Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького

Кафедра анестезіології та інтенсивної терапії

Приліжковий моніторинг фізіології дихання у дітей під час проведення респіраторної терапії

доц. Філик О.В.

Конфлікт інтересів відсутній

Актуальність

- ✓ **Найефективніші стратегії лікування пацієнтів з ГДН грунтуються на мінімізації вентилятор-індукованого ушкодження легень - ventilation-induced lung injury (VILI).**
- ✓ **Сучасні рекомендації з лікування дещо модифікують ШВЛ враховуючи пацієнт-специфічні фактори ризику.**
- ✓ **Це запорука індивідуалізованої легенево-протективної вентиляції у хворих з ГДН.**

Jeremy R. Beitler. Bedside respiratory physiology to detect risk of lung injury in acute respiratory distress syndrome. Curr Opin Crit Care 2019, 25:3 – 11. DOI:10.1097/MCC.0000000000000579

Біофізичні механізми розвитку VILI

- **Волютравма;**
- **Баротравма;**
- **Ателектравма;**
- **Стрес-концентрація;**
- **Біотравма.**

Beitler JR, Malhotra A, Thompson BT. Ventilator-induced lung injury. Clin Chest Med 2016; 37:633 – 646.

❖**Традиційні техніки оцінювання ризику VILI враховують тиск в дихальних шляхах, потік, зміни об'єму та потребують необхідних інструментів для встановлення наявності перерозтягнених вентильованих ділянок легень та ділянок ателектазів.**

❖**Приліжкова візуалізація верифікує регіональні відмінності механіки, проте потрібні подальші дослідження щоб встановити як це можна якнайкраще використовувати в клінічній практиці.**

Приліжкове оцінювання фізіології дихання

- **Клінічно розгорнута баротравма як ймовірне ускладнення ШВЛ по тиску відоме вже понад півстоліття. Проте, баротравма, це лише один з прикладів VILI, але не його синонім**
- **ШВЛ може мати і менш виражені ушкоджуючі ефекти – ушкодження ендотеліального бар'єру, формування набряку легень, клітинне та тканинне ушкодження історично вважалися наслідком власне ГРДС, проте в останні десятиліття це вважають і маніфестацією VILI.**

Slutsky AS, Ranieri VM. Ventilator-induced lung injury. N Engl J Med 2013; 369:2126 – 2136.

- **Оскільки клінічно доступні, ті що виконується в реальному часі та валідовані біомаркери VILI відсутні, моніторинг приліжкової фізіології є первинним інструментом для адаптування ШВЛ до пацієнт-специфічних ризиків.**

Jabaudon M, Blondonnet R, Roszyk L, et al. Soluble receptor for advanced glycation end-products predicts impaired alveolar fluid clearance in acute respiratory distress syndrome. Am J Respir Crit Care Med 2015; 192:191 – 199

Волютравма

- **Високий tidal volume спричиняє запальний набряк легень що гістологічно підтверджує VILI.**
- **Об’єм вентиляції при ГРДС зазвичай є меншим ніж розміри здорових легень через набряк альвеол та ателектазування . Ця так звана “дитяча легеня” має менший об’єм для вентиляції, потребує меншого об’єму ніж для здорових легень щоб попередити перерозтягнення легеневої паренхіми.**

Beitler JR, Majumdar R, Hubmayr RD, et al. Volume delivered during recruitment maneuver predicts lung stress in acute respiratory distress syndrome. Crit Care Med 2016; 44:91 – 99.

The study validated a simple, novel bedside approach to measuring the inspiratory capacity of the ARDS ‘baby lung’. MacIntyre N. Lung protective ventilator strategies: beyond scaling tidal volumes to ideal lung size. Crit Care Med 2016; 44:244 – 245.

- **Тим не менш, можуть виникнути відмінності в регіональній механіці при вентиляції “дитячої легені», що призводить до того, що деякі легеневі субодиниці пошкоджуються надмірним розтягом, навіть якщо глобальні обсяги легень виявляються такими як було розраховано.**

Terragni PP, Rosboch G, Tealdi A, et al. Tidal hyperinflation during low tidal volume ventilation in acute respiratory distress syndrome. Am J Respir Crit Care Med 2007; 175:160 – 166.

