

Оцінка впливу гіпокситерапії на систему дихання при хронічному обструктивному захворюванні легень

Виконала студентка групи ТВ-71мп

Романюк К.Р.

**Дипломний керівник
д.т.н., проф. Сліпченко В.Г.**


Актуальність: Відсутність автоматизованих систем для моделювання системи дихання.

Мета: моделювання системи дихання під час гіпокситерапії у хворих ХОЗЛ.

Завдання: розробка модуля для моделювання системи дихання під час гіпокситерапії у хворих ХОЗЛ.

Підзадачі:

- Дослідження існуючих моделей системи дихання;
- Реалізація обраної математичної моделі з можливістю ручного розрахунку даних;
- Синхронізація модуля з експертною системою;
- Візуалізація та збереження результатів.



Об'єктом дослідження є апаратно-програмний комплекс для проведення гіпоксичних тренувань.

Предметом дослідження є інформаційно-аналітична система аналізу стану пацієнтів, хворих на ХОЗЛ, під час проходження сеансів гіпокситерапії.

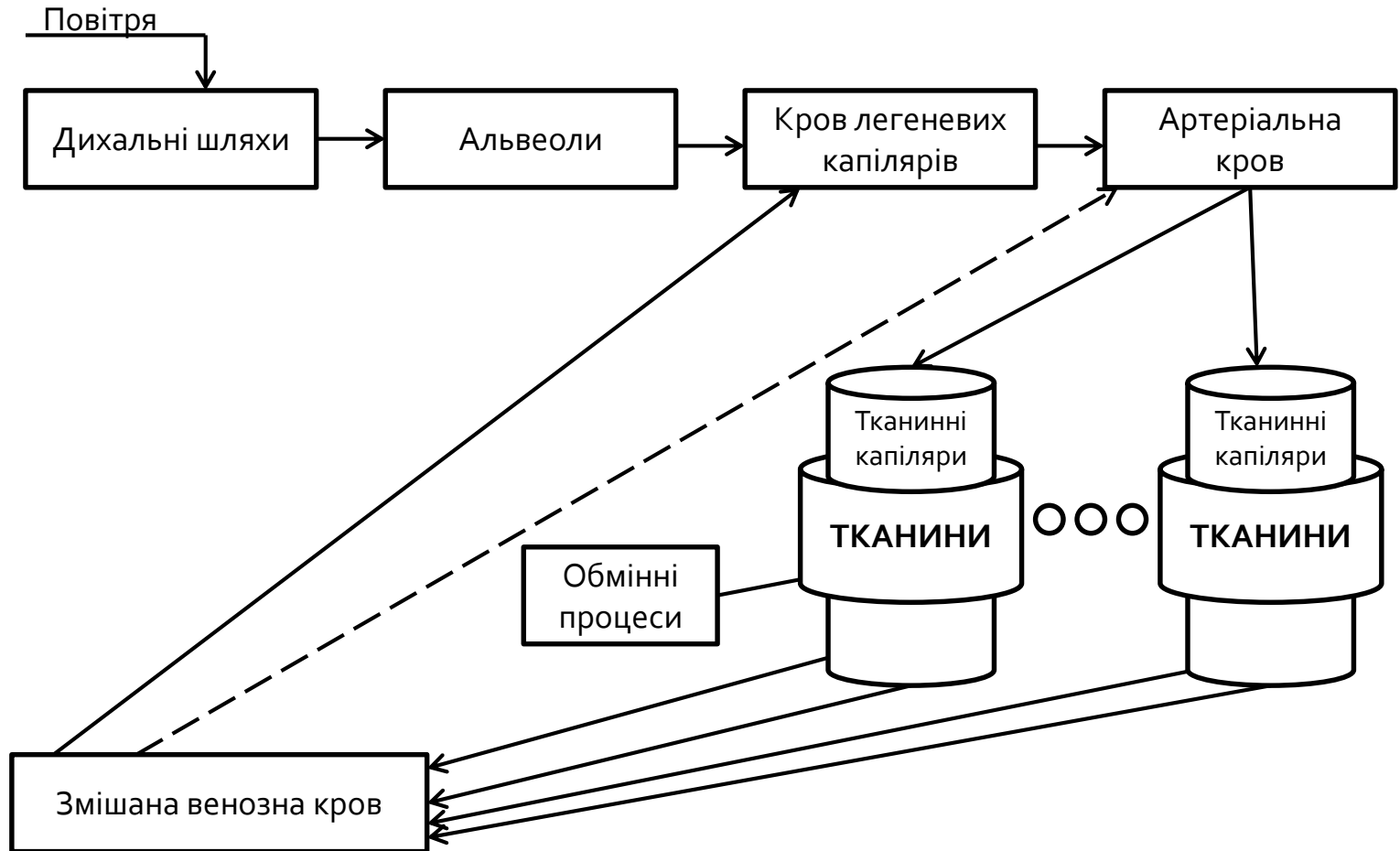
Наукова новизна одержаних результатів.
Реалізовано модуль для моделювання системи дихання з можливістю синхронізації з експертною системою, що забезпечує більш точний аналіз стану пацієнта під час проведення сеансу гіпокситерапії.

