



ИЮНЬСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
В КАРДИОКЛИНИКЕ

г. Санкт-Петербург · 20 июня 2024 г.

КЛАПАННАЯ БОЛЕЗНЬ СЕРДЦА:  
ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ

НИЦ ССХ  
руководитель академик Хубулава Г.Г.

**Классические и текущие представления о  
сердечно-легочной гемодинамике  
при актуальной клапанной патологии**



Марченко Сергей Павлович

г. Санкт-Петербург



# **сердечно-легочная гемодинамика**

- 1. давление в камерах и сосудах**
- 2. концентрация кислорода**
- 3. механические характеристики системы кровотока**
- 4. объемно-геометрические характеристики камер сердца**
- 5. системный поток крови**
- 6. соотношение доставки/потребления кислорода**



# Гемодинамический статус

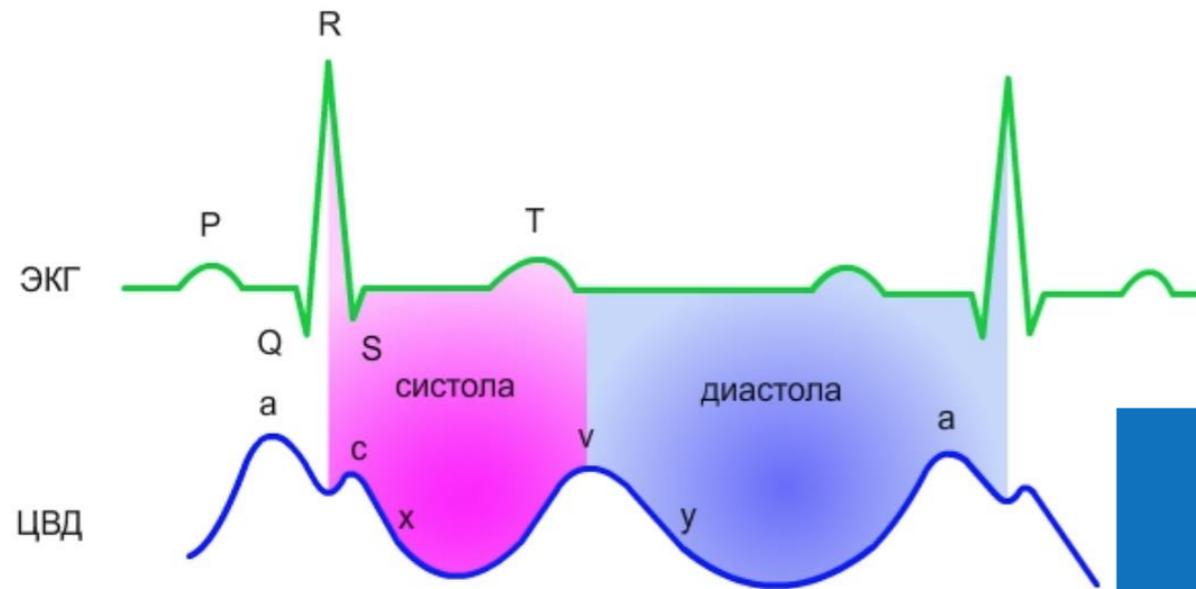
## 1. инвазивное измерение давления



Stephan Hales 1733 год

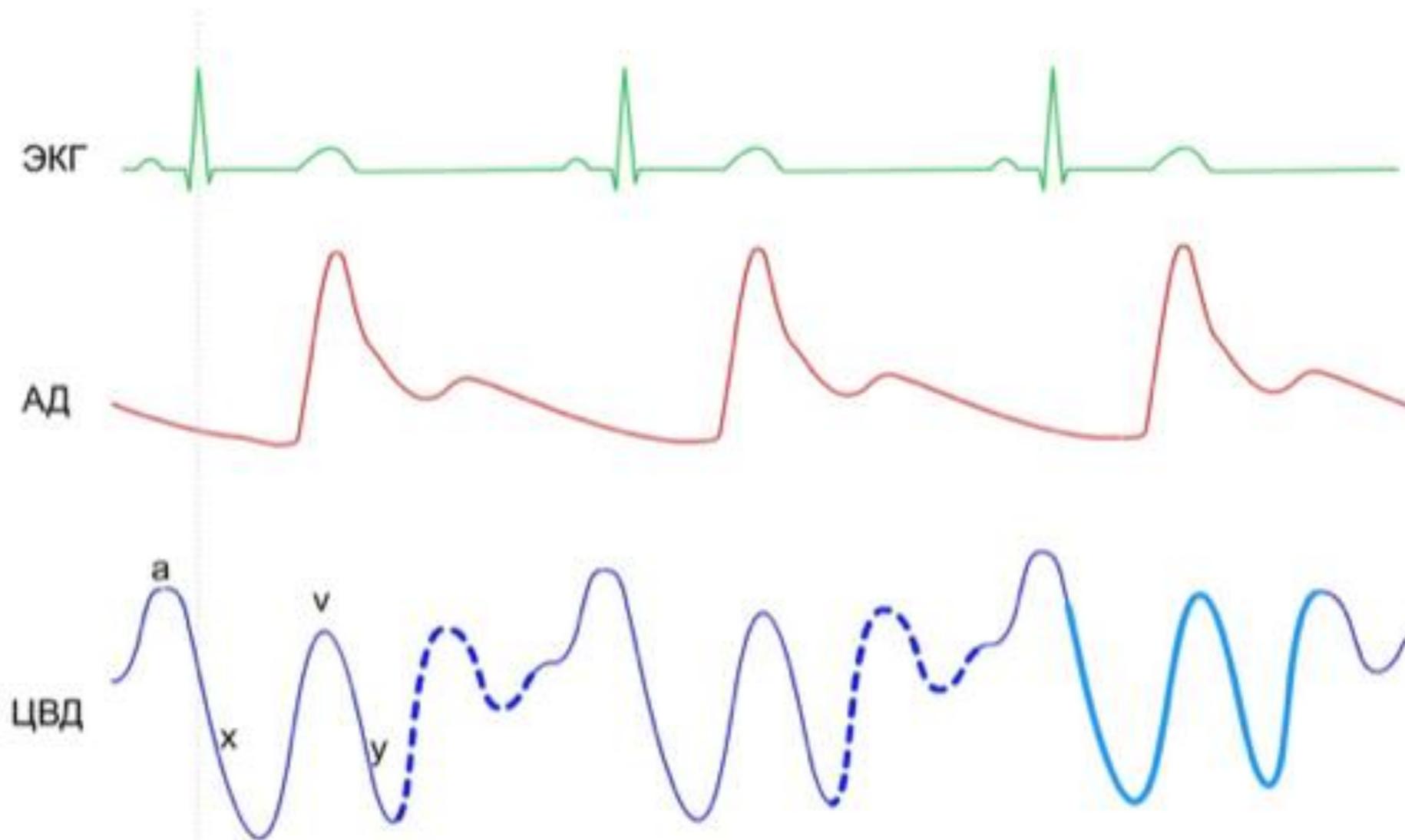


# Фазовые события кривой нормального центрального венозного давления



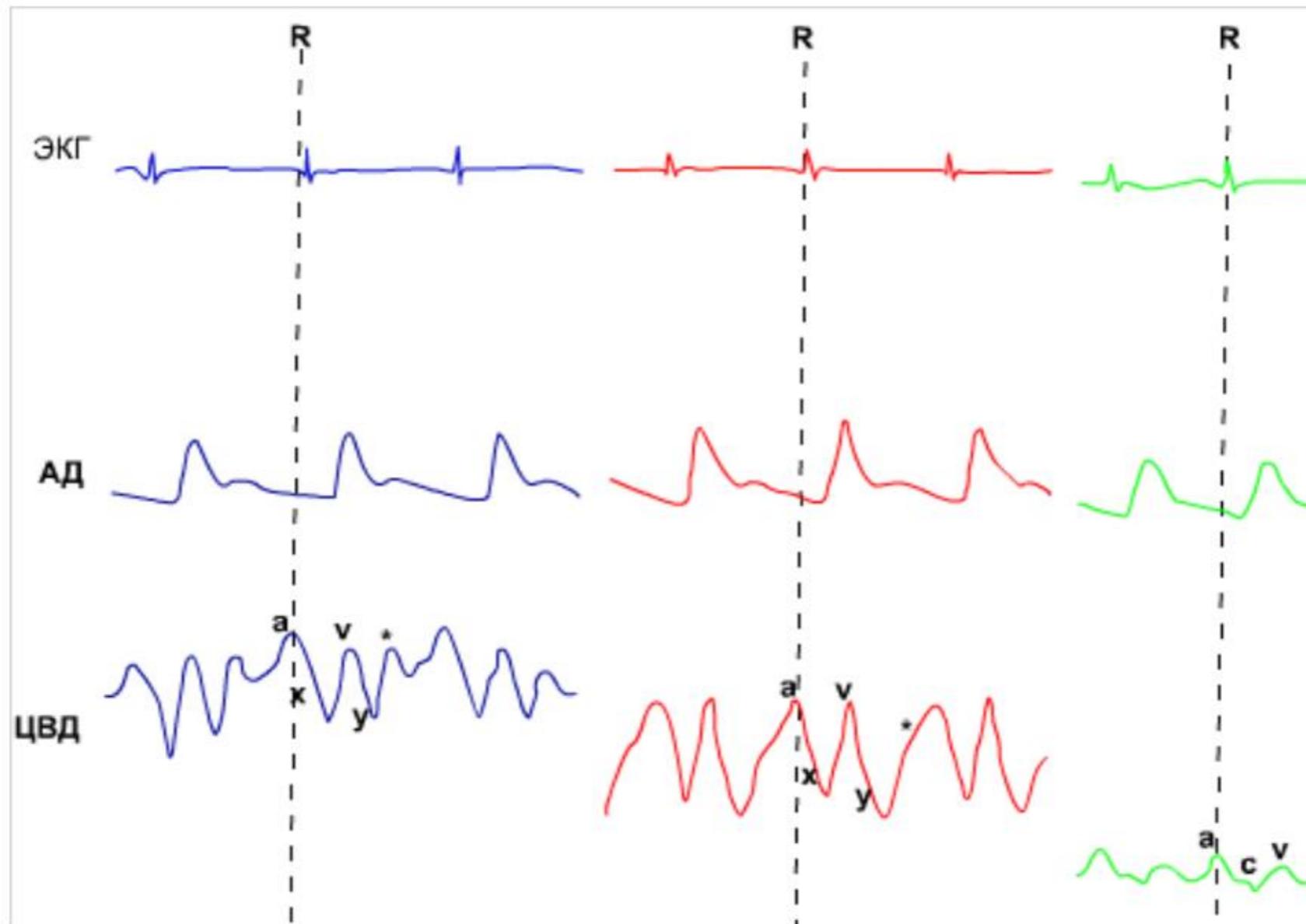
Компонент кривой	Фазы сердечного цикла желудочков	Механическое проявление
<i>a</i> волна	Окончание диастолы	Сокращение предсердий
<i>c</i> волна	Ранняя систола	Извольномическое сокращение желудочков, движение атриовентрикулярного клапана в сторону предсердия
<i>v</i> волна	Поздняя систола	Заполнение предсердий в систолу желудочков
<i>x</i> нисходящая волна	Середина систолы	Расслабление предсердий, снижение давления
<i>y</i> нисходящая волна	Ранняя диастола	Раннее желудочковое наполнение

# Изменения кривой ЦВД, характерные для перикардальной констрикции.



Высокая амплитуда волн *a* и *v*, резкое снижение отрезков *x* и *y* и типичное для констрикции повышение давления в период середины диастолы (участки кривой показаны прерывистой линией) образуют W или M-образную форму кривой, что отличает констрикцию перикарда от тампонады.