Баротравма

- **Тиск-опосередковане ушкодження легень, включаючи як власне баротравму, так і ушкоджуюче мікроскопічне ураження легень, називається баротравмою.**
- **Транспульмонарний тиск є власне тиском розтягнення легень і визначається як різниця тиску всередині і поза легенями (рис. 1).**
- **Високий тиск в дихальних шляхах та високий транспульмональний тиск, що виникають при ГРДС, можуть відображати перерозтягнення невеликого вентиляційного об’єму “дитячої легені”.**
- **Об’єм легеневої вентиляції та транспульмональний тиск добре корелюють між собою як при візуалізації так і при вивченні функції легень. Аерований об'єм легенів і транспульмонарний тиск добре корелюють як у візуалізації, так і в дослідженнях легеневої функції. Регіональні відмінності в механіці можуть спричинити ризик пошкодження легень, навіть якщо глобальні заходи на обмеження тиску будуть враховані.**

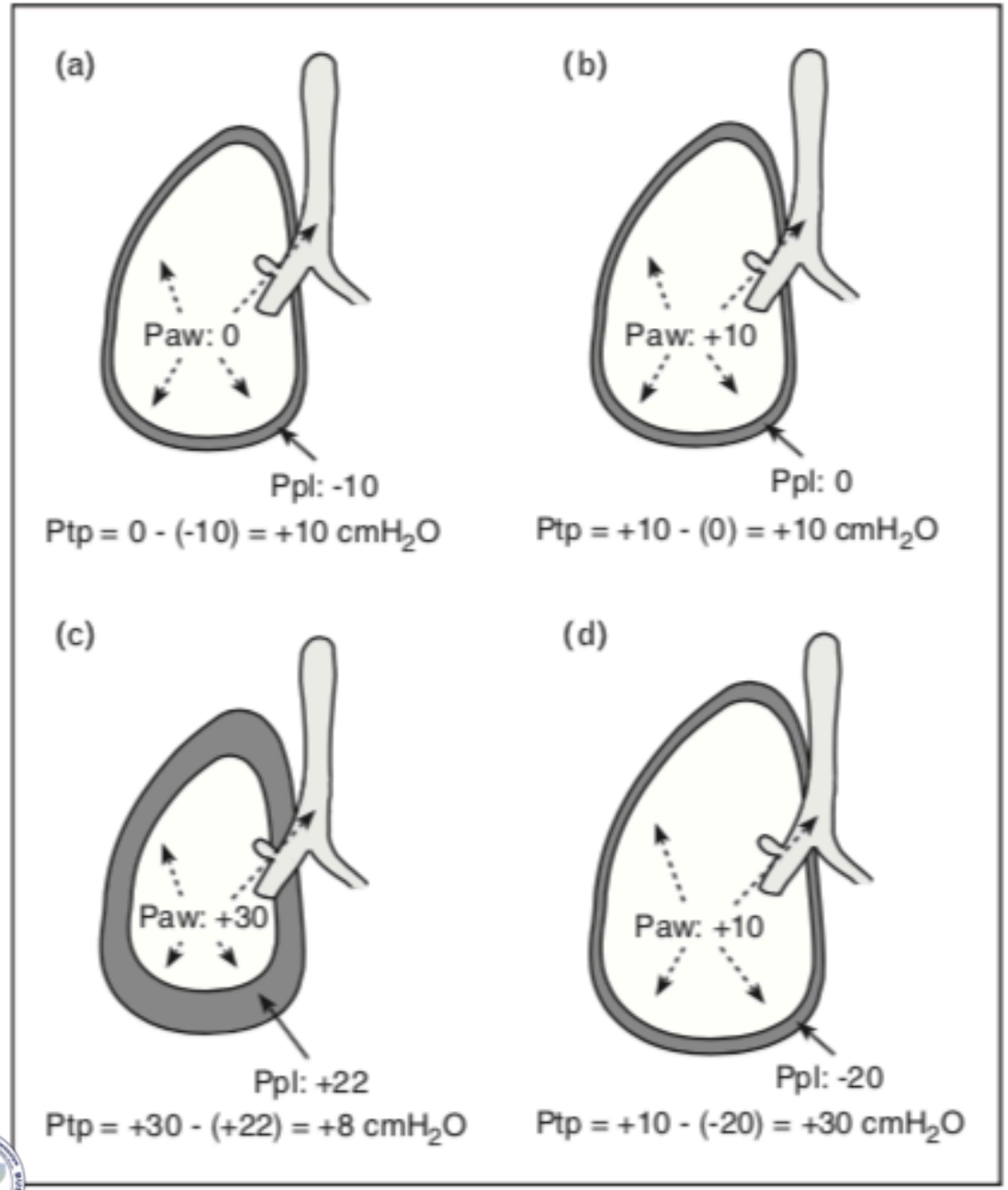

FIGURE 1. Transpulmonary pressure ($P_{airway} - P_{pleural}$) is the pertinent distending pressure of the lung. At zero flow, airway and alveolar pressure are equal; for example, during an end-inspiratory plateau pressure maneuver. (a) Nonintubated patient, normal spontaneous breathing at end inspiration. (b) Intubated patient without respiratory disease, passive on mechanical ventilator at end inspiration. (c) Intubated patient, chest wall stiffness results in lower transpulmonary pressure and lower lung volume at end inspiration despite higher airway pressure. (d) Intubated patient, forceful inspiratory muscle effort, such as from heightened respiratory drive, produces high transpulmonary pressure and lung volume at end inspiration even though airway pressure is reasonably low. P_{aw}, airway pressure; P_{pl}, pleural pressure; P_{tp}, transpulmonary pressure. Reprinted with permission [15].

