

**Міністерство охорони здоров`я України
Харківська медична академія післядипломної освіти**

КАФЕДРА ДИТЯЧОЇ АНЕСТЕЗИОЛОГІЇ ТА ІНТЕНСИВНОЇ ТЕРАПІЇ

КЛІНІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ КРОВООБІГУ

Навчальний посібник для самостійної роботи слухачів

Харків-2017

Установа розробник:

Харківська медична академія післядипломної освіти

Укладачі:

д.мед.н., професор Георгіянц М.А.;

д.мед.н., професор Корсунов В.А.;

к.мед.н., доцент Одинець І.Ю.;

к.мед.н., доцент Раскова Т.Ю.;

к.мед.н., асистент Пушкар М.Б.;

к.мед.н., асистент Лисенко Л.С.

Рецензенти:

завідувач кафедри дитячих інфекційних хвороб
Харківського Національного медичного університету МОЗ України,
доктор медичних наук, професор С.В. Кузнецов

завідувач кафедри анестезіології та інтенсивної терапії
Харківської медичної академії післядипломної освіти МОЗ України,
доктор медичних наук, професор В.Й. Лисенко

Затверджено Вченою радою Харківської медичної академії післядипломної освіти, протокол №8 від 3.11.2017р.

Зміст

Перелік умовних скорочень.	4
Питання для контролю вхідного рівня знань.	5
Вступ.	6
Розділ 1. Фетальний кровообіг та особливості кровообігу новонародженої дитини.	7
Розділ 2. Основні анатомо-функціональні складові кровообігу/	8
Розділ 3. Основні показники гемодинаміки та їх зміни у дітей різних вікових груп/	10
Розділ 4. Система транспорту та споживання кисню, її вікові особливості у дітей.	12
Питання для кінцевого рівня знань	15
Відповіді на питання для кінцевого рівня знань	18
Список рекомендованої літератури	19

Перелік умовних скорочень:

АТ діаст. - артеріальний тиск діастолічний

АТ сист. - артеріальний тиск систолічний

ІЗПСО - індекс загального периферичного судинного опору

ЗСО - загальний судинний опір

КДО - кінцево-діастолічний об'єм

КДР - кінцево-діастолічний розмір

КУК - коефіцієнт утилізації кисню

ЛСО - легеневий судинний опір

ОЦК - об'єм циркулюючої крові

САТ - середній артеріальний тиск

СІ - серцевий індекс

УО - ударний об'єм

ФВ - фракція викиду

ХОС - хвилинний об'єм серця

ЦВТ - центральний венозний тиск

ЧСС - частота серцевих скорочень

СаО₂ - вміст кисню у артеріальній крові

СvО₂ - вміст кисню у венозній крові

DO₂ - дебіт кисню

НbА - гемоглобін дорослого типу

НbF - фетальний гемоглобін

SaO₂ - насичення киснем артеріальної крові

VO₂ - споживання кисню

Питання для контролю вхідного рівня знань

1. Перерахуйте фетальні комунікації (1,3)
2. Що визначає частоту серцевих скорочень у дітей? (2,10)
3. У якому віці відбувається формування вагусних рефлексів? (7,8)
4. Який показник відображає скоротливу здібність міокарда? (2,4)
5. Чим відрізняється фетальний гемоглобін та гемоглобін дорослого типу? (5,7)
6. У чому полягає сутність рефлексу Ейлера-Лілієстранда? (1,6)
7. Чим визначається переднавантаження? (9,10)
8. Чим визначається післянавантаження? (9,10)

Вступ

Онтогенез дитини включає в себе певні етапи розвитку, які характеризуються різним ступенем фізичної та фізіологічної зрілості, особливостями перебігу патологічних станів, специфікою взаємодії організму з навколишнім середовищем. Однією з найважливіших систем, яка забезпечує адаптацію до позаутробного життя, приймає участь у компенсації будь-яких критичних станів є система кровообігу. Глибоке розуміння особливостей анатомії та фізіології системи кровообігу у дітей різних вікових груп є основою для ефективної роботи лікаря-анестезіолога дитячого як у операційній, так і у відділенні інтенсивної терапії. Знання анатомо-фізіологічних особливостей системи кровообігу завжди буде допомагати лікарям інших спеціальностей при наданні невідкладної допомоги у дітей.