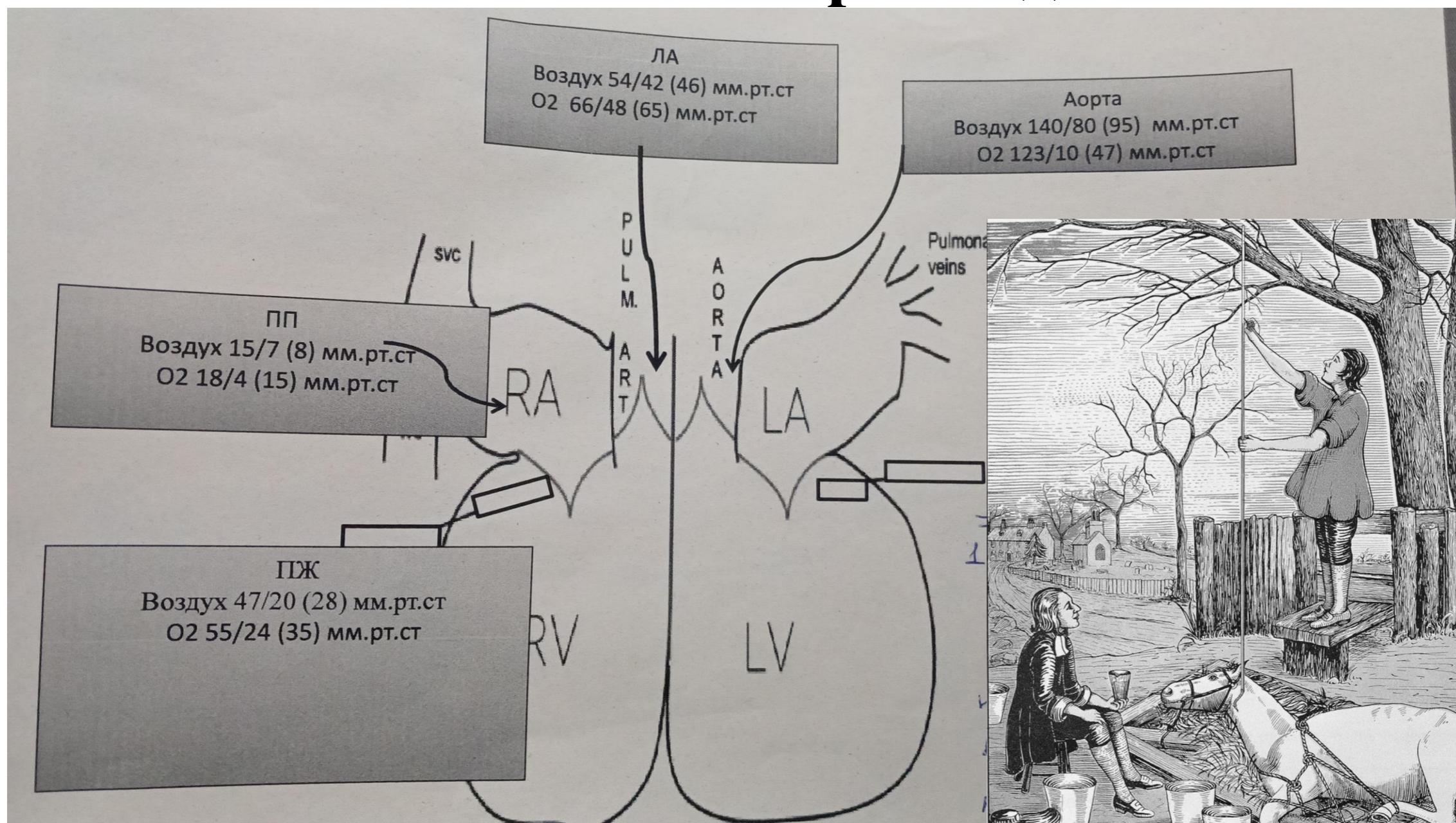
# Изменение формы кривой ЦВД при констрикции перикарда и после иссечения перикарда.





# Гемодинамический статус

## 1. инвазивное измерение давления





# Гемодинамический статус

## 1. инвазивное измерение давления Примеры форм кривых ЦВД при различных вариантах рестриктивной физиологии

констрикция перикарда



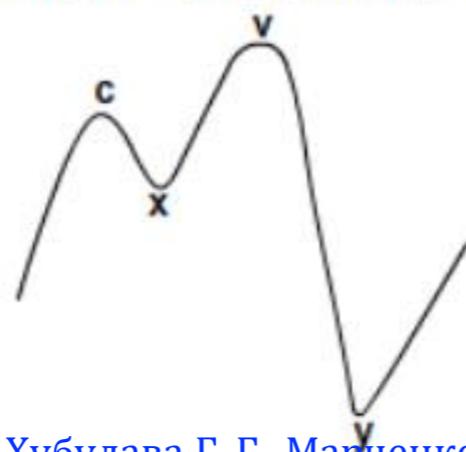
инфаркт правого желудочка



тампонада



фибрилляция предсердий



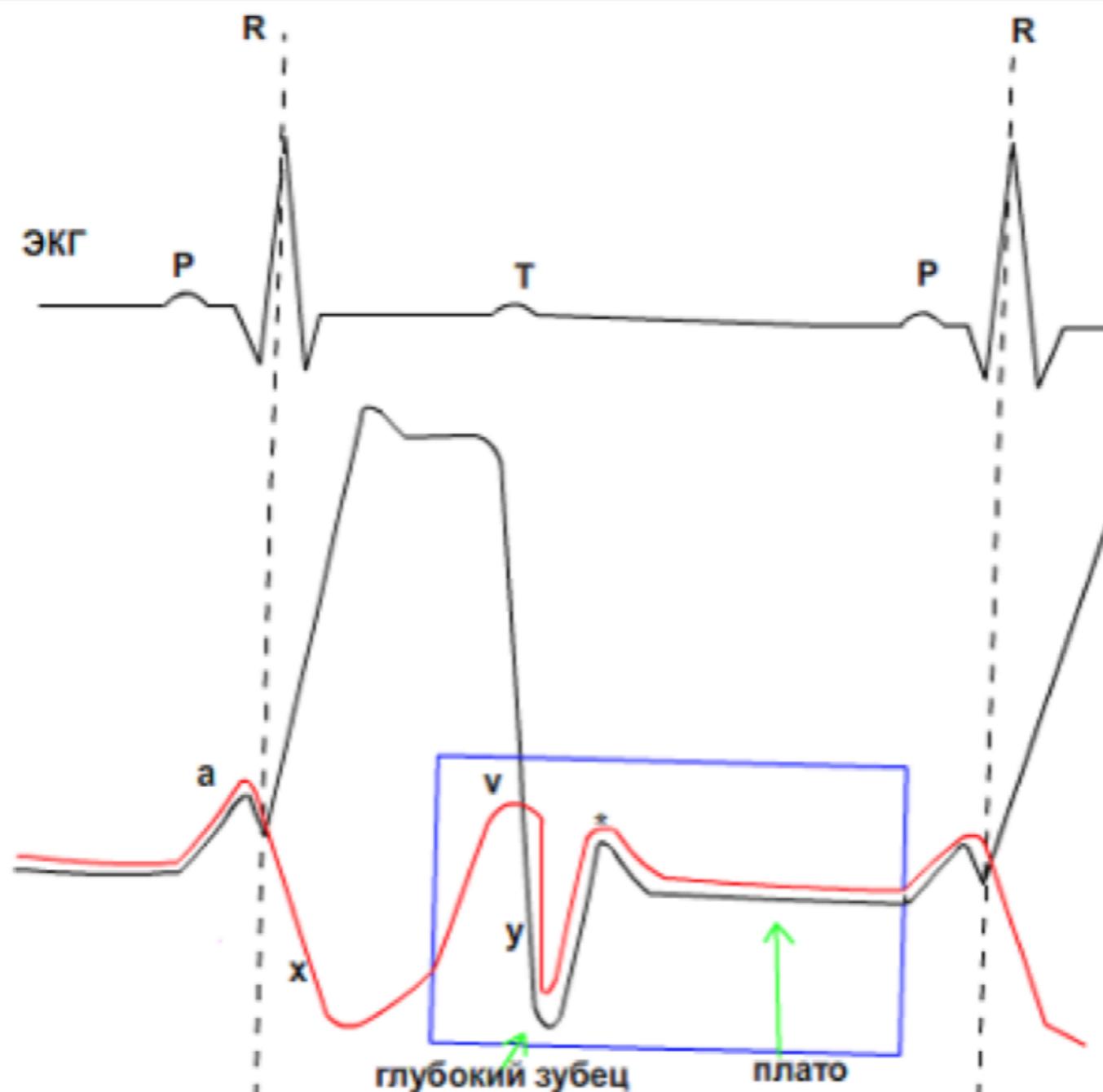
инфаркт правого желудочка  
и правого предсердия