Ателектравма

- **Циклічний колапс та повторне відкриття ателектазованих проте рекрутабельних легеневих часточок викликають шкідливі високі сили зсуву – це феномен ателектравми.**
- **Передумови до такого типу ушкодження при ГРДС – зменшення синтезу сурфактанту та запалення паренхіми легень**

Taskar V, John J, Evander E, et al. Surfactant dysfunction makes lungs vulnerable to repetitive collapse and reexpansion. Am J Respir Crit Care Med 1997; 155:313 – 320.

- **По мірі того, як повітряний потік поширюється вздовж колабованої часточки легень, повторне розтягнення дихальних шляхів приймає конформаційну форму, подібну до "блискавки", яка створює надзвичайно високі зусилля зсуву, що сприяє пошкодженню епітелію**

Ghadiali SN, Gaver DP. Biomechanics of liquid-epithelium interactions in pulmonary airways. Respir Physiol Neurobiol 2008; 163:232 – 243.

- **Високий позитивний тиск вкінці видиху звично використовується аби мінімізувати ателектравму, проте може підвищити ризик перерозтягнення легень.**

Стрес-концентрація

- **Ушкодження легень може виникати через регіонарні відмінності механіки легень. Легеневі часточки є взаємозалежними від оточуючих змін - неаеровані ділянки супроводжуються перерозтягненими ділянками.**
- **Вираженість стрес-концентрації корелює з біохімічними маркерами VILI.**

Cressoni M, Cadringher P, Chiurazzi C, et al. Lung inhomogeneity in patients with acute respiratory distress syndrome. Am J Respir Crit Care Med 2014; 189:149 – 158.

Mrozek S, Jabaudon M, Jaber S, et al. Elevated plasma levels of sRAGE are associated with nonfocal CT-based lung imaging in patients with ARDS: a prospective multicenter study. Chest 2016; 150:998 – 1007.