Аналог - PneuView® 3.2 Software Manual

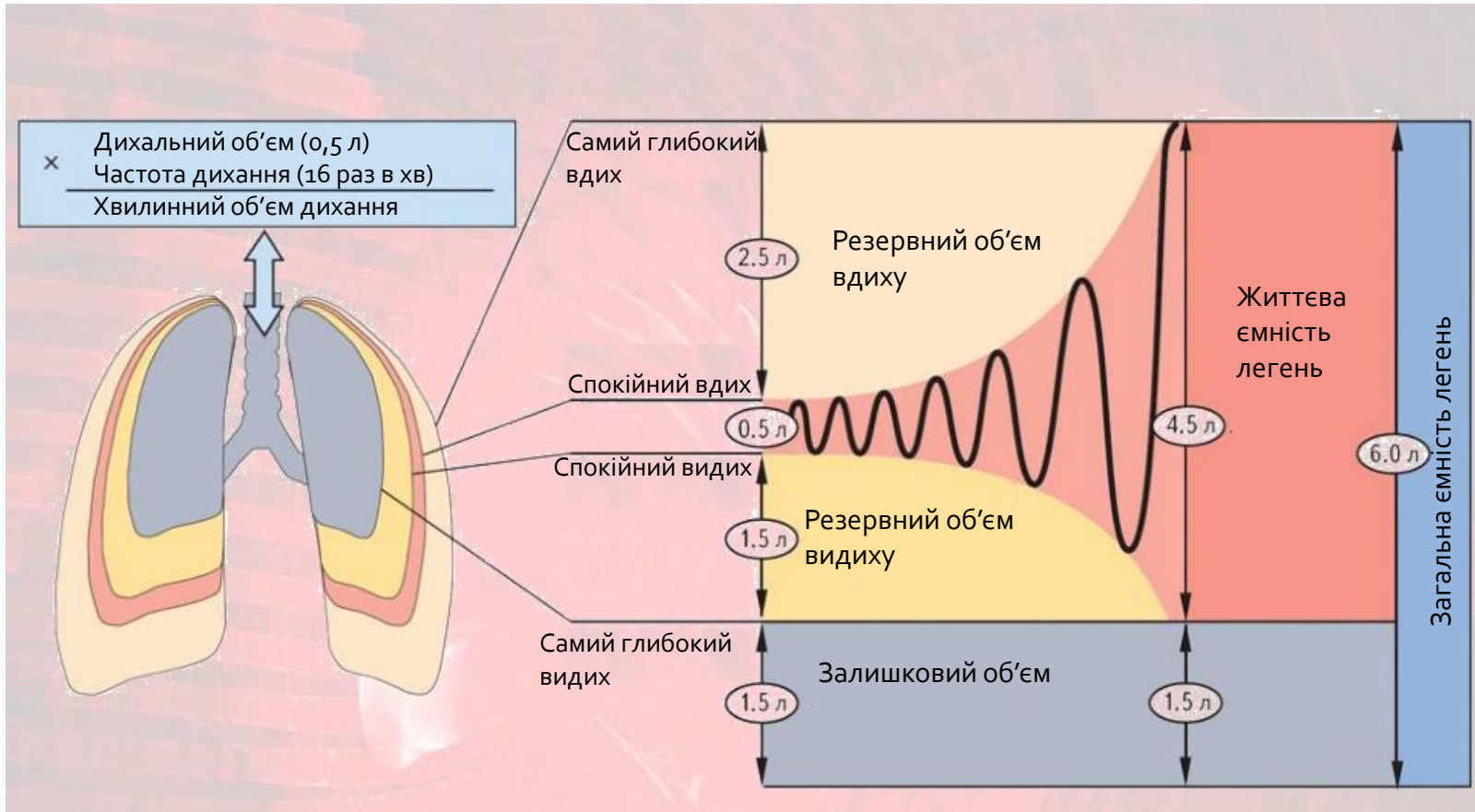
- Система PneuView® 3.2 Software Manual призначена для забезпечення регульованого, пасивного механічного моделювання легенів людини і дозволяє інтерпретувати дані з штучних легенів та дихальних шляхів під час вентиляції.



