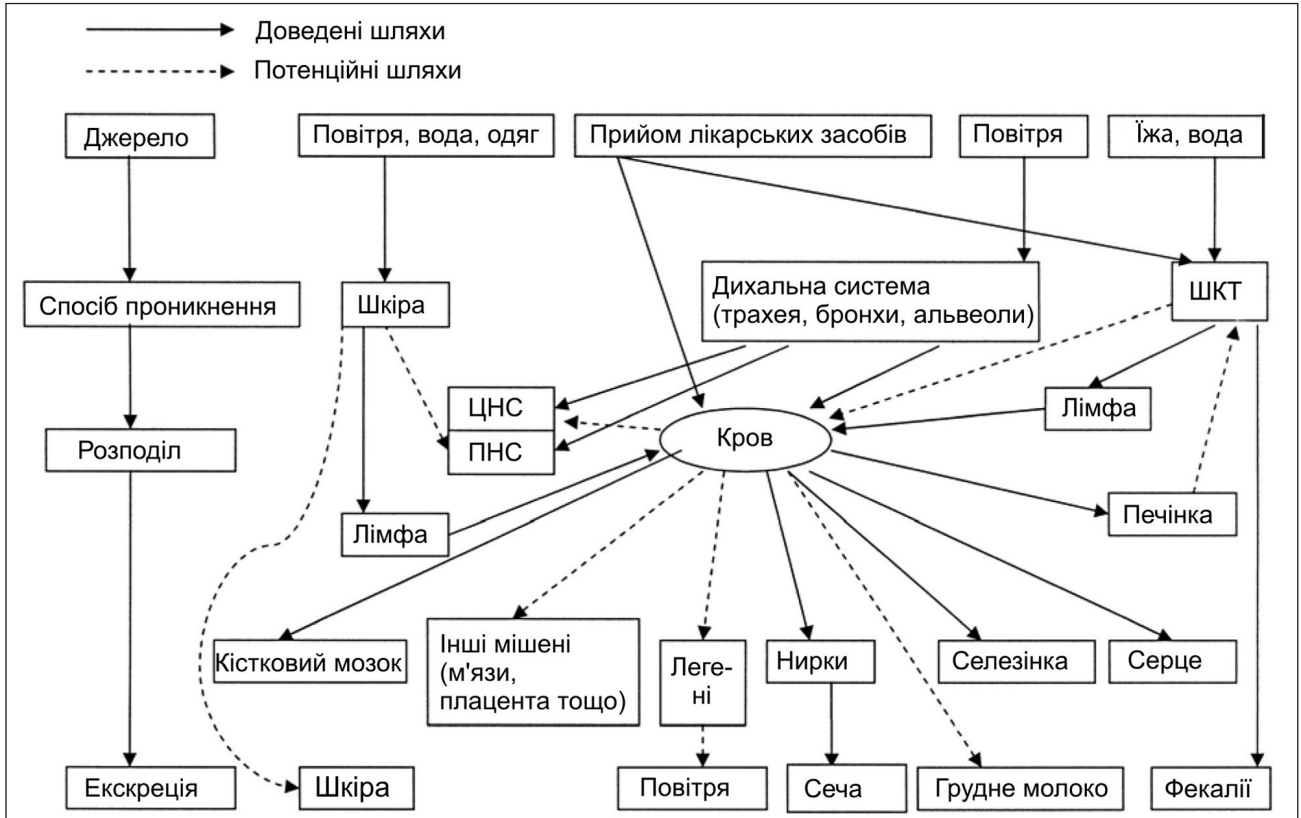


Рис. 1. Схема шляхів надходження, розподілу та виведення МЧ в організмі людини [11]

Наприклад, встановлено, що НЧ діоксиду титану мають канцерогенну дію, тоді як діоксид титану у звичайному стані є нетоксичною індиферентною сполукою, яку широко використовують у фармацевтичній та парфумерно-косметичній промисловості, причому частки дендричної та веретеноподібної форми токсичніші порівняно з частками сферичної форми [4].