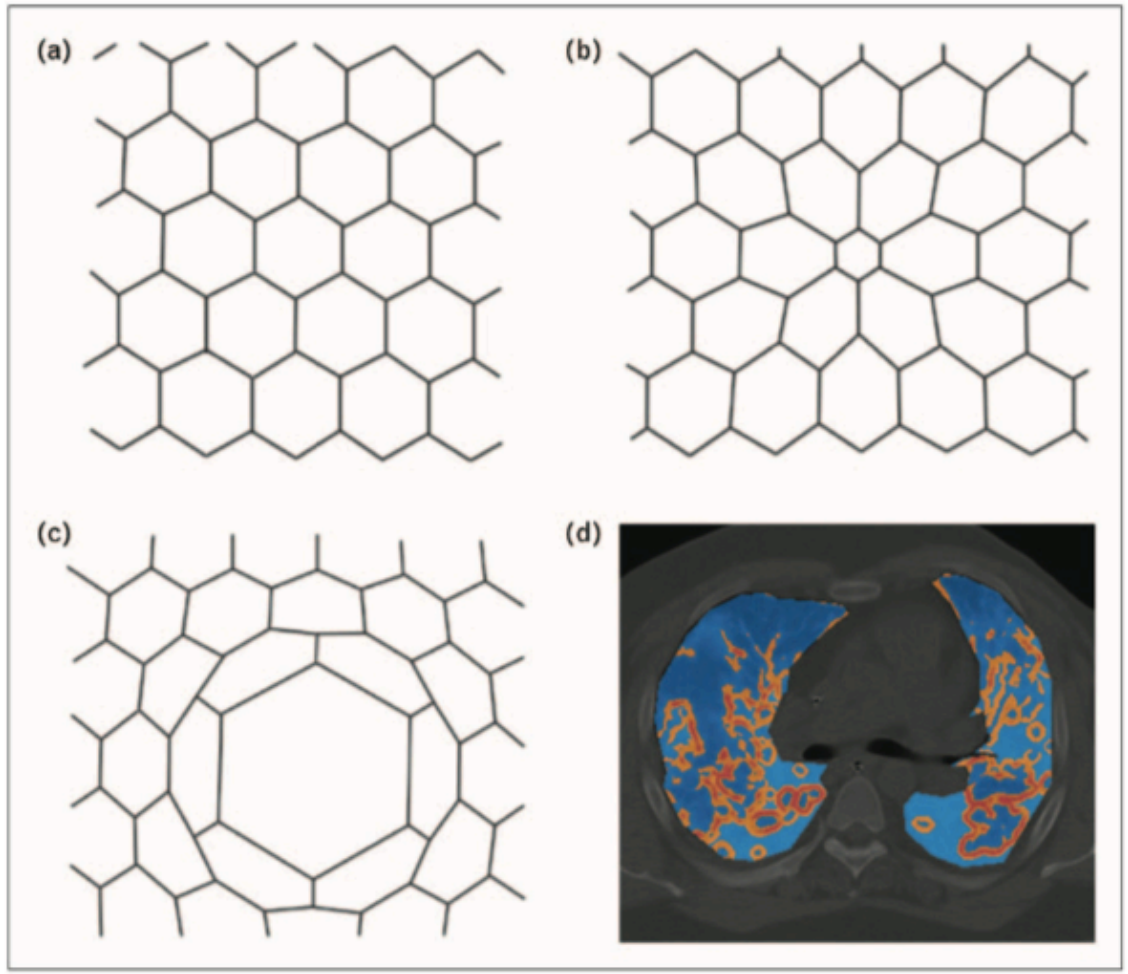

FIGURE 2. Mechanical alveolar interdependence and shear strain. (a–c) Classic model of alveolar interdependence; each hexagon represents an alveolus in cross section. (a) Homogeneous alveolar inflation minimizes strain. (b) Atelectasis of center alveolus induces shear strain of neighboring alveoli. (c) Asymmetric inflation of center alveolus induces shear strain of neighboring alveoli. (a–c) Reprinted with permission [34]. (d) Computed tomography chest with overlying map of computed tomography-derived regional stress concentration caused by parenchymal heterogeneity in a representative patient with acute respiratory distress syndrome (light blue indicates low stress; orange indicates moderate stress; red indicates high stress). (d) Reprinted with permission of the American Thoracic Society. Copyright © 2018 American Thoracic Society [36]. The American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine is an official journal of the American Thoracic Society.