Структура системи дихання



Життєва ємність легенів



Модель динаміки обсягу легень та регуляції хвилинної вентиляції

$$R \frac{dV}{dt} + E(V - V_0) = P_g \sin \omega t$$

- де R - опір дихальних шляхів, E - еластичність легенів, V_0 - обсяг резервуара в ненапруженому стані, ω - частота дихання, P_g - плевральний тиск, t - час.

$$V(t) = V_0 + \frac{P_g}{R \sqrt{\lambda^2 + \omega^2}} \sin \left(\omega t - \arctg \frac{\omega}{\lambda} \right) + \frac{P_g \omega}{R(\lambda^2 + \omega^2)} e^{-\lambda t}, \quad \lambda = \frac{E}{R}$$

Вентиляція легень

$$\dot{V} = \frac{RV \pi}{T_a} \sin \frac{\tau - \tau_0}{T_a}$$

- де T_a – довжина дихального циклу, τ_0 - час його початку, RV - дихальний обсяг.

Модель динаміки транспорту респіраторних газів в організмі

- Позначимо через pO_2 , pCO_2 , pN_2 парціальні тиску кисню, вуглекислого газу та азоту в дихальній суміші, припускаючи, що:

$$B = pO_2 + pCO_2 + pN_2$$

де B - величина атмосферного тиску.

Динаміка респіраторних газів в дихальних шляхах

$$\frac{dp_a^j}{d\tau} = \frac{\dot{V}}{V_d} (p^j - p_a^j), \quad j = 1, 2, 3,$$

де індекс j відповідає газу кисню, вуглекислого газу, азоту, V_d - об'єм дихальних шляхів

Динаміка респіраторних газів в альвеолярному просторі:

$$\frac{dp_a^j}{d\tau} = \frac{1}{n_j(V_L - V_d)} \left[n_j p_a^j \dot{V} - G_a^j - n_j p_a^j \frac{dV_L}{d\tau} \right], \quad j = 1, 2, 3,$$

де G_a^j - потік газу через альвеолярно-капілярну мембрану, V_L - об'єм легенів, n_j - коефіцієнти. Для G_a^j використовується алгебраїчна форма закону Фіка:

$$G_a^j = k_j n_j S (p_a^j - p_{cl}^j)$$

де n, k - коефіцієнти масопереносу та дифузії газів через мембрану, S - площа поверхні масообміну

Динаміка O₂ в венозній крові легеневих капілярів

$$\frac{dp_{1CL}^V}{d\tau} = \frac{1}{l_1 V_{CL}^V} \left[\alpha_1 \dot{Q}_L (p_{1\bar{V}}(\tau) - p_{1CL}^V) + G_1^V - \alpha_1 p_{1CL}^V V_{CL}^V - \gamma Hb V_{CL}^V \frac{d\tilde{\eta}_{1CL}^V}{d\tau} \right]$$

- де V_{CL}^V – об'єм венозної порції крові легеневих капілярів, l_1 – коефіцієнт розчинності O₂ в крові, \dot{Q}_L – хвилиний об'єм крові, γ – постійна Гюфнера, $\tilde{\eta}_{1CL}^V$ – степінь насичення гемоглобіна в цій порції крові, що змінюється у відповідності з рівнянням:

$$\frac{d\tilde{\eta}_{1CL}^V}{d\tau} = \frac{1}{\gamma Hb V_{CL}^V} \left[\dot{Q}_L \gamma Hb (\eta_{1\bar{V}}(\tau) - \tilde{\eta}_{1CL}^V) + \gamma Hb V_{CL}^V \frac{d\tilde{\eta}_{1CL}^V}{d\tau} \right]$$

$$\eta_{1CL}^V(p_{1CL}^V) = 1 - 1,75 e^{-0.048 m_{CL}^V p_{1CL}^V} + 0,75 e^{-0.12 m_{CL}^V p_{1CL}^V}$$

$$m_{CL}^V = \delta(pH_{CL}^V - 7,4) + 1, \quad pH_{CL}^V = 6,1 + \lg \frac{BH}{l_2 p_{2CL}^V},$$