Складність вивчення проблеми пов'язана ще й з різними властивостями частинок різних розмірів. Зокрема, встановлено, що НЧ здатні проникати в клітини, проходять будь-які бар'єри (гематоенцефалічний, плацентарний), вибірково накопичуються в різних типах клітин та певних клітинних структурах [5–10]. НЧ здатні до трансцитозу крізь епітеліальні та ендотеліальні клітини, розповсюджуються вздовж дендритів та аксонів у нервах, циркулюють у кровоносних та лімфатичних судинах, тропні до певних тканин [5, 11]. Хоча безпосередній вплив НЧ та МЧ на здоров'я людини вивчений недостатньо, ще менш дослідженим є питання про транспортування на їх поверхні патогенної мікрофлори — бактерій, вірусів, грибів та їх асоціацій.

Метою роботи було з'ясувати на підставі наукової літератури роль МЧ різних розмірів, суспензованих у повітрі операційних, у перенесенні патогенної

та умовно-патогенної мікрофлори на поверхню операційної рани, інструментарій та рукавиці хірурга.

Повітря — несприятливе середовище для розмноження мікроорганізмів внаслідок відсутності поживних речовин і недостатнього вмісту вологи. Крім того, повітря вільно пропускає сонячне світло, у тому числі ультрафіолетове, якому властива виражена мікробіцидна дія.

Життєздатність мікроорганізмів у повітрі забезпечують зважені частинки води, слизу, пилу і фрагментів ґрунту. Атмосферне і повітря закритих приміщень значно відрізняються за кількісним та якісним складом мікрофлори. Бактеріальна забрудненість житлових приміщень завжди вища, ніж атмосферного повітря, що справедливо для патогенних мікроорганізмів, які потрапляють у повітря від хворих людей, тварин і бактеріоносців.

Мікрофлору повітря умовно поділяють на постійну (резидентну) і тимчасову, яку виявляють спорадично. Найбільша кількість мікробів міститься в навколосемних шарах атмосфери. Із віддаленням від земної поверхні повітря стає чистішим. Постійна мікрофлора атмосферного повітря формується ґрунтовими мікроорганізмами. Більш-менш регулярно до її складу входять *Micrococcus roseus*, *M. flavus*, *M. candidam*, *Sarcina flava*, *S. alba*, *S. rosea*, *Bacillus sub-*

tills, *B. mycoides*, *B. mesentericus*, види *Actinomyces*, гриби родів *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor* тощо [12]

Тимчасова мікрофлора атмосферного повітря також формується мікроорганізмами ґрунту і штамми з поверхні водойм. Мікрофлора повітря надзвичайно динамічна, вона безперервно змінюється й оновлюється через коливання інтенсивності сонячної радіації та температур, вплив атмосферних опадів і вітру. Найбільшу кількість мікроорганізмів містить повітря великих промислових міст. Повітря ж полів, лісів, луків, а також водного простору, віддалених від населених пунктів, відрізняється відносною чистотою. Значних змін зазнає мікрофлора повітря залежно від пори року. Максимальну кількість мікробів виявляють влітку, а мінімальну — взимку.

Контамінація повітря патогенними мікроорганізмами відбувається крапельним шляхом у складі аерозолів, які утворюються під час розмови, кашлю, чхання, дихання. Крім того, мікроорганізми потрапляють у повітря з лусочками епітелію шкірних покривів, пилом із забрудненого одягу, постільної білизни або перев'язного матеріалу.

Мікроорганізми в повітрі перебувають у стані аерозолі. Аерозоль — колоїдна система, яка складається з повітря, крапель рідини або твердих частинок, і містить різні мікроорганізми. Під час чхання може утворюватися до 40 000 крапель. Розмір аерозольних частинок варіює від 10 до 2 000 нм.

Виділяють три основні фази бактеріального аерозолі залежно від розміру частинок, електричного заряду, швидкості руху — краплинну, пилову та краплинні ядерця.

Краплинна, або крупноядерна фаза, представлена дрібними краплями розміром понад 100 мкм. Вона складається з бактеріальних клітин, оточених водно-сольовою оболонкою. Частинок осідають досить швидко: тривалість перебування в повітрі становить кілька секунд, а швидкість переміщення — в середньому 30 см/с.