Біотравма

- **Це результат попередньо перерахованих механізмів, а також вплив на інші системи органів.**
- **Тому визначення “легенево-протективної вентиляції” не зовсім термінологічно вдале – вентиляція має як мінімум не ушкоджувати весь організм.**

Інструменти, доступні для приліжкового моніторингу всюди

- **Визначення тиску, об’єму, форми кривих та петель**
- **Статичні та динамічні показники**
- **Проте, нема нічого кращого як правильна інтерпретація цих показників клініцистом.**
- **Окрім того, показники газообміну, оцінювання позалегеневих ушкоджень та перебігу захворювання пацієнта.**

Protti A, Andreis DT, Monti M, et al. Lung stress and strain during mechanical ventilation: any difference between statics and dynamics? Crit Care Med 2013; 41:1046 – 1055.

Table 1. Summary of bedside techniques

Bedside tool	Mechanism(s) of ventilation-induced injury to be measured	Advantages	Limitations
Tools widely available at bedside now			
Physical exam	Barotrauma (estimate chest wall mechanics) Atelectrauma (forceful expiration)	Universally available No resource cost	Difficult to quantify Limited data Inter-rater reproducibility Risk of delayed detection
Airway plateau pressure	Barotrauma	Easily measured Extensive data supporting some value	Does not consider chest wall contribution Mis-measurement during active patient effort
Airway driving pressure	Barotrauma	Easily measured Some data supporting value Potential to scale tidal volume	Misinterpretation of preset value (pressure-targeted modes) during active patient effort
Exhaled tidal volume	Volutrauma	Easily measured Real-time breath-to-breath detection	Minimal data on precision
Ventilator waveform inspection	Volutrauma (breath stacking)	Widely available	Limited to time clinician is at bedside Inter-rater reproducibility

Emerging tools

Esophageal manometry	Barotrauma (end-inspiratory P_L) Atelectrauma (end-expiratory P_L)	Overcomes limitations of measures relying on airway pressure alone	Limited data on clinically important metrics and thresholds
Measures of 'baby lung' volume	Volutrauma	Future potential for scaling tidal volume	Limited availability of most techniques Widely available technique not well validated
Ventilator waveform computational analysis	Volutrauma (breath stacking) Barotrauma and atelectrauma (stress index)	Real-time breath-to-breath detection Potential to be incorporated in ventilator software	Clinically important metrics not well defined
Electrical impedance tomography	Volutrauma Atelectrauma Stress concentration	Real-time breath-to-breath detection Assess regional differences in distension	Evaluates single cross-sectional plane Nonuniform imaging algorithms and indices Clinically important metrics not well defined
Lung and diaphragm ultrasound	Barotrauma (pneumothorax) Atelectrauma Diaphragm injury Evaluate for alternative diagnoses (cardiac and pleural ultrasound)	Widely available	Inter-rater reproducibility Cannot detect overdistension Limited to subpleural zones

P_L, transpulmonary pressure, defined as airway minus pleural pressure.

Методи візуалізації

- **Методики які вимірюють тиск в дихальних шляхах не враховують трансплевральний тиск як складову стресу легень.**
- **Визначення об’єму не враховують функціонального об’єму “дитячої легені”.**
- **Циклічні ателектази та регіональна механіка легеневої паренхіми недостатньо верифікуються. Тому допоміжні техніки візуалізації намагаються закрити ці прогалини.**

Вимірювання тиску в стравоході

- **Сурогатне вимірювання результуючого тиску в грудній клітці**
- **Нівелює, порівняно з тиском плато, driving pressure та PEEP, вплив властивостей грудної клітки і передньої черевної стінки на транспульмональний тиск.**
- **Варто використовувати при підборі PEEP (через кінцево-експіраторний driving pressure) та об’єм видиху (через транспульмональний driving pressure та транспульмональний тиск плато)**
- **Ідеальний PEEP досягає транспульмонального тиску близько нуля та це є кращою стратегією щодо лікування порівняно з використанням динаміки paO2/FiO2.**

Talmor D, Sarge T, Malhotra A, et al. Mechanical ventilation guided by esopha- geal pressure in acute lung injury. N Engl J Med 2008; 359:2095–2104.