Динаміка CO₂ в венозній крові легеневих капілярі

$$\frac{dp_{2CL}^V}{d\tau} = \frac{1}{l_2 V_{CL}^V} \left\{ \left[[(1 - \eta_{1V}(\tau))z_{2V} - (1 - \eta_{1CL})z_{2CL}^V] \gamma HB + \gamma BH (z_{2V} - z_{2CL}^V) \right] \dot{Q}_L + (p_{2V}(\tau) - p_{2CL}^V) l_2 \dot{Q}_L - G_2^V - l_2 p_{2CL}^V V_{CL}^V - \gamma H b z_{2CL}^V V_{CL}^V \frac{d\hat{\eta}_{1CL}^V}{d\tau} - \gamma B H V_{CL}^V z_{2CL}^V \right\}$$

де $z_{2CL}^V = \frac{p_{2CL}^V}{p_{2CL}^V + 35}$ визначає степінь насичення крові CO₂

Динаміка O₂ та CO₂ в артеріальній порції крові тканинних капілярів

$$\frac{dp_{1ct}^a}{d\tau} = \frac{1}{l_1 V_{ct}^a} \left[l_1 \dot{Q}_t (p_{1a}(\tau) - p_{1ct}^a) - G_{1t}^a - \gamma Hb V_{ct}^a \frac{d\tilde{\eta}_{1ct}^a}{d\tau} \right]$$

$$\frac{d\eta_{1ct}^a}{d\tau} = \frac{1}{\gamma Hb V_{ct}^a} \left[\dot{Q}_t \gamma Hb (\eta_{1a}(\tau) - \eta_{1ct}^a) + \gamma Hb V_{ct}^a \frac{d\tilde{\eta}_{1ct}^a}{d\tau} \right]$$

$$\begin{aligned} \frac{dp_{2ct}^a}{d\tau} = & \frac{1}{l_2 V_{ct}^a} \left[l_2 \dot{Q}_t (p_{2a}(\tau) - p_{2ct}^a) + G_{1t}^a \right. \\ & + \dot{Q}_t (B_H \gamma (z_{2a}(\tau) - z_{2ct}^a) + (z_{2ct}^a \eta_{1ct}^a + z_{2a}(\tau)) - z_{2ct}^a \\ & \left. - z_{2a}(\tau) \eta_{1a}(\tau) \gamma Hb) + \gamma Hb V_{ct}^a \frac{d\tilde{\eta}_{1ct}^a}{d\tau} - \gamma B_H V_{ct}^a \frac{dz_{2ct}^a}{d\tau} \right] \end{aligned}$$

Модель встановлення діагнозу ХОЗЛ

- розрахунок регресійної функції за формулою

$$f_{\text{ХОЗЛ/БА}} = 4.1609 + a(-5.787) + b(-0.062) + c(0.01308) + d(-0.1025)$$