Навчальний посібник для самостійної роботи був розроблений для лікарів-анестезіологів, дитячих анестезіологів, педіатрів, лікарів медицини невідкладних станів, лікарів загальної практики - сімейної медицини.

Навчальний посібник для самостійної роботи видається вперше.

Розділ 1. Фетальний кровообіг та особливості кровообігу новонародженої дитини.

Система кровообігу дітей має низку відмінностей від системи кровообігу дорослих. Це обумовлено процесом її анатомічної та фізіологічної перебудови під час зміни внутріутробного розвитку дитини на позаутробний та пристосуванні системи кровообігу до змін у потребах органів та тканин дитин у кисні та нутрієнтах, інтенсивності метаболізму тощо, під час позаутробного росту та розвитку.

До основних відмінностей серцево-судинної системи дитини належать:

1. Можливість функціонування фетальних комунікацій,
2. Відносна гіперволемія та незріла архітектоніка міокарда, які здатні сприяти швидкому розвитку синдрому малого серцевого викиду.

Період новонародженості характеризується максимальним напруженням фізіологічних механізмів адаптації системи кровообігу до позаутробних умов існування. Протягом перших годин життя відбувається зменшення кровотоку через фетальні комунікації – овальне вікно та артеріальну (Баталову) протоку. Проте, овальне вікно зберігається відкритим протягом перших 4-5 діб життя майже у 50% дітей. У певної кількості дітей анатомічне закриття овального вікна відбувається лише наприкінці 2 року життя. Наявність відкритого овального вікна призводить до функціонування ліво-правого шунта, але, під час діастоли може спостерігатися незначне право-ліве скидання крові, що обумовлено діастолічною ригідністю правого шлуночка.

Артеріальна протока може лишатися відкритою протягом кількох годин, і навіть діб, після народження. Нормальним вважається закриття артеріальної протоки протягом 48 годин від народження. Її закриттю сприяє більше насичення крові киснем. У разі, якщо вона функціонує після 72 години від народження, діагностується вроджена вада серця - персистуюча артеріальна протока (рис.1).

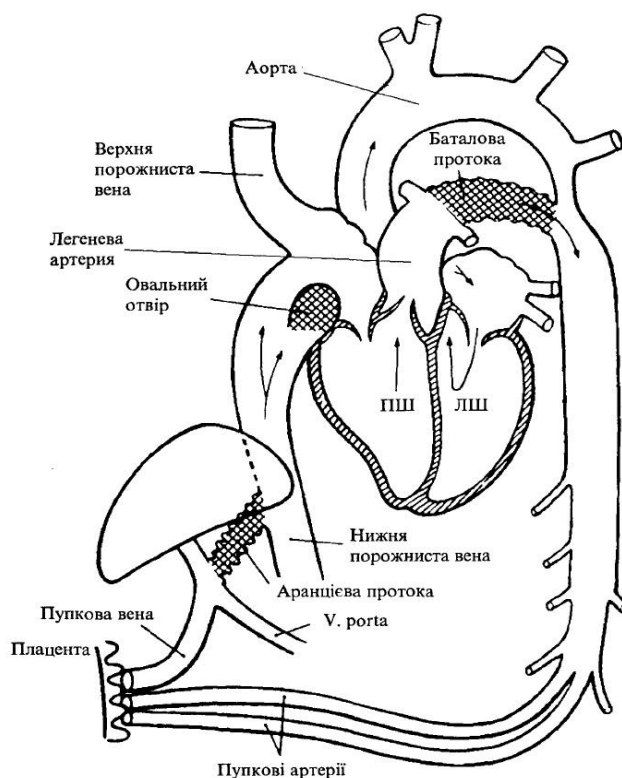


Рис.1. Кровообіг плода та новонародженого

При вроджених вадах серця фетальні комунікації можуть функціонувати протягом тривалого часу, при цьому, в деяких випадках, відкрита артеріальна протока є важливим фактором компенсації, тому її раннє закриття намагаються попередити при наявності дуктально-залежного легеневого чи системного кровообігу.