Визначення об’єму “дитячої легені”

- **Використання об’єму видиху.**
- **Комп’ютерна томографія, проте при тяжких рестриктивних порушеннях це може бути недоцільно і небезпечно для пацієнта оскільки потребує транспортування у радіологічне відділення а також потрібні повторні обстеження після змін параметрів ШВЛ.**
- **Вимірювання інспіраторної ємкості легень при 30 с зростанні тиску до 40 см вод ст.**
- **Приліжкове визначення ”Nitrogen wash-out/wash-in and helium dilution” для визначення об’єму легень наприкінці видиху.**

Gattinoni L, Caironi P, Pelosi P, Goodman LR. What has computed tomography taught us about the acute respiratory distress syndrome? Am J Respir Crit Care Med 2001; 164:1701 – 1711.

Chiumello D, Cressoni M, Chierichetti M, et al. Nitrogen washout/washin, helium dilution and computed tomography in the assessment of end expiratory lung volume. Crit Care 2008; 12:R150.

Автоматизований аналіз кривих дихання

- **Автоматизований аналіз кривих тиску та потоку в основному зосереджений на виявленні пацієнт-вентиляторної десинхронізації.**
- **Окрім того можна верифікувати перерозтягнення легень на основі аналізу петель дихального циклу.**
- **Стрес-індекс також може бути розрахований, проте потребує спеціального програмного забезпечення та є валідним на сьогодні лише для тих режимів ШВЛ де є постійний інспіраторний потік.**

Beitler JR, Sands SA, Loring SH, et al. Quantifying unintended exposure to & high tidal volumes from breath stacking dyssynchrony in ARDS: the BREATHE criteria. Intensive Care Med 2016; 42:1427 – 1436.
The study validated objective criteria to identify occult high tidal volumes from breath stacking dyssynchrony.

Pohlman MC, McCallister KE, Schweickert WD, et al. Excessive tidal volume from breath stacking during lung-protective ventilation for acute lung injury. Crit Care Med 2008; 36:3019 – 3023.

Електроімпедансна томографія

- **Нова приліжкова технологія що оціює регіональне легеневе перерозтягнення в поперечній площині.**
- **Для ідентифікації колапсу альвеол, циклічних ателектазів, перерозтягнення на визиху, стрес-концентрації.**
- **Основне обмеження – оцінювання лише однієї ділянки поперечного перерізу що може не відображати змін над усією поверхнею легень.**

Leonhardt S, Lachmann B. Electrical impedance tomography: the holy grail of ventilation and perfusion monitoring? Intensive Care Med 2012;

38:1917 – 1929.

УЗ-дослідження легеневої паренхіми та діафрагми

- **Доцільно для діагностики консолідації легенево паренхіми, ідентифікації в реальному часі змін в паренхімі при рекрутменті та виборі PEEP.**
- **Обмеження щодо верифікації перерозтягнення чи візуалізації глибоких ділянок легень.**
- **Верифікація ШВЛ-асоційованого ушкодження легень.**

Goligher EC, Fan E, Herridge MS, et al. Evolution of diaphragm thickness during mechanical ventilation: impact of inspiratory effort. Am J Respir Crit Care Med 2015; 192:1080 – 1088.

Goligher EC, Dres M, Fan E, et al. Mechanical ventilation-induced diaphragm && atrophy strongly impacts clinical outcomes. Am J Respir Crit Care Med 2018; 197:204 – 213.

Висновки

- **Приліжкова візуалізація верифікує регіональні відмінності механіки легеневої паренхіми.**
- **Визначення пацієнт-специфічних ризиків виникнення VILI потребує розуміння особливостей механіки легень для кожного пацієнта з врахуванням його біологічних особливостей.**
- **Вдало підібрана респіраторна підтримка, відповідно до цих факторів, дає можливості уникати VILI та пов’язаної з ним захворюваності.**

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!