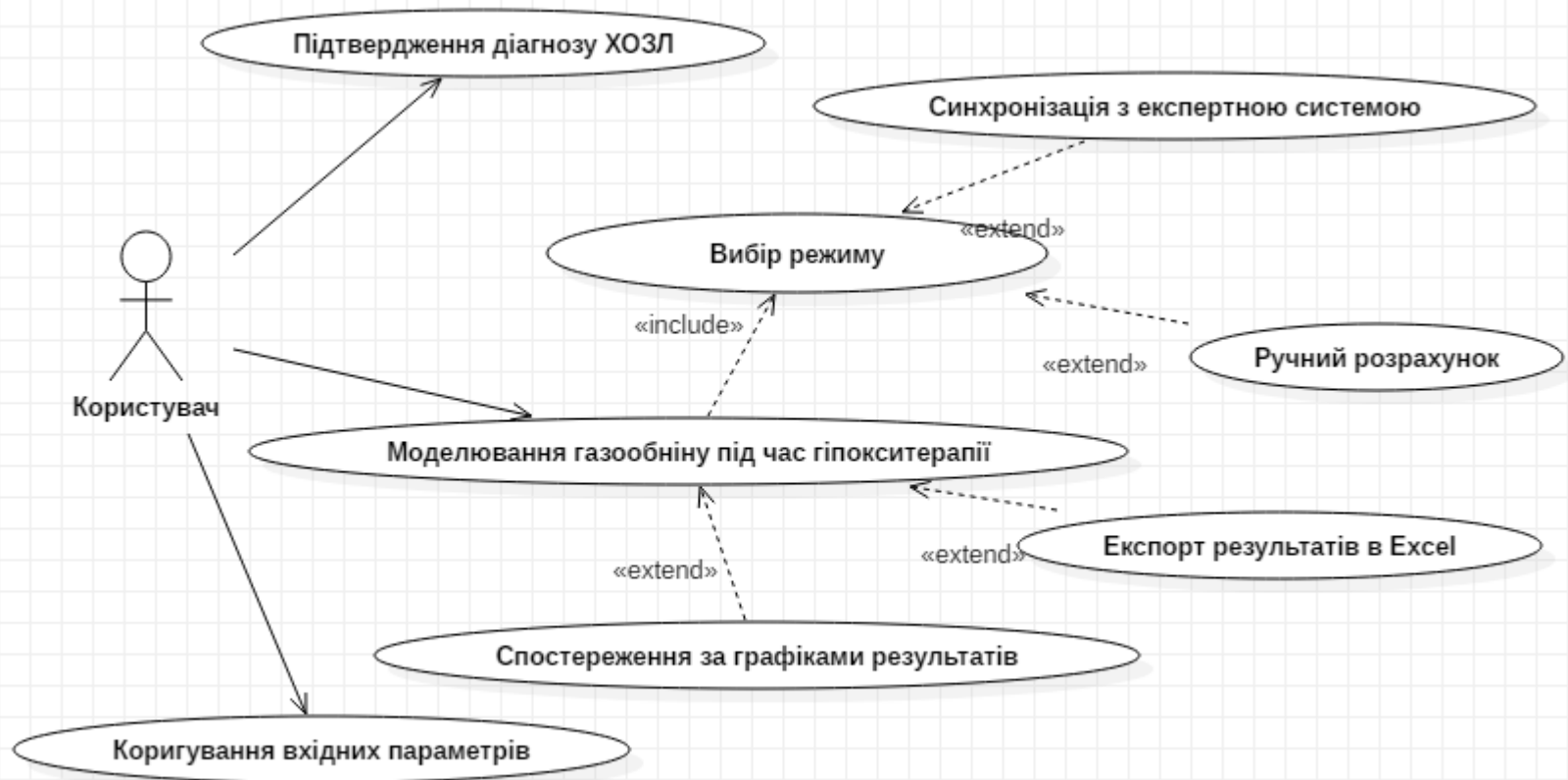
- де a – індекс Тіффно (1 – значення $\geq 70\%$ від відповідних величин, 0 – значення $< 70\%$ від відповідних величин); b – вміст ІL – 4 (ум. од.); c – вміст ІL – 8 (ум.од.); d – вміст трансферрину (ум.од.).
- розраховується ймовірність наявності ХОЗЛ по відношенню до БА за формулою:

$$P_{\text{ХОЗЛ/БА}} = \frac{1}{(1 + e^{f_{\text{ХОЗЛ/БА}}})}$$

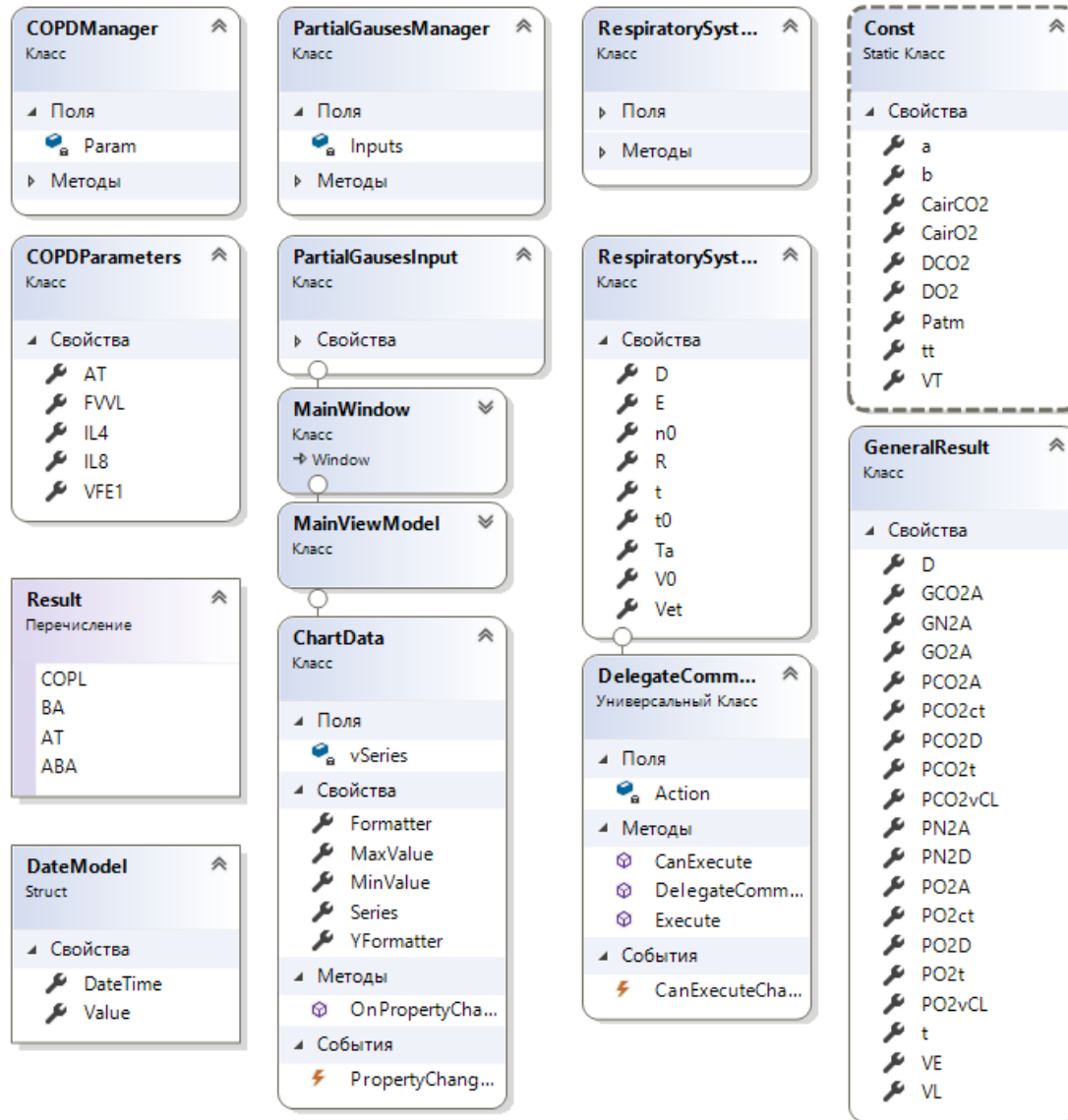
Архітектура ПЗ



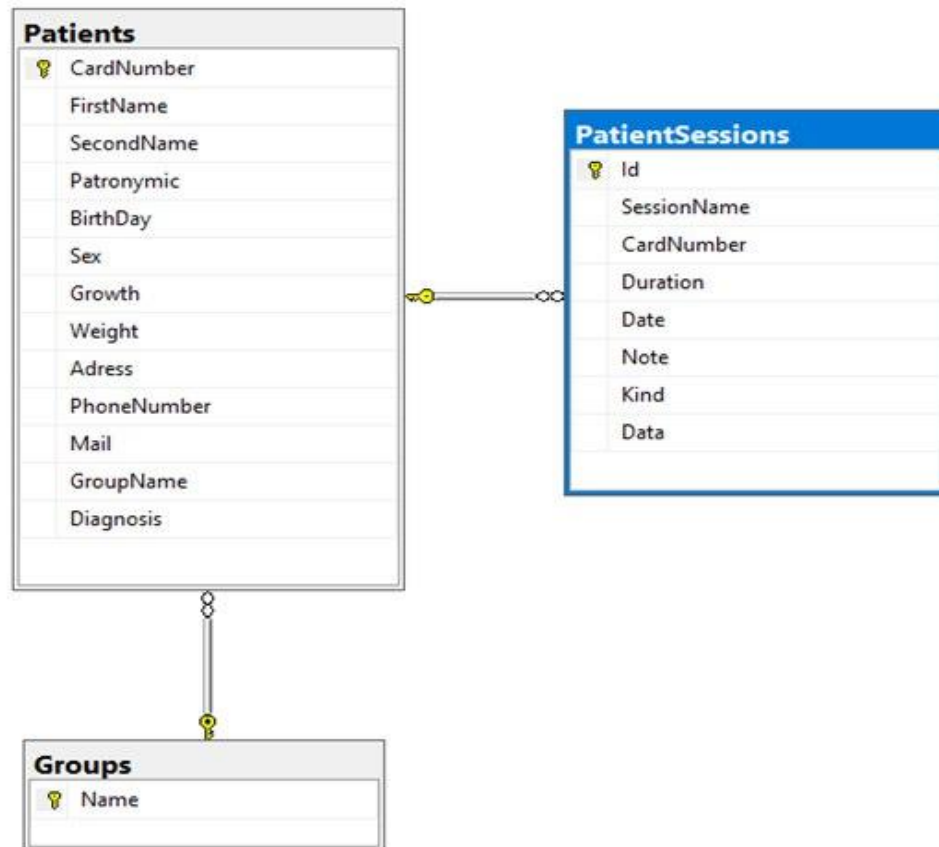
Use-case діаграма



Діаграма класів



Структура бази даних пацієнта



Блок для встановлення достовірності діагнозу

Моделювання легеневого газообміну хворих на ХОЗЛ в умовах гіпоксії

Встановлення діагнозу | Проведення сеансу | Додаток

Вхідні дані

Концентрація цитокінів IL4	<input type="text" value="18.52"/>
Концентрація цитокінів IL8	<input type="text" value="17.62"/>
Об'єм форсованого видиху	<input type="text" value="2.094"/>
Функціональна життєва ємність легень	<input type="text" value="3"/>
Концентрація трансферину	<input type="text" value="4.33"/>

Порахувати

Діагноз - ХОЗЛ

Блок для проведення сеансу

Модельювання легеневого газообміну хворих на ХОЗЛ в умовах гіпоксії

Встановлення діагнозу Проведення сеансу Додаток

Синхронізація з приладом
 Ручний ввід даних

t, хв D
 O2% Ta, c
 CO2%

Час	D	Ємність легень	Хвилинна вентиляція	Парціальний тиск O2 в дихальних шляхах	Парціальний тиск CO2 в дихальних шляхах
1	0.3	5.0588	1.5635	120.9445	37.4984
2	0.5	5.2442	5.1396	141.775	32.7371
3	0.6	5.0926	9.037	139.5501	33.2456
4	0.5	4.6381	9.7133	117.7433	38.2299
5	0.4	4.5581	9.3013	54.3636	52.7163
6	0.3	5	0	110	40
7	0.3	5.0583	1.5635	120.9445	37.4984
8	0.5	5.2442	5.1396	141.775	32.7371