Крапельні ядерця, або дрібноядерна фаза, утворюються в процесі висихання частинок першої фази і складаються з бактеріальних клітин, які зберегли тільки хімічно зв'язану воду на своїй поверхні і вільну воду всередині клітин. У цій фазі частинки мають найменші розміри, легко переміщуються потоками повітря, тривалий час перебувають у ньому в підвішеному стані та можуть переноситися на значні відстані. Дрібноядерна фаза — це найстійкіша фаза, діаметр більшості частинок не перевищує 5 мкм, а швидкість їх осідання складає в середньому 0,013 см/с. При цьому швидкість їх пересування перевищує 30 см/с, тому вони можуть розсіюватися

на великі відстані. Ця фаза найбільш епідеміологічно небезпечна; це пояснюється тим, що в її складі поширюється більшість збудників повітряно-крапельних інфекцій, особливо малостійких до зовнішніх впливів (наприклад, збудник коклюшу).

Пилова фаза — великі тверді частинки розміром від 50 до 500 мкм, які швидко осідають, в результаті чого утворюється пил, здатний легко підніматися в повітря. Бактерії можуть переходити до її складу з перших двох фаз. Важлива властивість пилової фази — здатність легко здійматися під впливом навіть малих струменів повітря. Залежно від розміру частинок і швидкості повітряних течій, швидкість їх переміщення коливається в межах від 0,5 до 30 см/с. Ця фаза бактеріального аерозолі домінує в повітрі житлових та службових приміщень і з нею розсіюються патогенні мікроорганізми, стійкі до висушування (мікобактерії, кластридії, стафілококи, стрептококи, гриби). Вона є надзвичайно небезпечною під час проведення операцій, оскільки може стати причиною ранніх та відтермінованих інфекційних ускладнень [12].

Патогенної мікрофлори практично немає в повітрі у вільному стані, але її майже завжди виявляють на поверхні МЧ. Зокрема відомо, що розміри вірусів коливаються в межах 10^8 – 10^6 м, бактерій — 10^7 – 10^4 м, мікроскопічних грибів — від 10^5 м (рис. 2). Потребують вивчення закономірності відносного розміру патогенної мікрофлори та МЧ, здатних до її перенесення.

Концентрація МЧ у повітрі приміщень медичного призначення, у тому числі операційних та палат інтенсивної терапії, у багатьох країнах регламентована відповідними гігієнічними стандартами щодо чистоти повітря [13–15]. В Україні приміщення класифікують за групами по максимально допустимій кількості частинок і колонієутворюючих одиниць (КУО), тобто життєздатних мікроорганізмів, у повітрі. Максимально допустиму кількість частинок за класами чистоти визначають відповідно до ДСТУ ГОСТ ІСО 14644-1:2004 «Чисті приміщення і пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 1. Класифікація чистоти повітря (ГОСТ ІСО 14644-1-2002, IDT)». Категорія «особливо чисте» приміщення відповідає терміну «чисте приміщення», визначеному ДСТУ ГОСТ ІСО 14644-1:2004. Особливо чисті (ОЧ) та чисті (Ч) приміщення за максимально допустимою кількістю частинок повинні відповідати чистим зонам «Класу 8 ISO». Максимально допустима кількість частинок (розміром $\geq 0,5$ мкм) у 1 м^3 повітря не повинна перевищувати 3 520 000 [13].

Мікробіологічне дослідження повітря в лікувальних закладах України згідно з чинними нормами