Суттєвим для пребудови кровообігу після народження дитини є зниження високого легеневого (ЛСО) та загального судинного опору (ЗСО). Перші вдихи дитини, розкриття альвеол, припинення інтранатальної гіпоксемії та дії обумовленого нею рефлексу Ейлера-Лілієстранда зменшують ЛСО на 70% протягом першої доби життя. Фізіологічних значень ЛСО набуває на 2-4 тижні життя. Завдяки зниженню ЛСО відбувається зростання легеневого кровообігу у 8-10 разів.

Розділ 2. Основні анатомо-функціональні складові кровообігу.

Співвідношення між переднавантаженням, післянавантаженням та розтяжністю шлуночків у дітей першого року життя, порівняно із дорослими, також відмінні. Найбільш важливим є менший комплаєнс шлуночків та

практично максимальне переднавантаження протягом значно меншого часу діастолі. Завдяки цьому гетерометричний закон регуляції серця (закон Франка-Старлінга) у дітей віком до 1 року виконується не у повному обсязі. Отже, якщо у дорослої людини збільшення серцевого викиду здійснюється через зростання переднавантаження та ударного об'єму лівого шлуночка, то у дітей збільшення серцевого викиду відбувається через збільшення частоти серцевих скорочень (рис. 2.).

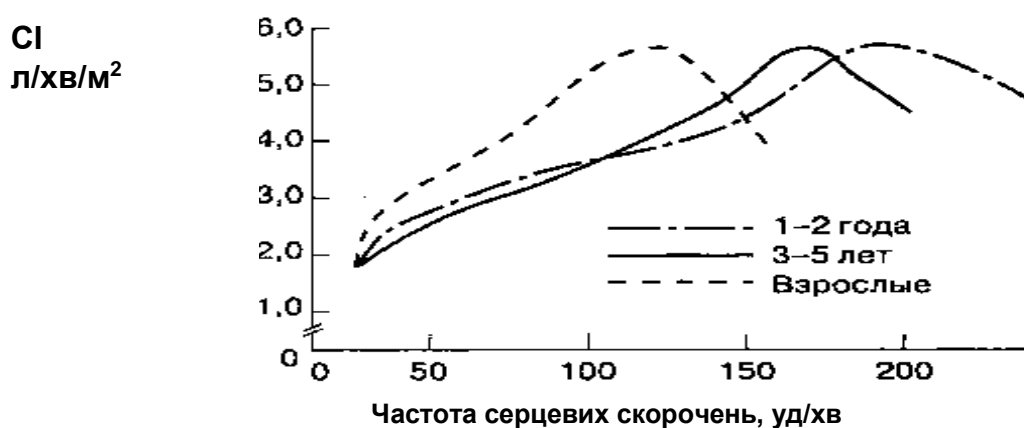


Рис.2. Механізми регуляції серцевого викиду у дітей та дорослих

Хвилинний об'єм серця (ХОС) у новонародженої дитини становить близько 300 мл/кг маси тіла, ударний об'єм серця (УО) – 1,5 мл/кг маси тіла. Відповідно до збільшення розмірів серця УО зростає, а ЧСС знижується, що супроводжується зниженням ХОС до 100 мл/кг у підлітків та 70 мл/кг маси тіла у дорослої людини.