# Гемодинамический статус

## 1. инвазивное измерение давления





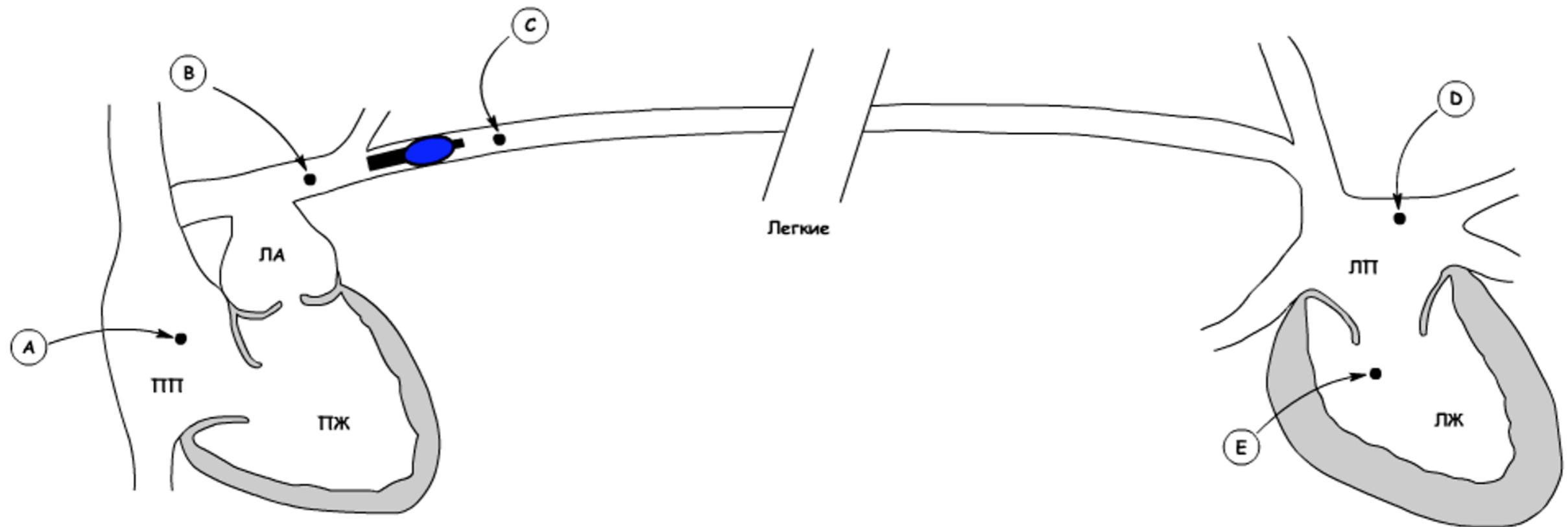
# Гемодинамический статус

## 1. инвазивное измерение давления Парадоксальный пульс

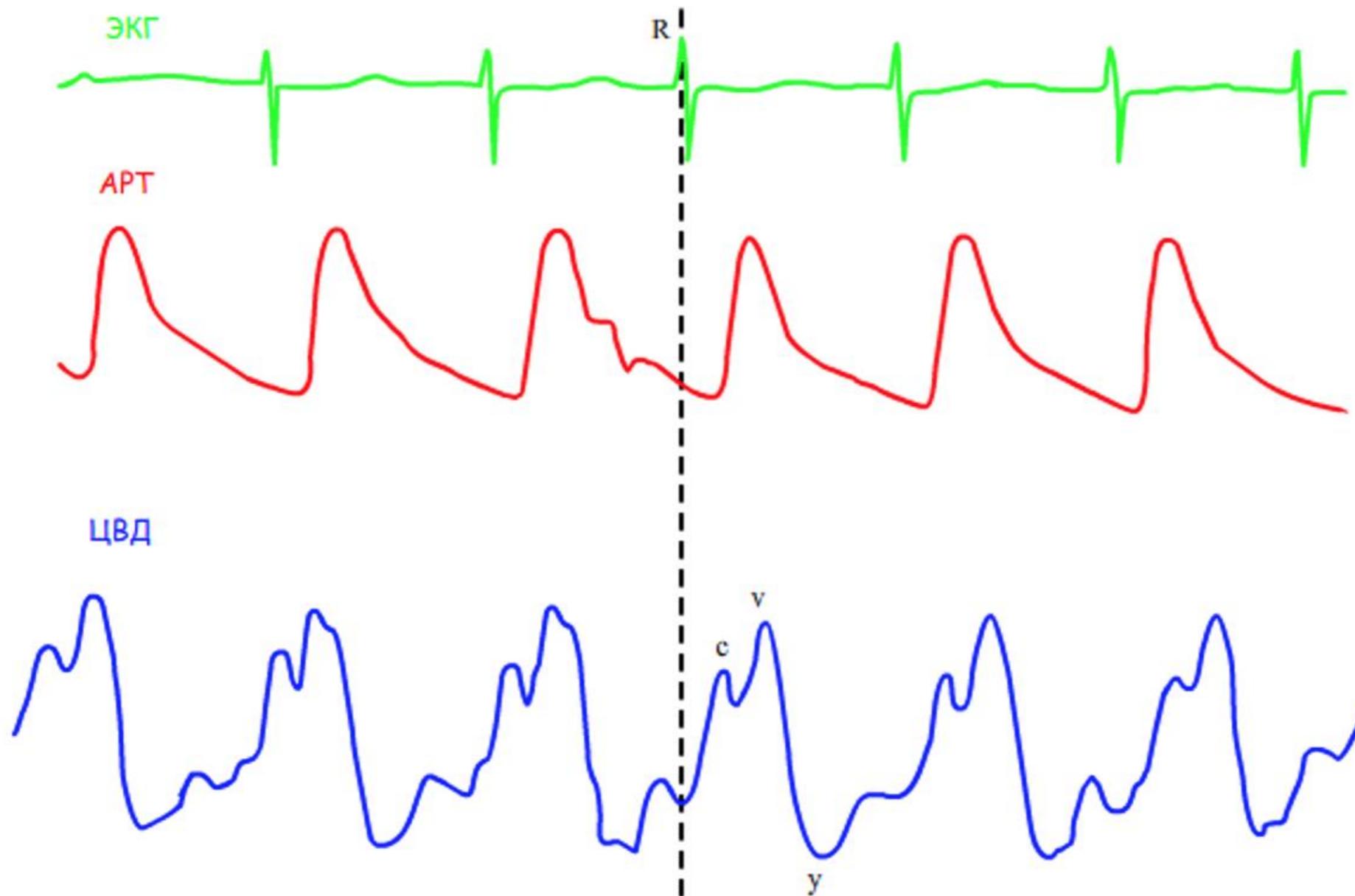


Каждый спонтанный вдох (отмечен стрелками)  
провоцирует снижение артериального давления.

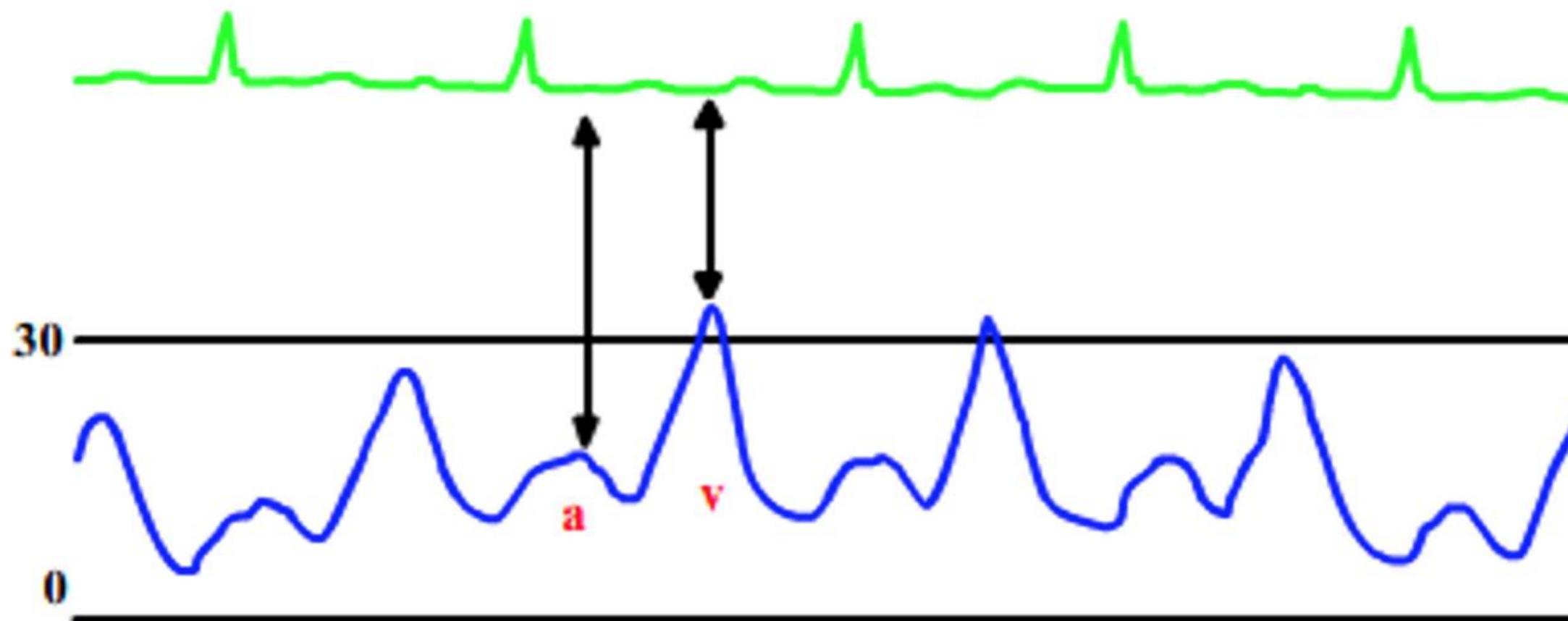
# Конечно-диастолическое давление в левом желудочке



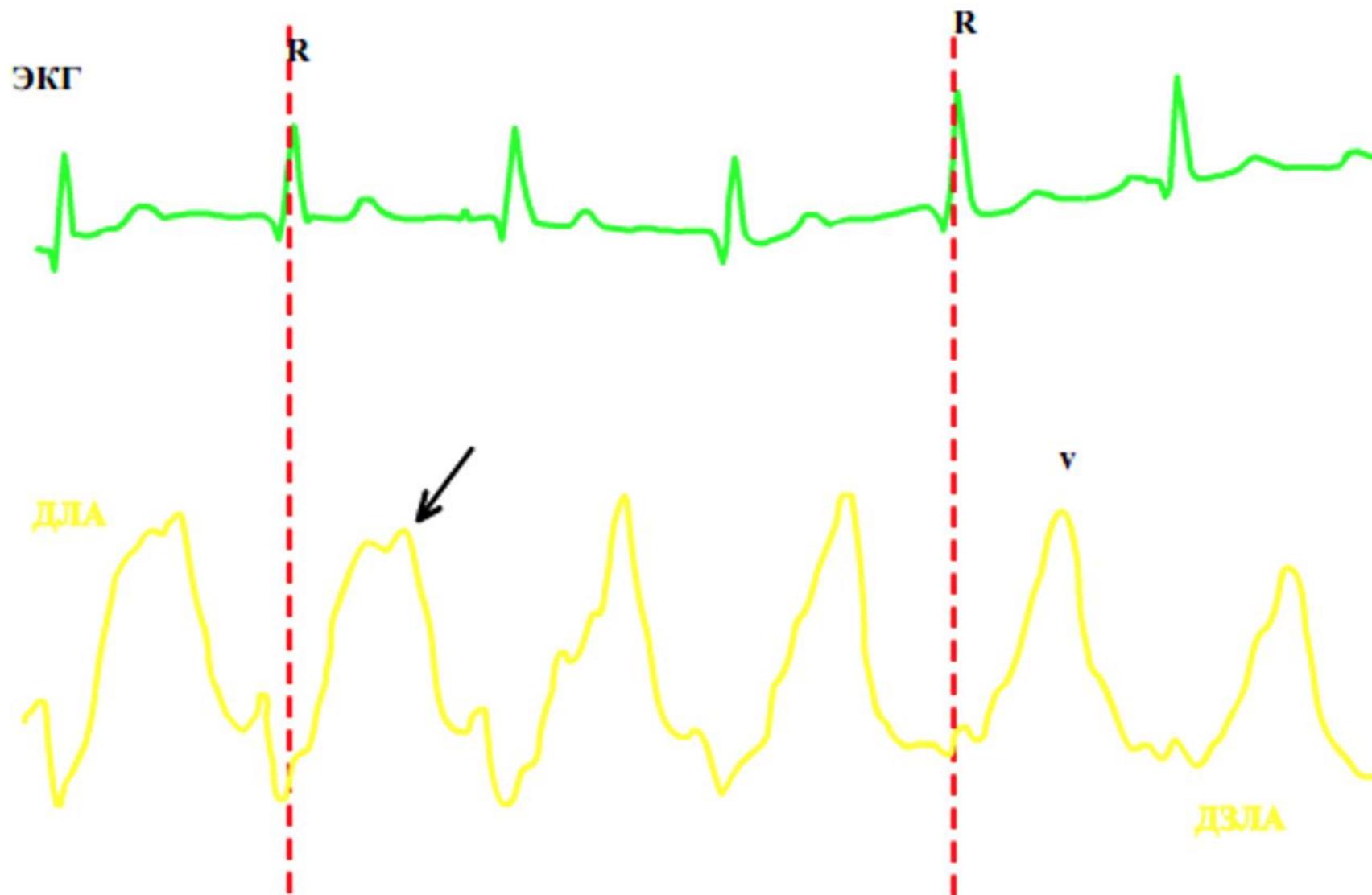
# Формы кривых при регургитации атриовентрикулярных клапанов