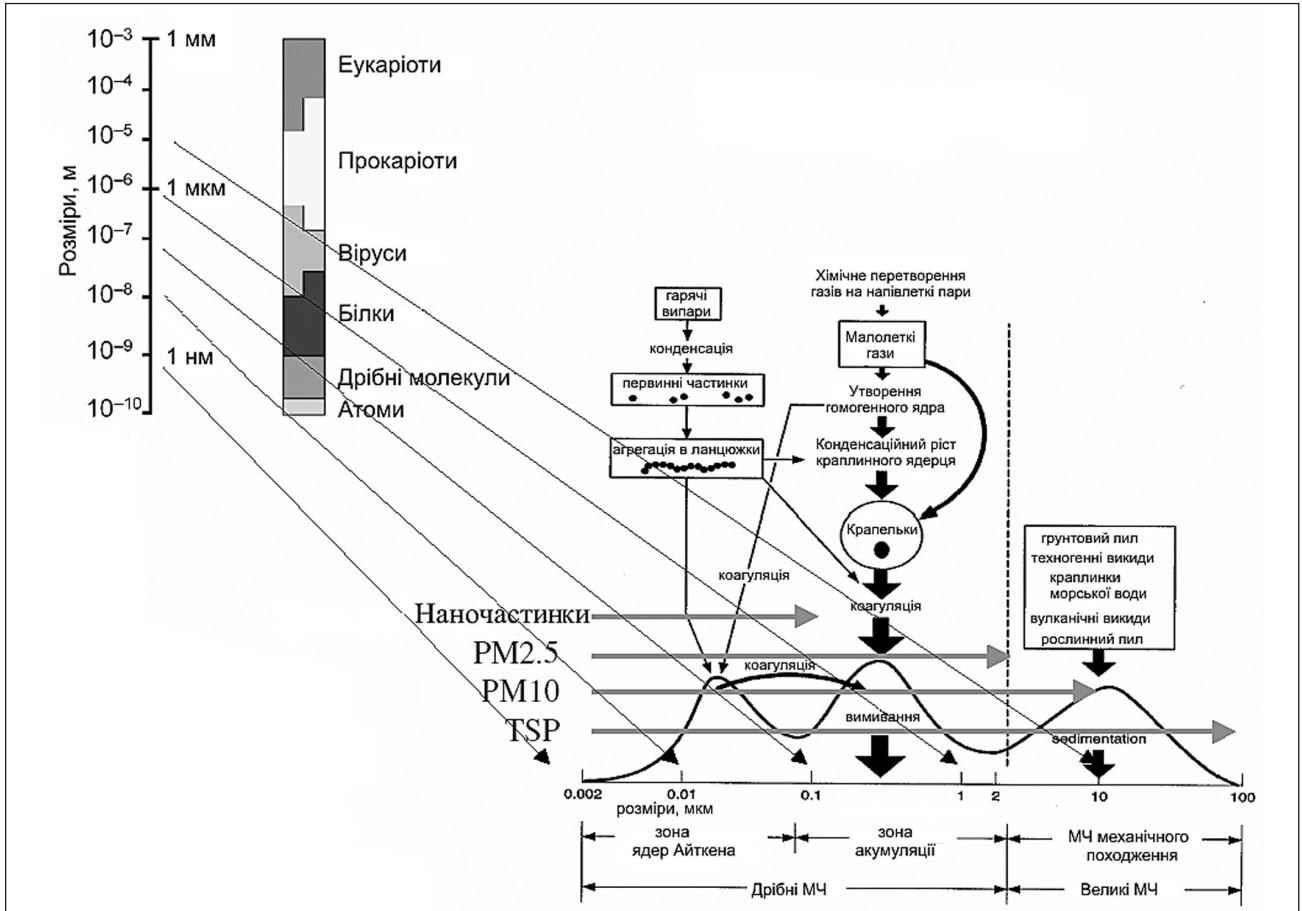


Рис. 2. Схема відносних розмірів МЧ та шляхів їх перетворень [5]

проводить щоквартально під час поточної санітарної перевірки центр Державної санітарно-епідеміологічної служби; один раз на місяць — бактеріологічні лабораторії лікарень і за епідеміологічними показниками. У системі гігієнічних і протиепідемічних заходів під час поточного санітарного контролю визначають загальне мікробне число повітря та кількість санітарно-показових мікроорганізмів (СПМ) в 1 м^3 повітря, при цьому такими СПМ вважають золотистий стафілокок, стрептококи, грамнегативні бактерії і гриби (в аптеках).

У повітрі лікарняних приміщень домінують золотистий стафілокок і стрептококи. Співвідношення мікроорганізмів становить у середньому 70 і 30 % відповідно, при цьому стафілококів і стрептококів в 1 м^3 повітря операційних, післяопераційних палат, перев'язних, відділень реанімації, пологових залів не повинно бути.