ЧСС визначається власною частотою спонтанної деполяризації синусового вузла, яка розраховується за формулою:

$$\text{власна частота спонтанної діастолічної деполяризації синусового вузла} = 118/\text{хв} - (0,57 \times \text{вік})$$

Післянавантаження у великому колі кровообігу також вважається збільшеним порівняно із дорослими через фізіологічну гіпотонію. Саме тому, зниження артеріального тиску у дітей відбувається лише при втраті понад 25% об'єму циркулюючої крові (ОЦК). Отже, провідною ознакою шоку у дітей є розлади перфузії у вигляді подвження часу заповнення капілярів понад 3 сек, але не артеріальна гіпотонія. При цьому доцільно зауважити, що втрата 25-35% ОЦК дитини перших років життя є потенційно смертельною,

адже тривалість очікуваного життя при крововтраті згаданого об'єму становить лише 20 хвилин!

Новонароджені діти майже цілковиті симпатикотоніки. Відсутність вагусних реакцій дає можливість проводити ларингоскопію та інтубацію без значного ризику брадикардії. У дітей віком понад 1 рік поступово зростає вплив парасимпатичної нервової системи, формуються вагусні рефлекторні реакції. У 90% дітей віком 1-7 років спостерігається чіткий окулокардіальний рефлекс, а у 60-75% дітей – дихальна аритмія, що пов'язано з гальмуванням тону ядер блукаючого нерва дихальним центром. Дихальна аритмія знову з'являється у підлітковому віці. Високий тонус блукаючого нерву в цей період провокує брадикардію і уповільнення передсердно-шлуночкової провідності.

Розділ 3. Основні показники гемодинаміки та їх зміни у дітей різних вікових груп.

Найбільш доступними для клінічної оцінки гемодинаміки є показники артеріального тиску (сistolічного, діастолічного та середнього), частоти серцевих скорочень та центрального венозного тиску.

Приблизно нормальні вікові величини систолічного АТ можна розрахувати за формулою:

$$\text{АТ сист.} = 90 + 2\text{В}, \text{ (Михельсон В.А., 2003)}$$

де АТ сист – систолічний АТ, В – вік дитини в роках.

Діастолічний АТ розраховують за формулою:

$$\text{АТ діаст.} = 60 + 2\text{В}, \text{ (Михельсон В.А., 2003)}$$

де АТ діаст – діастолічний АТ, В – вік дитини в роках.

Середній артеріальний тиск обчислюють за формулою:

$$\text{САТ} = \text{АТдіаст.} + (\text{АТ сист.} - \text{АТдіаст.}) / 3, \text{ (Михельсон В.А., 2003)}$$

де САТ – середній АТ, АТ сист – систолічний АТ, АТ діаст - діастолічний АТ.

Доцільно пам'ятати, що сучасні монітори вимірюють САТ осцилометричним методом, а не розраховують його за формулами, отже

показники розрахованого та визначеного моніторами САТ можуть дещо відрізнятися. Фізіологічні показники АТ представлені нижче (табл.3).

Таблиця 3

Фізіологічні значення показників артеріального тиску у дітей різних вікових груп

(Александрович Ю.С., Пшениснов К.В., Гордеев В.И, 2014)

Вік	АТ сист. (мм рт.ст.)	АТ діаст. (мм рт.ст.)	САТ (мм рт.ст.)
Новонароджені	60-80	40-50	48-63
1-2 роки	80-85	45-50	60-65
3-6 років	88-96	52-58	69-72
7-9 років	92-100	53-58	70-74
10-12 років	105-112	58-64	78-82
13-15 років	106-114	61-66	80-84

Показник САТ є дуже важливим у співставленні з показником центрального венозного тиску (ЦВТ), адже різниця між САТ та ЦВТ відбиває перфузійний тиск, підтримання якого забезпечує оптимальні умови для кровопостачання органів та тканин. Хоча показник ЦВТ традиційно вважається мірою переднавантаження, важливо розуміти, що ізольована та дискретна його оцінка не дає можливості точно визначити переднавантаження, особливо для лівого шлуночка у дітей з критичними розладами гемодинаміки. Наприклад, високий ЦВТ у хворого з респіраторним дистрес-синдромом, легеневою гіпертензією, правошлуночковою недостатністю не виключає гіповолемії для лівого шлуночка, збільшення ЦВТ при застосуванні позитивного тиску під час видиху не відбиває збільшення переднавантаження. Норми ЦВТ не існують. Орієнтовні межі фізіологічного ЦВТ у дітей знаходяться у інтервалі 2-6 мм рт.ст. (Rogers M, 2012).