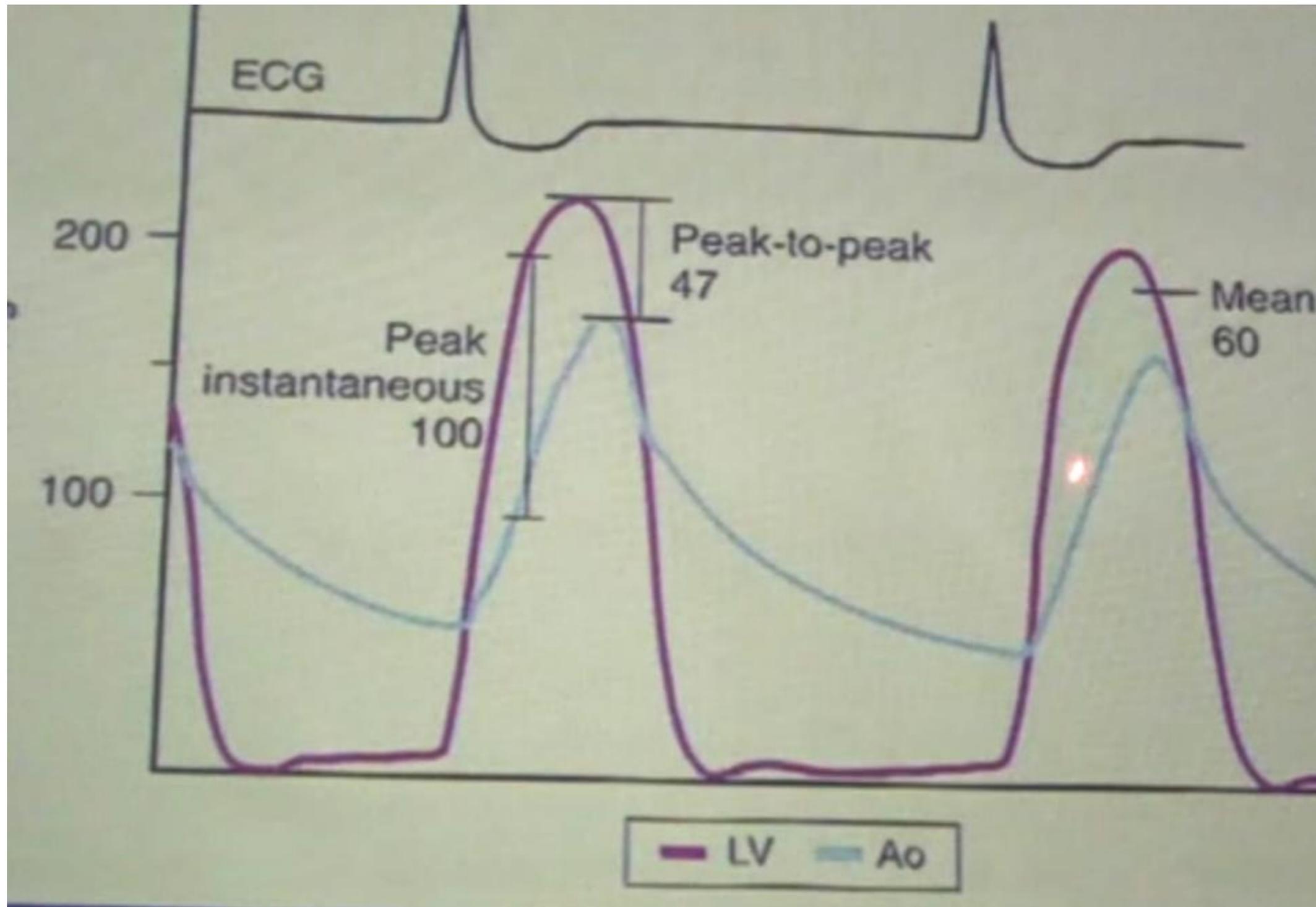
# Сердечно-легочная гемодинамика при нарушении функции желудочка



# Форма кривой ДЗЛК при МН



# Оценка градиента



Baumgartner et al. Pressure Recovery in Patients With Aortic Stenosis. JACC Vol. 33, No. 6, 1999

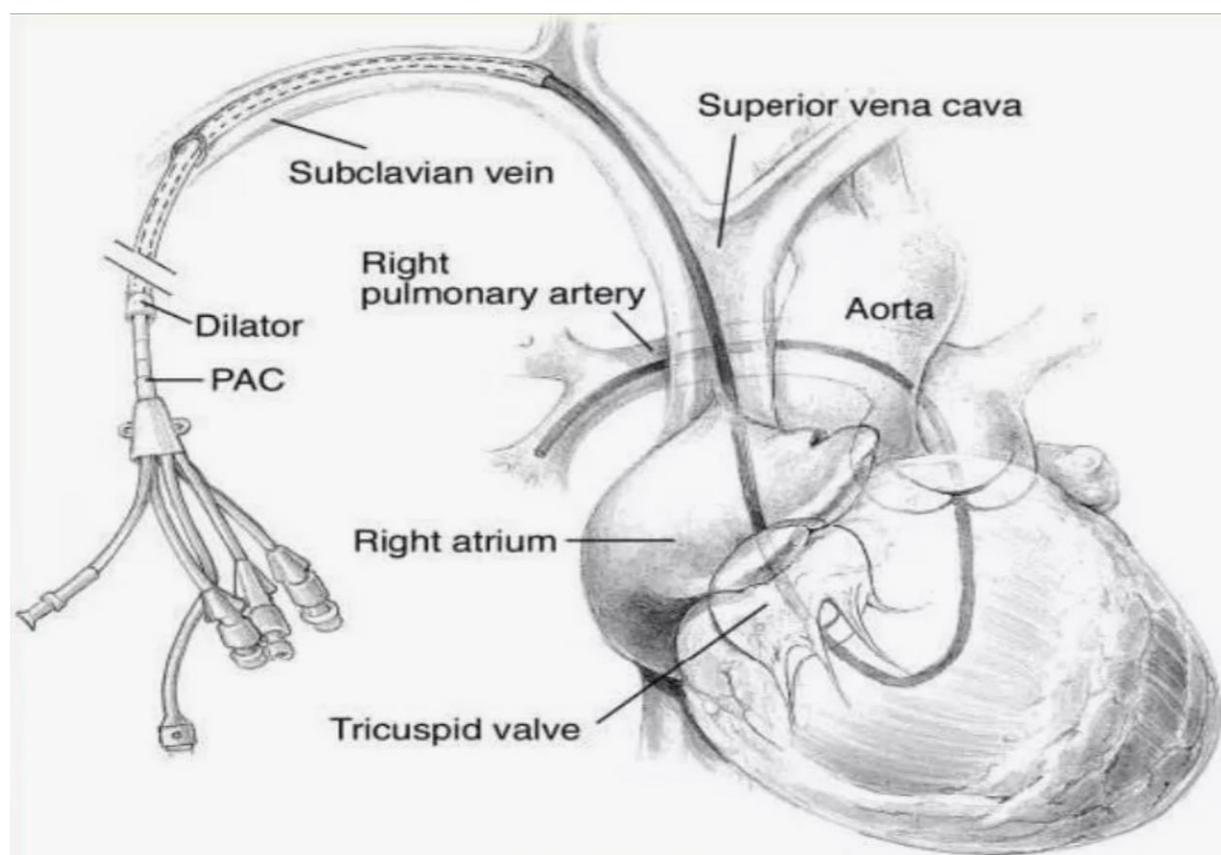
Ch. Jux, Aortic stenosis estimation. Clinical Lectures. 2016

# Оценка градиента

	Mean $\pm$ SD	Range
Peak Doppler gradient (mm Hg)	102.8 $\pm$ 46.2	(30–240)
Peak catheter gradient (mm Hg)	84.7 $\pm$ 32.4	(34–165)
Observed difference between peak Doppler and peak catheter gradient (mm Hg)	<u>18.1 <math>\pm</math> 18.3</u>	(–5–75)
Predicted difference between peak Doppler and peak catheter gradient (mm Hg)	18.5 $\pm$ 15.8	(5.4–81.6)
Difference between predicted and observed peak catheter gradient (mm Hg)	0.4 $\pm$ 8.0	(–19–12)
Mean Doppler gradient (mm Hg)	67.2 $\pm$ 31.4	(18–160)
Mean catheter gradient (mm Hg)	56.2 $\pm$ 23.4	(14–112)
Observed difference between mean Doppler and mean catheter gradient (mm Hg)	<u>11.0 <math>\pm</math> 12.7</u>	(–7–48)
Predicted difference between mean Doppler and mean catheter gradient (mm Hg)	12.1 $\pm$ 10.5	(3.2–54.4)

Baumgartner et al. Pressure Recovery in Patients With Aortic Stenosis. JACC Vol. 33, No. 6, 1999

# Метод термодиллюции



$$\dot{Q} = \frac{n}{\int c dt} = \frac{k(T_{\text{core}} - T_{\text{indicator}})V_{\text{indicator}}}{\int_{t_1}^{t_2} -\Delta T dt}$$