У зв'язку зі зростанням захворювань, які спричинюють грамнегативні бактерії, до нормативів внесено визначення їх кількості в 1 м^3 повітря лікарняних приміщень. Додатковими критеріями можуть бути наявність споротвірних паличок (показник запиленості та відсутності вологого прибирання), цвілевих

грибів (показник підвищеної вологості) [12] і відсутність пігментних форм бактерій (погане освітлення). Іноді останній показник визначають за завданням фтизіатрів. Згідно з рекомендаціями Асоціації інженерів медичних закладів Японії для підтримання чистоти повітря в операційній на належному рівні кратність повітрообміну повинна бути не менше 15 за годину, необхідно забезпечити ламінарний потік повітря, а також обмежити кількість персоналу та відкривання дверей під час операції. Для фільтрації повітря слід застосовувати HEPA (High efficiency particulate air, вискоелективні повітряні) фільтри, які забезпечують мікробіологічну чистоту (стерильність) фільтрованого повітря [14, 16].

V. Gorennoi, M. Schönermark та A. Hagen у результаті аналізу 1 030 джерел наукової літератури дійшли висновку, що додавання антибіотика в цемент для ендопротезування в поєднанні з системною антибіотикопрофілактикою ефективніше за лише системну антибіотикопрофілактику тільки в операційних, не обладнаних системами ламінарної подачі стерильного повітря [17]. Відтак можна припустити, що обладнання операційної такою системою подачі стерильного повітря за ефективністю профілактики

локальних інфекційних ускладнень не поступається додаванню антибіотика в цемент.

Деякі автори вважають систему подачі стерильного повітря в операційній одним із факторів, які ефективно знижують частоту локальних інфекційних ускладнень після операцій [18–20]. Так, підкреслена необхідність і надалі вивчати ефективність таких систем та недоцільність застосовувати ультрафіолетове опромінення через потенційні ризики для здоров'я персоналу та пов'язані з цим витрати [18]. У США лише 30 % лікарень, де проводять ендопротезування колінного суглоба, обладнані системами ламінарної подачі стерильного повітря, у них виконують понад 75 % від загальної кількості таких операцій. Загалом зазначеними системами оснащені операційні з річною кількістю операцій ендопротезування колінного суглоба понад 25 незалежно від форми власності та відомчого підпорядкування [21].

Стерилізація повітря в операційній не гарантує уникнення післяопераційних інфекційних ускладнень, але суттєво знижує частоту їх виникнення. Невивченими залишаються кореляційні зв'язки між концентрацією НЧ та МЧ, кількістю КУО в повітрі операційних та частотою післяопераційних інфекційних ускладнень. З іншого боку, відомо, що обладнання для ультрафільтрації та кондиціонування повітря в операційних регламентовано стандартом ISO 14644-1. Водночас в Україні немає досліджень про вплив ультрафільтрації та кондиціонування повітря в операційних на частоту післяопераційних інфекційних ускладнень.

Оскільки в Україні встановлення устаткування для ультрафільтрації та кондиціонування повітря в операційних не набуло широкого застосування, вважаємо за доцільне винести на обговорення інформацію про роль МЧ у перенесенні патогенної та умовно-патогенної мікрофлори на поверхню операційної рани, інструментарію та рукавиць хірурга для того, щоб розробити нові засоби профілактики інфекційних ускладнень ендопротезування суглобів та інших ортопедичних операцій. Для визначення ролі МЧ доцільно вивчити кореляційні зв'язки між концентрацією НЧ та МЧ, кількістю КУО в повітрі операційних та частотою післяопераційних інфекційних ускладнень. Можливо це сприятиме впровадженню необхідної ультрафільтрації повітря в ортопедичних операційних.