Провідним методом, яким доцільно користуватися для визначення показників центральної гемодинаміки у дітей, має бути ультразвукова

кардіоскопія – неінвазивне та максимально доступне дослідження здатне визначити переднавантаження (кінцево-діастолічний розмір - КДР, кінцево-діастолічний об'єм - КДО), систолічну (фракція викиду - ФВ) та діастолічну (за умов проведення доплерографії) функцію шлуночків серця, показники серцевого викиду (УО, ХОС, серцевий індекс - СІ), та, у сполученні з відомими показниками артеріального тиску – стан післянавантаження – індекс загального периферичного судинного опору (ІЗПСО) (табл.4).

Таблиця 4

Нормальні показники гемодинаміки у дітей різних вікових груп
(зведені дані за В.С. Приходько і співав., 1987 р.; Rogers M.C., et al,
1996 р.; Воробйов А.С., Бутаєв Т.Д., 1999 р.)

Показник	Новона роджені	1-6 міс	6-12 міс	1-2 роки	2-3 роки	3-6 років	7-10 років	11-13 років	14-16 років
ЧСС (уд/хв)	138,0 ±3,5	144,0 ±2,6	131,0 ±2,3	120,0 ±3,0	103,0 ±2,9	96,0 ±6,0	84,0 ±6,0	78,0 ±6,0	74,0 ±4,0
КДР (см)	1,9 ± 0,2	2,2 ±0,2	2,55 ±0,15	2,75 ±0,25	3,25 ±0,25	3,45 ±0,05	3,65 ±0,05	4,05 ±0,05	4,4 ±0,1
КСР (см)	1,35 ±0,15	1,4 ±0,2	1,55 ±0,15	1,7 ±0,2	2,05 ±0,15	2,35 ±0,05	2,2 ±0,2	2,65 ±0,05	2,85 ±0,05
УО (мл)	7,8 ±2,2	11,0 ±3,0	17,0 ±3,5	20,0 ±4,0	29,0 ±6,0	33,0 ±1,5	37,5 ±1,5	44,5 ±1,5	59,0 ±1,5
ХОС (л/хв)	1,05 ±0,35	1,57 ±0,35	2,25 ±0,45	2,6 ±0,8	2,95 ±0,55	3,05 ±0,15	3,2 ±0,3	3,45 ±0,35	4,3 ±0,3
СІ (л·хв/м ²)	4,75 ±1,25	5,0 ±1,2	5,3 ±1,1	5,15 ±1,75	4,8 ±1,6	4,1 ±0,2	4,5 ±0,5	4,5 ±0,5	4,5± 0,5
ФВ (%)	64±7	65±8	75±5	70±6	70±6	67±2	63	64	62
ІЗПСО (дин·с·см ⁻⁵ /м ²)	1200 ±400	1200 ±400	1200 ±400	1200 ±400	1200 ±400	1200 ±400	1200 ±400	1200 ±400	1200 ±400

Розділ 4. Система транспорту та споживання кисню, її вікові особливості у дітей.

Обговорюючи вікові особливості системи кровообігу у дітей, доцільно зупинитися на кількісних та якісних характеристиках системи крові, які відбивають об'ємні параметри (об'єм циркулюючої крові – ОЦК), та ефективність кисневого транспорту і реологію (гемоглобін – Нв, та

гематокрит – Ht).