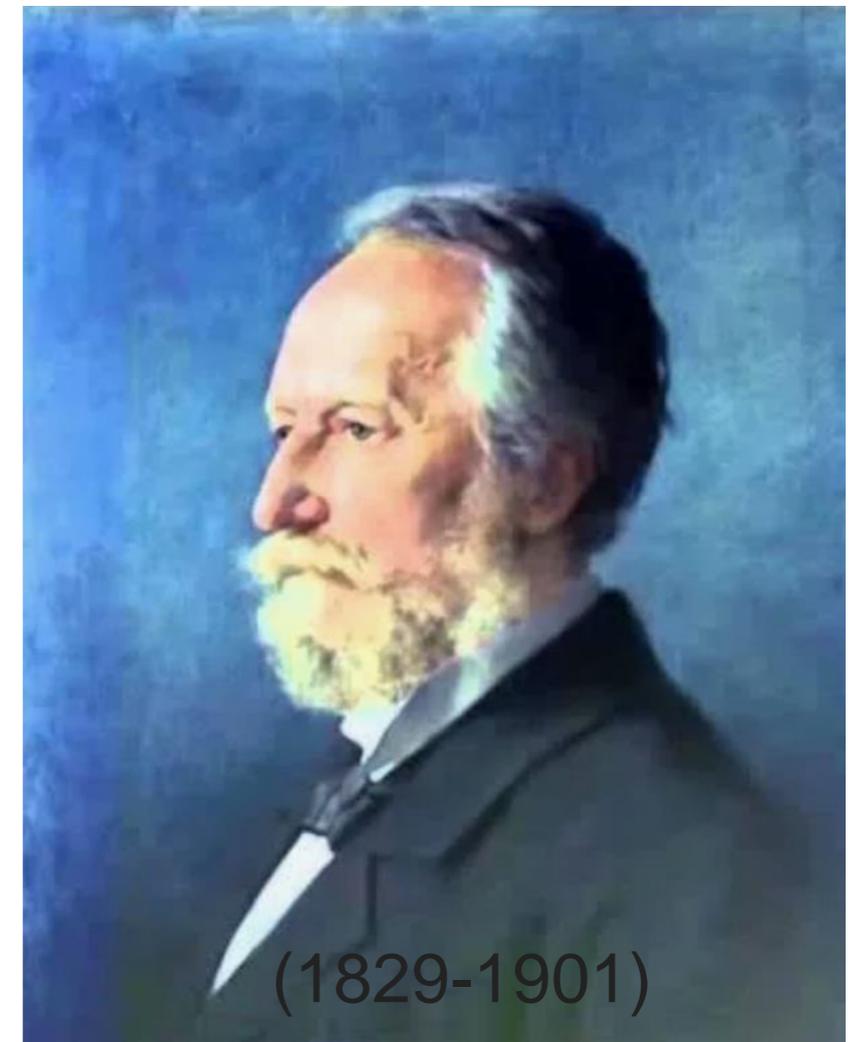
Измерение температуры регистрируется дистальным термистором  
График T по отношению ко времени дает кривую  
Вычисление СВ с помощью уравнения Stewart-Hamilton

## Условия применения:

1. Полное смешивание индикатора с кровью
2. Нет потерь между местом введения и детекции
3. Постоянный поток

# Принцип Фика

Поток индикаторного вещества, поглощаемого или выделяемого органом, соответствует разности притока и оттока индикатора.



Применительно к легким это означает:

Кровоток через легкие можно определить по разнице содержания кислорода в артерио-венозной системе (измеренной до и после легких) и потреблению кислорода за интервал времени.

$$Q = \text{VO}_2 / a_v\text{DO}_2 = \text{СВ} \text{ [л/мин]}$$

# Расчет сердечного выброса (Фик) с использованием данных таблиц VO<sub>2</sub>.

**Table 1.4** Normal values for VO<sub>2</sub>

	mL/min	mL/kg/min	mL/min/m <sup>2</sup>
Newborn (3.5 kg, 0.22 m <sup>2</sup> )	35	10	160
Child (14.5 kg, 0.6 m <sup>2</sup> )	100	7	165
Adult (75 kg, 1.8 m <sup>2</sup> )	250	3	140

In the literature, the units mL/kg/min (mL/min per kilogram) and mL/min/m<sup>2</sup> (mL/min per square meter) are commonly used. However, mathematically, the units mL/min•kg and mL/min•m<sup>2</sup> are more correct

Hb -140

A-VSO<sub>2</sub> = 30

VO<sub>2</sub> = 140\*0,3\*1,34 = 56 мл/л

СИ = 140/56=2,5 л/мин/м<sup>2</sup>

# Потребление кислорода

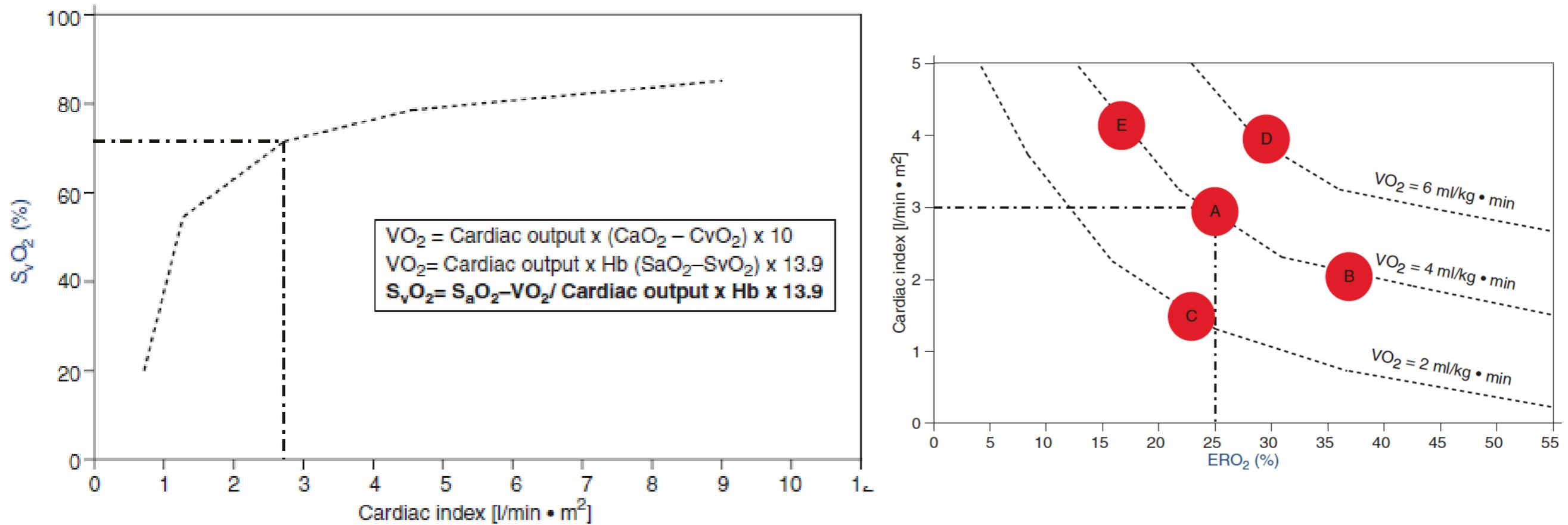


Fig. 1.7 Dependency of SvO<sub>2</sub> on CO

Table 1.4 Normal values for VO<sub>2</sub>

	mL/min	mL/kg/min	mL/min/m <sup>2</sup>
Newborn (3.5 kg, 0.22 m <sup>2</sup> )	35	10	160
Child (14.5 kg, 0.6 m <sup>2</sup> )	100	7	165
Adult (75 kg, 1.8 m <sup>2</sup> )	250	3	140

In the literature, the units mL/kg/min (mL/min per kilogram) and mL/min/m<sup>2</sup> (mL/min per square meter) are commonly used. However, mathematically, the units mL/min·kg and mL/min·m<sup>2</sup> are more correct

# Механические характеристики системы кровообращения

Ernest Starling: сердце  
выбрасывает ТОЛЬКО ТОТ  
объем, который к нему  
возвращается.

Механические характеристики системы  
кровообращения - основные детерминанты СВ

Magder *Critical Care* (2016) 20:271  
DOI 10.1186/s13054-016-1438-7

Critical Care

REVIEW

Open Access

Volume and its relationship to cardiac  
output and venous return



S. Magder

$$R_p = \frac{\text{среднее давление ЛА} - \text{среднее давление в ЛП}}{Q_p}$$

[ед. Вуда /  $\times 80$  (дин  $\times$  с  $\times$  см<sup>-5</sup>)]  
норма  $< 3$  ед. Вуда ( $< 250$  дин  $\times$  с  $\times$  см<sup>-5</sup>)

$$R_s = \frac{\text{среднее давление } A_o - \text{среднее давление в ПП}}{Q_s}$$

[ед. Вуда /  $\times 80$  (дин  $\times$  с  $\times$  см<sup>-5</sup>)]  
норма 10-15 ед. Вуда (800 - 1200 дин  $\times$  с  $\times$  см<sup>-5</sup>)

# **Условия нормального функционирования сердечно-легочной гемодинамики**

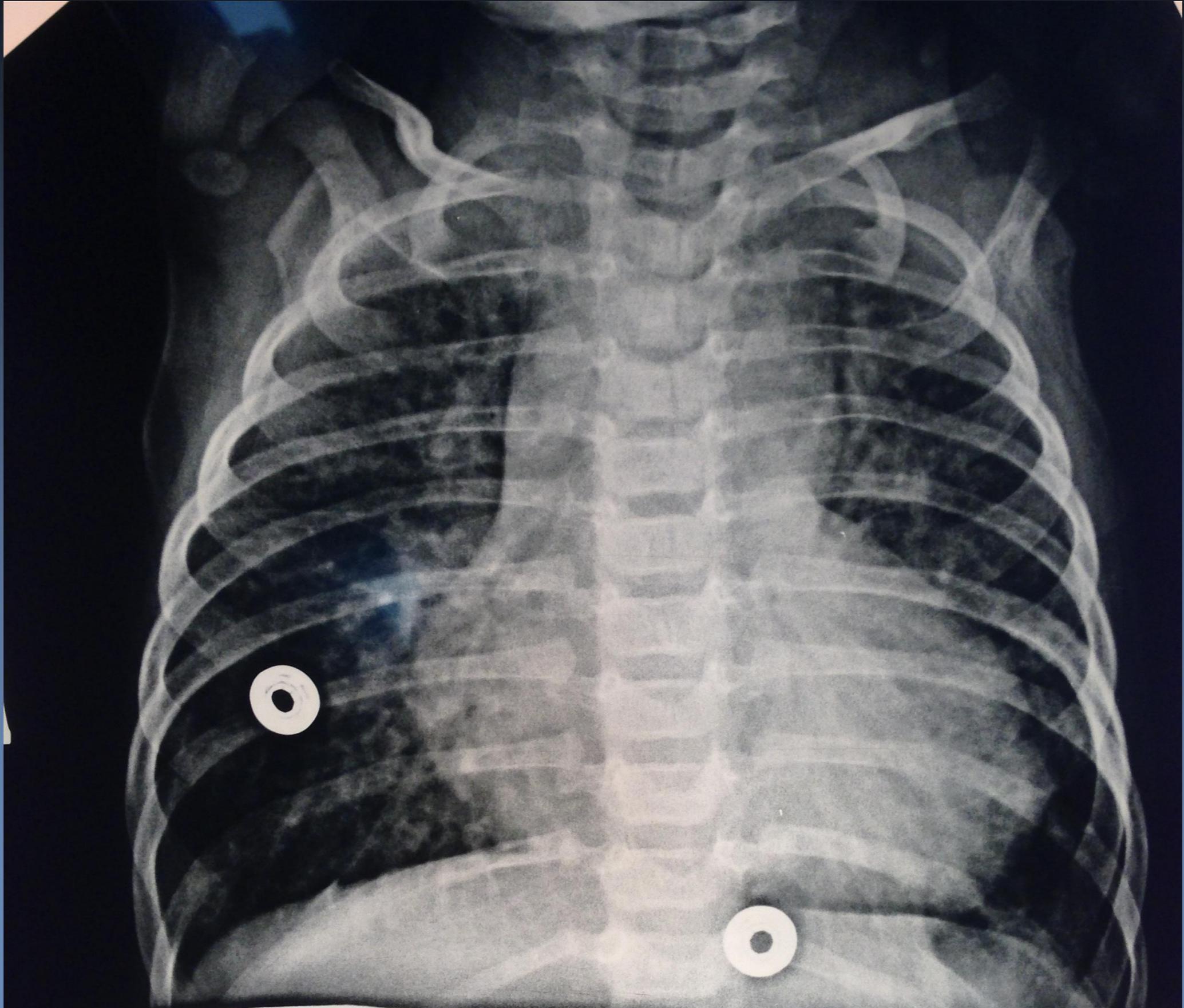
**PVRI менее  $6 \text{ Wood}^* \text{ м}^2$  в сочетании с  
соотношением  $R_p/R_s < 0,3$**