Список літератури

- Chamley J. Post-operative infection after total hip replacement with special reference to contamination in the operating room / J. Charnley // Internal Publication 38. — Centre for Hip Surgery, Wrightington Hospital, Wigan, Lancs., UK; 1972.
- Particle counting and microbiological air sampling: Results of the simultaneous use of both procedures in different types of hospital rooms / L. Armadans-Gil, V. Rodríguez-Garrido, M. Campins-Martí et al. // *Enferm Infecc. Microbiol. Clin.* — 2013. — Vol. 31 (4). — P. 217–221.
- Чистые помещения / [О. Ф. Алексашина, В. И. Власенко, В. И. Калечиц и др.]; под ред. А. Е. Федотова. — 2-е изд. — М.: Изд-е АСИНКОМ, 2003. — 576 с.
- Wang J. Acute toxicity and biodistribution of different sized titanium dioxide particles in mice after oral administration / J. Wang, G. Zhou, C. Chan // *The Journal of Physical Chemistry.* — 2007. — Vol. 168. — P. 176–185.
- Oberdorster G. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles / G. Oberdorster, E. Oberdorster, J. Oberdorster // *Environmental Health Perspectives.* — 2005. — Vol. 7 (13). — P. 823–839.
- Kagan V. E. Nanomedicine and nanotoxicology: two sides of the same coin / V. E. Kagan, H. Bayir, A. A. Shvedova // *Nanomedicine: nanotechnology, biology and medicine.* — 2005. — Vol. 1. — P. 313–316.
- Chin-Wing Lam. Pulmonary toxicity of singlewall carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation / Chin-Wing Lam, J. T. James, R. McCluskey // *Toxicol. Science.* — 2006. — Vol. 77. — P. 126–134.
- Powers K. W. Characterization of nanoscale particles for toxicological evaluation / K. W. Powers, S. C. Brown // *Toxicol. Science.* — 2006. — Vol. 90. — № 2. — P. 296–303.
- El-Ansary A. On the toxicity of therapeutically used nanoparticles / A. El-Ansary, S. Al-Daihan // *J. Toxicol.* — 2009. — Article ID 754810. — 9 p.
- Fischer H. C. Nanotoxicity: the growing need for in vivo study / H. C. Fischer, W. C. Chan // *Curr. Opin. Biotechnol.* — 2007. — Vol. 18 (6) — P. 565–571.
- Проданчук Н. Г. Нанотоксикология: состояние и перспективы исследований / Н. Г. Проданчук, Г. М. Балан // *Современные проблемы токсикологии.* — 2009. — № 3–4. — С. 4–20.
- Микрофлора окружающей среды и тела человека. Учебное пособие / Н. В. Литусов, А. Г. Сергеев, Ю. В. Григорьева, В. Г. Ишутинова. — Екатеринбург, 2008. — 28 с.
- Наказ МОЗ України № 784 від 14.11.2011 р. «Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до розміщення, облаштування, обладнання та експлуатації перинатальних центрів».
- Guideline for design and operation of hospital HVAC Systems HEAS-02-2004. — Healthcare Engineering Association of Japan. — 2004. — 233 p.
- Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. recommendations of CDC and the healthcare infection control practices advisory committee (HICPAC). — Atlanta, 2003. — 249 p.
- Fuji K. Design, equipment, and management for air conditioning in operating room / K. Fuji, J. Mizuno // *Masui.* — 2011. — Vol. 60 (11). — P. 1347–1350.
- Gorenoi V. Prevention of infection after knee arthroplasty / V. Gorenoi, M. P. Schönermark, A. Hagen / *GMS Health Technol. Assess.* — 2010. — Vol. 6. — doc. 10.
- Evans R. P. Current concepts for clean air and total joint arthroplasty: laminar airflow and ultraviolet radiation: a systematic review / R. P. Evans // *Clin. Orthop. Relat. Res.* — 2011. — Vol. 469 (4). — P. 945–953.
- Weaving P. Infection prevention and control in the operating theatre: reducing the risk of surgical site infections (SSIs) / P. Weaving, F. Cox, S. Milton // *J. Perioper. Pract.* — 2008. — Vol. 18 (5). — P. 199–204.
- Kanemitsu K. Infection control measures in surgical wards and operating theaters / K. Kanemitsu, M. Kaku // *Nihon Geka Gakkai Zasshi.* — 2006. — Vol. 107 (5). — P. 211–214.
- Miner A. L. Infection control practices to reduce airborne bacteria during total knee replacement: a hospital survey in four states / A. L. Miner, E. Losina, J. N. Katz // *Infect Control Hosp Epidemiol.* — 2005. — Vol. 26 (12). — P. 910–915.