9	0.6	5.0926	9.037	139.5501	33.2456
10	0.5	4.6381	9.7133	117.7433	38.2299
11	0.4	4.5581	9.3013	54.3636	52.7163
12	0.3	5	0	110	40
13	0.3	5.0583	1.5635	120.9445	37.4984
14	0.5	5.2442	5.1396	141.775	32.7371
15	0.6	5.0926	9.037	139.5501	33.2456

Динаміка зміни ємності легень

Динаміка зміни парціальних тисків O2 і CO2 в дихальних шляхах

Динаміка зміни парціальних тисків O2 і CO2 в альвеолярному просторі

Вкладка з статичними параметрами

Модельювання легеневого газообміну хворих на ХОЗЛ в умовах гіпоксії

Встановлення діагнозу Проведення сеансу Додаток

Статичні дані

Обсяг дихальних шляхів	<input type="text" value="3"/>
Обсяг резервуара в ненапруженому стані	<input type="text" value="5"/>
еластичність легенів - л/кПа	<input type="text" value="1"/>
опір дихальних шляхів - кПа * с/л	<input type="text" value="0.2"/>
частота дихальних циклів в нормі - раз/хв	<input type="text" value="10"/>
порогове значення хв вентиляції - л/хв	<input type="text" value="15"/>

Висновок

Було розроблено модуль для моделювання системи дихання під час гіпокситерапії у хворих ХОЗЛ та виконано наступні підзадачі:

- дослідження існуючих моделей системи дихання;
- реалізація обраної математичної моделі з можливістю ручного розрахунку даних;
- синхронізація модуля з експертною системою;
- візуалізація та збереження результатів.



Дякую за увагу!