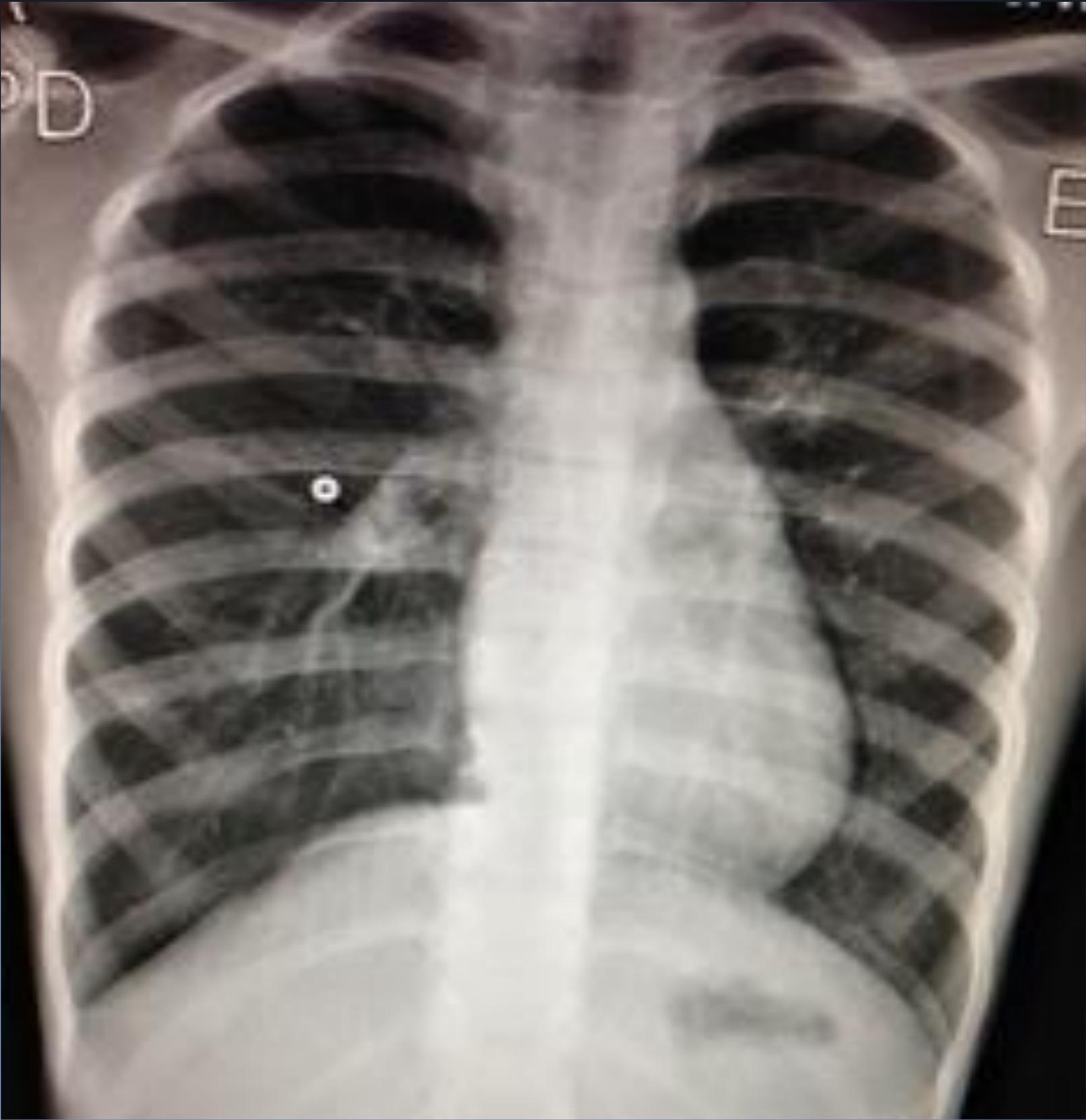
# Условия функционирования сердечно-легочной гемодинамики при наличии патологии

PVRI от 6 до 9 единиц Вуда\*м<sup>2</sup> при соотношении R<sub>p</sub>:R<sub>s</sub> примерно от 0,3 до 0,5 при наличии реакции легочных сосудов на вазодилататоры (O<sub>2</sub>, NO):

- Снижение PVRI на 20%
- Снижение примерно на 20% соотношения R<sub>p</sub>:R<sub>s</sub>
- Окончательный PVRI < 6 единиц Вуда\*м<sup>2</sup>
- Окончательное соотношение PVR:SVR < 0,3.

# Кардиопульмональные взаимодействия







# **Объемно-геометрические характеристики камер сердца**

Внутриутробное развитие  
кардиальных структур

морфогенетические  
события

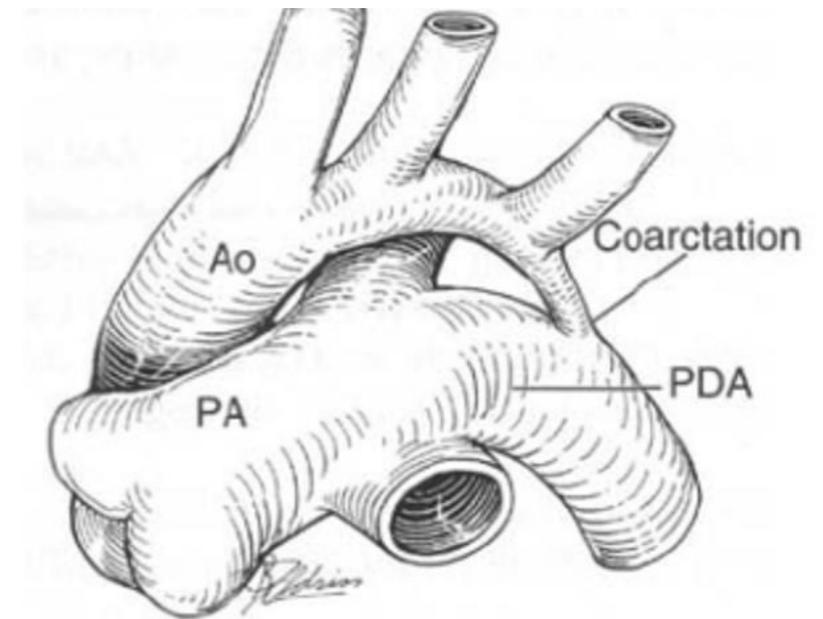
+

гемодинамические  
события

# Intrauterine hemodynamics influences on

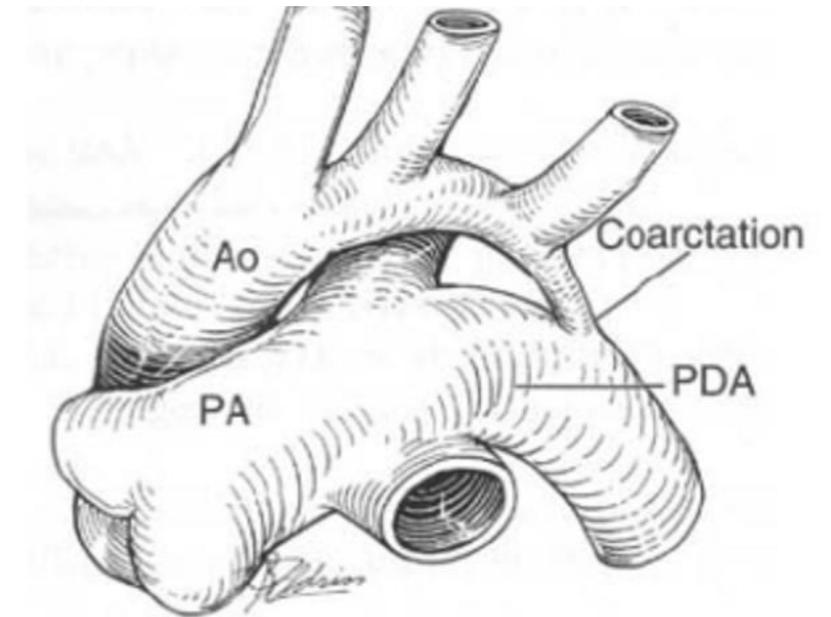
## aortic arch in fetuses

$$dC=0,59*LVEDV+2,8 \text{ (95\% CI 0,2-0,98)}$$



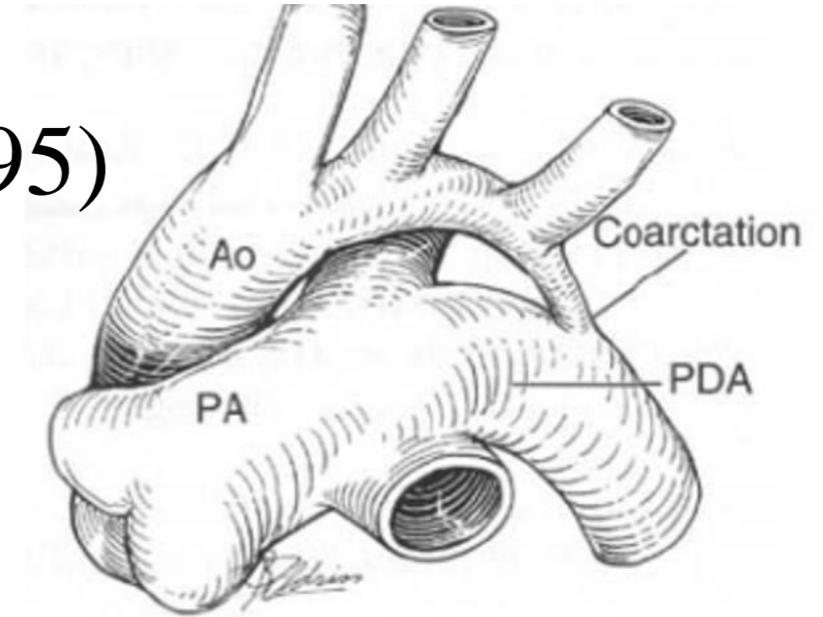
# Intrauterine hemodynamics influences on aortic arch in fetuses

$$dC=0,76*SVLV+2,8 \text{ (95\% CI 0,2-1,3)}$$



# Intrauterine hemodynamics influences on aortic arch in fetus

$$dC=0,59*AV+1,3 \text{ (95\% CI 0,22-0,95)}$$



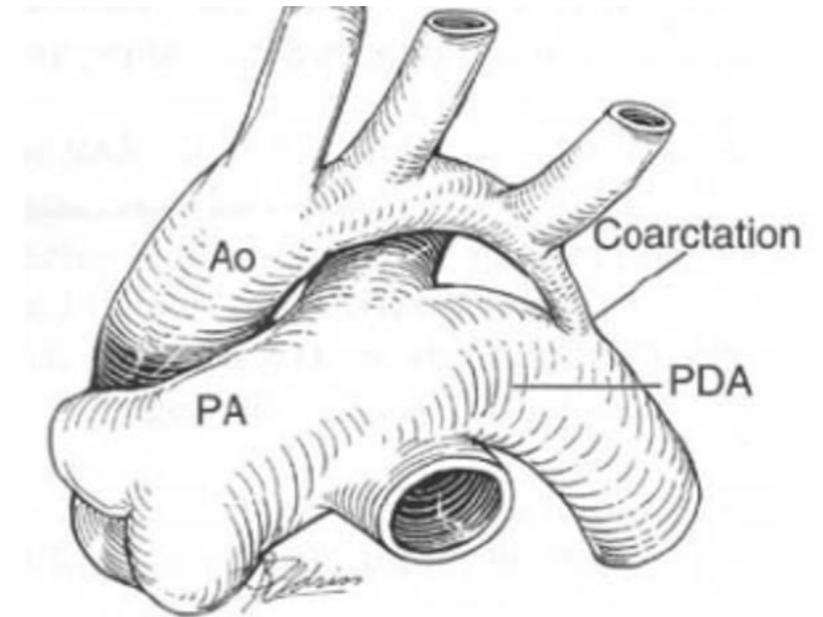
# Intrauterine hemodynamics influences on