Фізіологічні значення ОЦК залежать від віку дитини і у недоношених новонароджених складають 100 мл/кг, надалі вони поступово зменшуються до 65 мл/кг у підлітків. Рівень гемоглобіну та гематокриту у новонароджених також значно більший, ніж у дітей старшого віку, що обумовлено наявністю гемоглобіна фетального типу (HbF), якій має відмінності у аффінітеті до кисню порівняно з гемоглобіном дорослого типу – HbA. Знання показників Hb, Ht та ОЦК дуже важливо для оцінки об'єма крововтрати та розрахунку гемотрансфузії (табл. 5).

Таблиця 5

Фізіологічні показники гемоглобіну, гематокриту та об'єму циркулюючої крові у дітей різного віку (Bikhazi G.B., Cook D.R., 1990)

Вік	Hb (г/дл)	Ht (%)	ОЦК мл/кг
недоношений	20,0	45 %	90-100
1 день	19,5	54 %	80-90
2 - 3 день	19,0	53 %	80-90
4 - 8 днів	18,3	52 %	80-90
9 - 13 днів	16,5	49 %	80
3 - 5 міс	12,2	36 %	75 - 80
1 рік	11,2	35 %	75 - 80
3 роки	12,5	36 %	70 - 75
5 років	12,6	37 %	70 - 75
11 - 15 років	13,4	39 %	65 - 70

Комплексна оцінка системи кровообігу у дітей відкриває перед анестезіологом можливість оцінки транспорту та споживання кисню (табл. 6).

Таблиця 6

Інтегральні показники системи транспорту та споживання кисню
(Александрович Ю.С., Пшениснов К.В., Гордеев В.И, 2014)

Показник	Формула для розрахунку	Норма	Одиниці вимірювання
Вміст кисню у артеріальній крові	$CaO_2=(1,34 \cdot Hb \cdot SaO_2)+(PaO_2 \cdot 0,003)$	570-670	мл/л
Дебіт кисню	$DO_2=CI \cdot CaO_2$	570-670	мл/хв/м ²
Споживання кисню	$VO_2=[(CaO_2-CvO_2) \cdot CI] \cdot 10$	130-200	мл/хв/м ²
Насичення киснем центральної венозної крові CvO ₂		65-75	%
Коефіцієнт утилізації кисню	$KUK=(SaO_2-SvO_2)/SaO_2$	0,24- 0,28	

Отже, підводячи підсумки, необхідно наголосити, що система кровообігу у дітей має суттєві морфологічні та функціональні відмінності від дорослих. Фізіологічні показники її змінюються протягом дитинства відповідно до віку, що потребує чітких знань з боку анестезіолога. Недостатні знання щодо особливостей гемодинаміки у дітей можуть бути чинником грубих помилок у практичній діяльності анестезіолога.

Питання для контролю кінцевого рівня знань

1. Які судини з'єднує Баталова протока?
 - a. аорту та нижню порожнисту вену
 - b. аорту та верхню порожнисту вену
 - c. аорту та легеневу артерію
 - d. легеневу артерію та бронхіальну артерію
2. Який тип гемоглобіну домінує на першу добу після народження?
 - a. HbA
 - b. MetHb
 - c. HbP
 - d. HbF
3. Овальне вікно може бути відкритим до?
 - a. 1 години після народження
 - b. 2 років
 - c. 5 років
 - d. 1 місяця після народження
4. Втрата якої частини ОЦК супроводжується зниженням артеріального тиску?
 - a. 25-35% ОЦК
 - b. 15% ОЦК
 - c. 10% ОЦК
 - d. 20% ОЦК
5. ОЦК доношеного новонародженого становить?
 - a. 60-70 мл/кг
 - b. 100-110 мл/кг
 - c. 70-75 мл/кг
 - d. 80-90 мл/кг
6. Частота спонтанної діастолічної деполяризації синусового вузла має бути вирахована за формулою
 - a. ЧСС=100/хв-(0,57×вік)
 - b. ЧСС=118/хв-(0,57×вік)