## aortic arch in fetus

$$dC = 0,59 * LVEDV + 2,8 \quad (95\% \text{ CI } 0,2-0,98)$$

$$dC = 0,59 * AV + 1,3 \quad (95\% \text{ CI } 0,22-0,95)$$

$$dC = 0,76 * SVLV + 2,8 \quad (95\% \text{ CI } 0,2-1,3)$$



	M	Min	Max	95% CI
LVEDV	1.6	0.8	3.6	(1.3; 1.8)
AV	0.4	0.26	0.54	(0.38; 0.43)
LV SV	1.3	0.3	2.2	(1.1; 1.4)
Arch segment C	3.75	2.4	5.9	(3.47; 4.03)

После завершения  
эмбриогенеза, размеры  
кардиоваскулярных структур  
(камер сердца, клапанов,  
сосудов) определяются  
ПОТОКОМ крови.

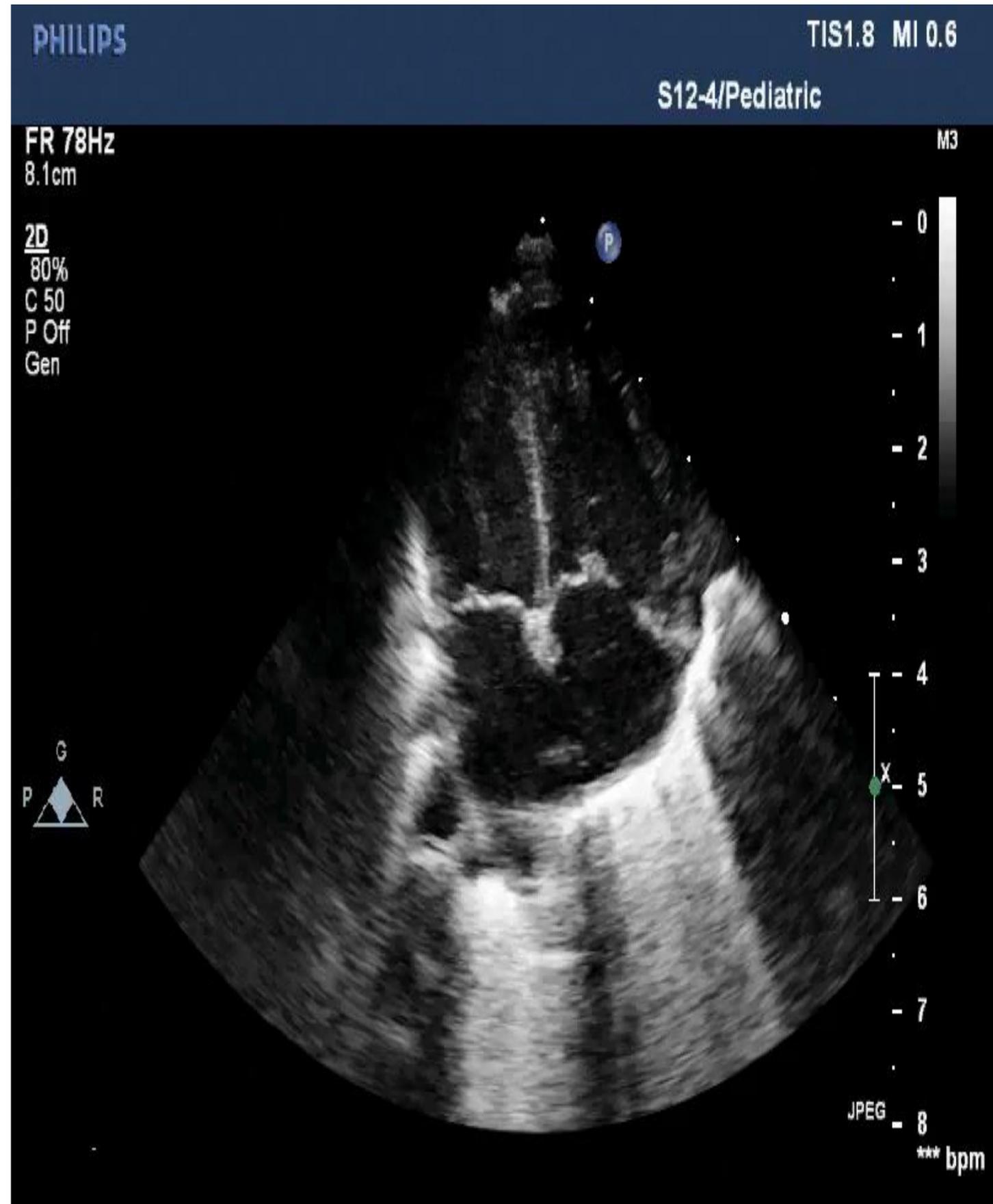
# Оценка гемодинамического статуса

## НОРМА КДИ ЛЖ (n=2200)

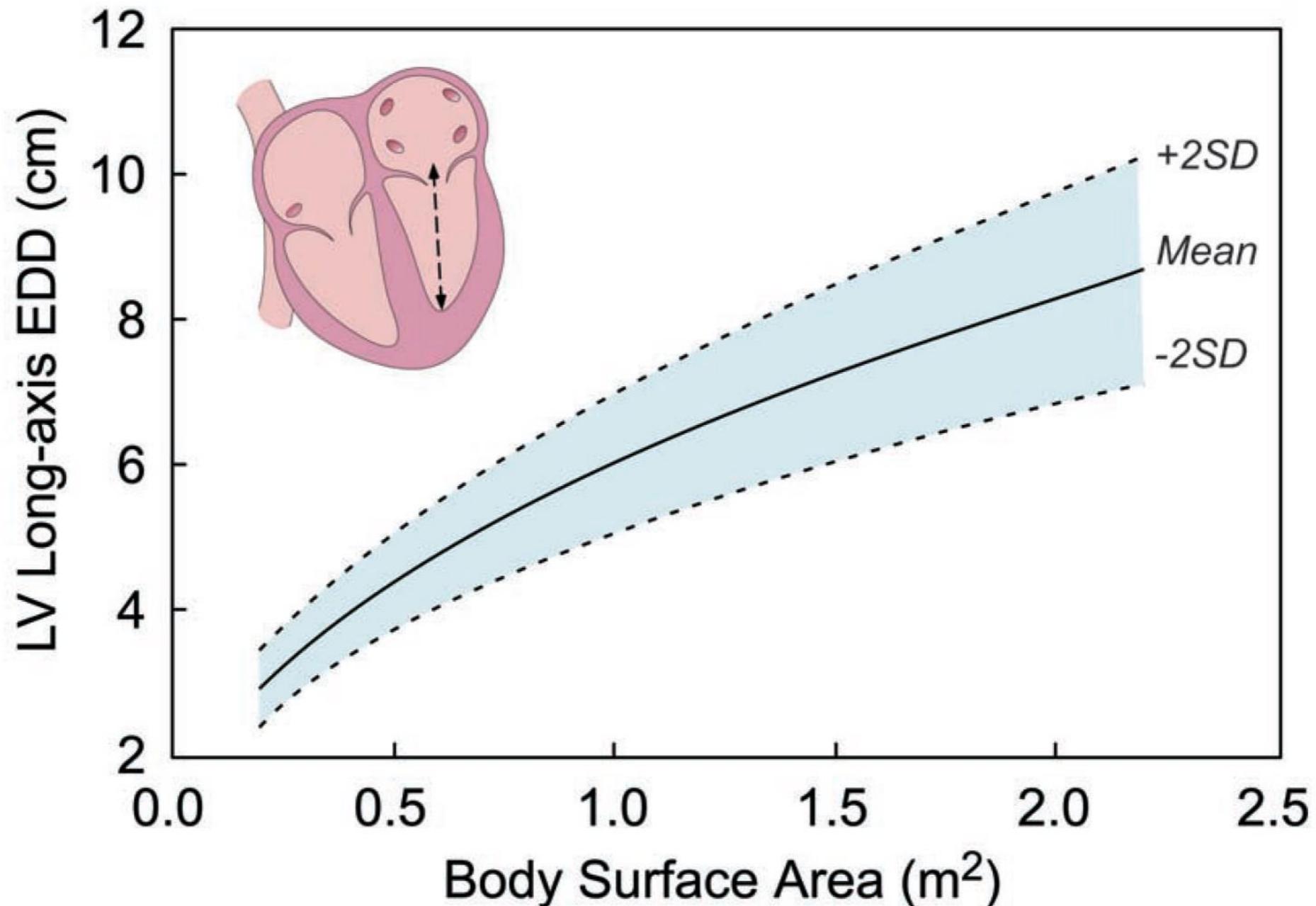
возраст	норма КДИ ЛЖ
1-2 days	$21.2 \pm 3.1 \text{ ml/m}^2$
30 days	$27.3 \pm 1.6 \text{ ml/m}^2$
1 to 2 years	$35.2 \pm 1.4 \text{ ml/m}^2$
over 15 years	$53.2 \pm 6.8 \text{ ml/m}^2$

A.A. Sokolov, E.V. Krivoshchekov Prognostic value of the size of the left ventricle in certain congenital diseases in children, myths and reality // materials of the regional scientific and practical conference "cyanotic nose diseases. Clinic, diagnostics, modern treatment methods "(13-14 december 2007), Tomsk, TOMSK, NRMC CARDIOLOGY RESEARCH INSTITUTE