- c. ЧСС=118/хв-(0,5×вік)
d. ЧСС=118/хв-(0,57×масу тіла)
7. Коефіцієнт утилізації кисню в нормі становить?
a. 0,15-0,19
b. 0,24-0,28
c. 0,10-0,15
d. 0,35-0,40
8. Дебіт кисню у нормі становить?
a. 300-340 мл/хв/м²
b. 1000-1200 мл/хв/м²
c. 400-450 мл/хв/м²
d. 570-670 мл/хв/м²
9. Споживання кисню у нормі становить?
a. 130-200 мл/хв/м²
b. 90-100 мл/хв/м²
c. 250-350 мл/хв/м²
d. 570-670 мл/хв/м²
10. Фізіологічний показник систолічного артеріального тиску у новонародженого становить?
a. 100-120 мм рт.ст.
b. 60-80 мм рт.ст.
c. 30-50 мм рт.ст.
d. 90-100 мм рт.ст.
11. Фізіологічний показник середнього артеріального тиску у новонародженого становить?
a. 30-40 мм рт.ст.
b. 70-80 мм рт.ст.
c. 48-63 мм рт.ст.
d. 90-100 мм рт.ст.
12. Фізіологічний показник діастолічного артеріального тиску у

новонародженого становить?

- a. 70-90 мм рт.ст.
- b. 60-80 мм рт.ст.
- c. 40-50 мм рт.ст.
- d. 20-30 мм рт.ст.

13. Фізіологічний показник гематокриту у дитини першої доби життя?

- a. 54%
- b. 63%
- c. 32%
- d. 12%

14. Фізіологічний показник гематокриту у дитини 1 року становить?

- a. 42%
- b. 35%
- c. 29%
- d. 30%

15. ОЦК дитини віком 5 років звичайно становить?

- a. 60-70 мл/кг
- b. 100-110 мл/кг
- c. 70-75 мл/кг
- d. 80-90 мл/кг

Відповіді на питання для контролю кінцевого рівня знань

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
с	д	б	а	д	б	б	д	а	б	с	с	а	б	с

Список рекомендованой литературы

1. Александрович Ю.С., Пшениснов К.В., Гордеев В.И. Интенсивная терапия критических состояний у детей. – С-Пб.:Из-дво Н-Л, 2014. – 976с.
2. Александрович Ю.С., Пшениснов К.В., Гордеев В.И. Анестезия в педиатрии. - С-Пб.: ЕЛБИ-СПб, 2013. – 160с.
3. Георгіянц М.А., Шкурупій Д.А., Похилько В.І., Корсунов В.А. Анестезія та інтенсивна терапія в дітей. Полтава-Харків: «Техсервіс», 2006 – 309 с.
4. Курек В.В., Кулагин А.Е. Анестезиология и интенсивная терапия детского возраста. – М.: МИА, 2011. – 992с.
5. A Practical Approach to Pediatric Anesthesia. Ed. Holzman R.Mancuso T., Polaner D. - 2008 Lippincott Williams & Wilkins
6. Gregory`s Pediatric Anesthesia. Ed. G.Gregory, D. Andropoulos. 5-th ed. - 2012. Blackwell Publishing Ltd.
7. Knobel R.B. Fetal and neonatal physiology / R.B. Knobel/ Newborn Infant Nurs Rev. – 2014. – Vol. 14. – P 45-49.
8. K. Allman, I. Wilson, A. O'Donnell. Oxford handbook of anesthesia. 4 ed. Oxford University Press, 2016, 1266p.
9. R.M. Kliegman, B.F. Stanton, J.St. Geme, N.F. Schor. Nelson Textbook of Pediatrics, 2-Volume Set, 20th ed. Phialdelphia, PA : Elsevier, 2016, 3888p.
10. P.J. Davis, F.P. Cladis. Smith`s anesthesia for infants and children. 9th ed. St. Louis, Missouri: Elsevier, 2017, 1367p.