# LV long axis

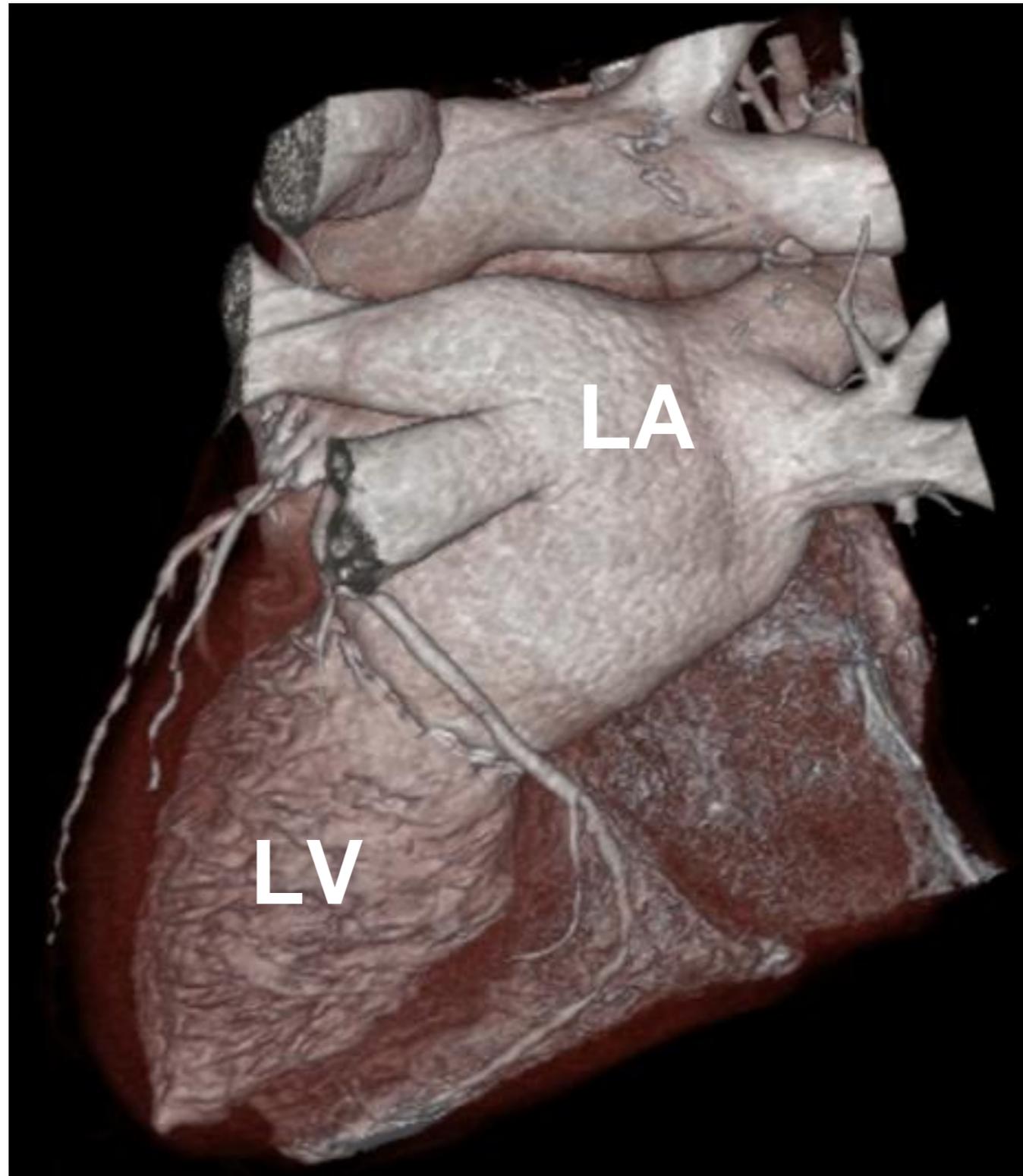


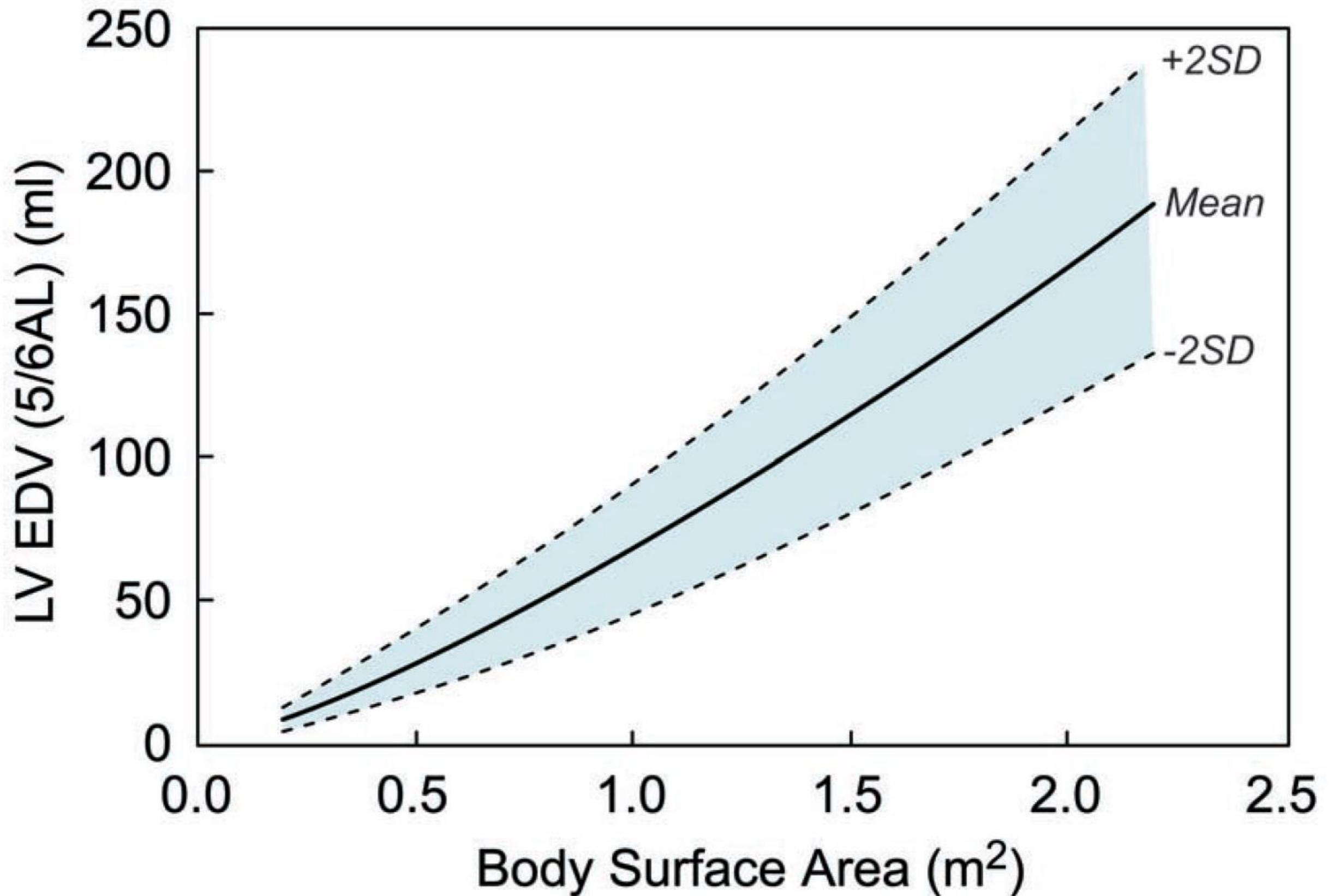
# LV long axis



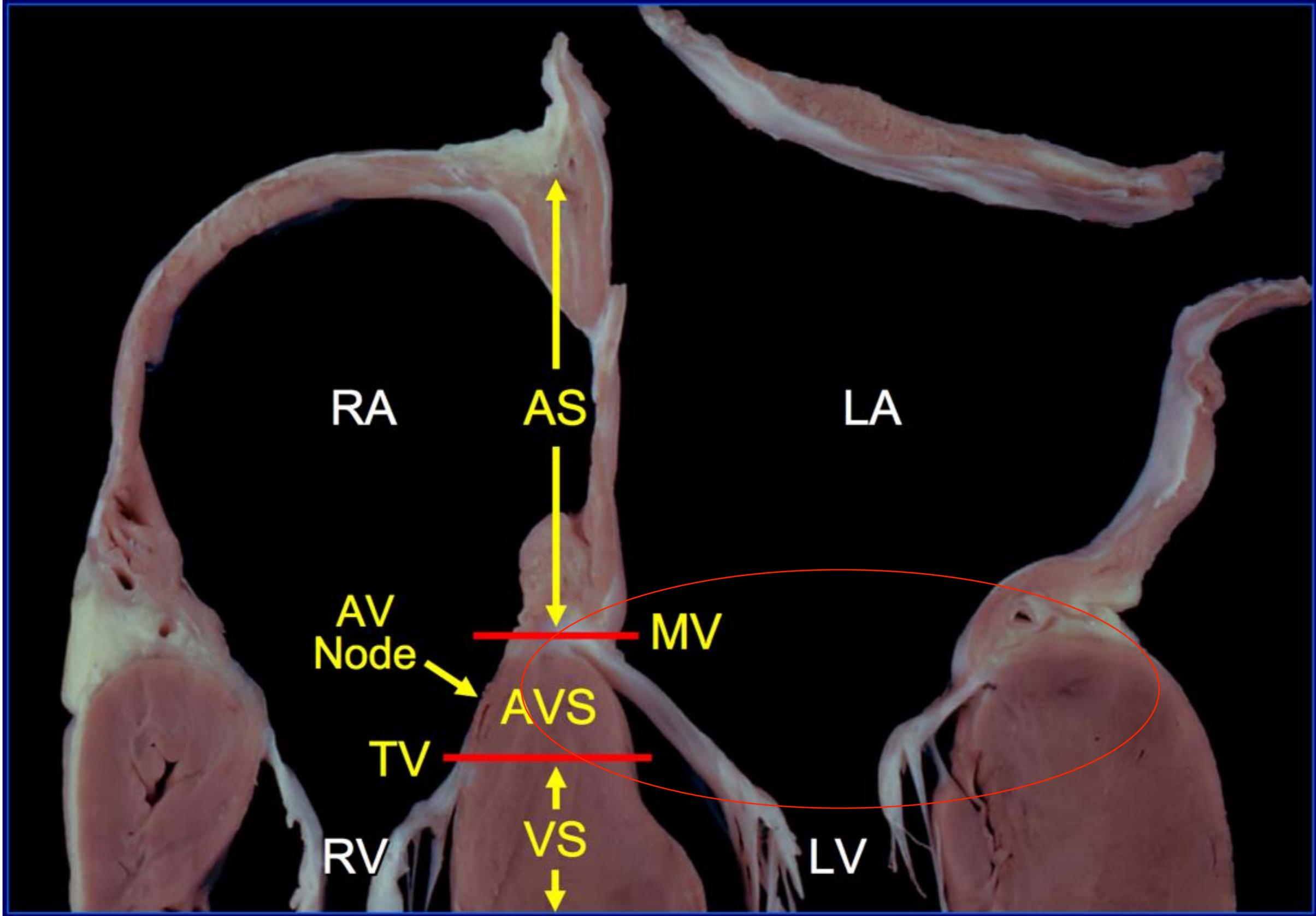
Lang RM, Bierig M, Devereux RB et al. Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:1440–63.

# LV long axis



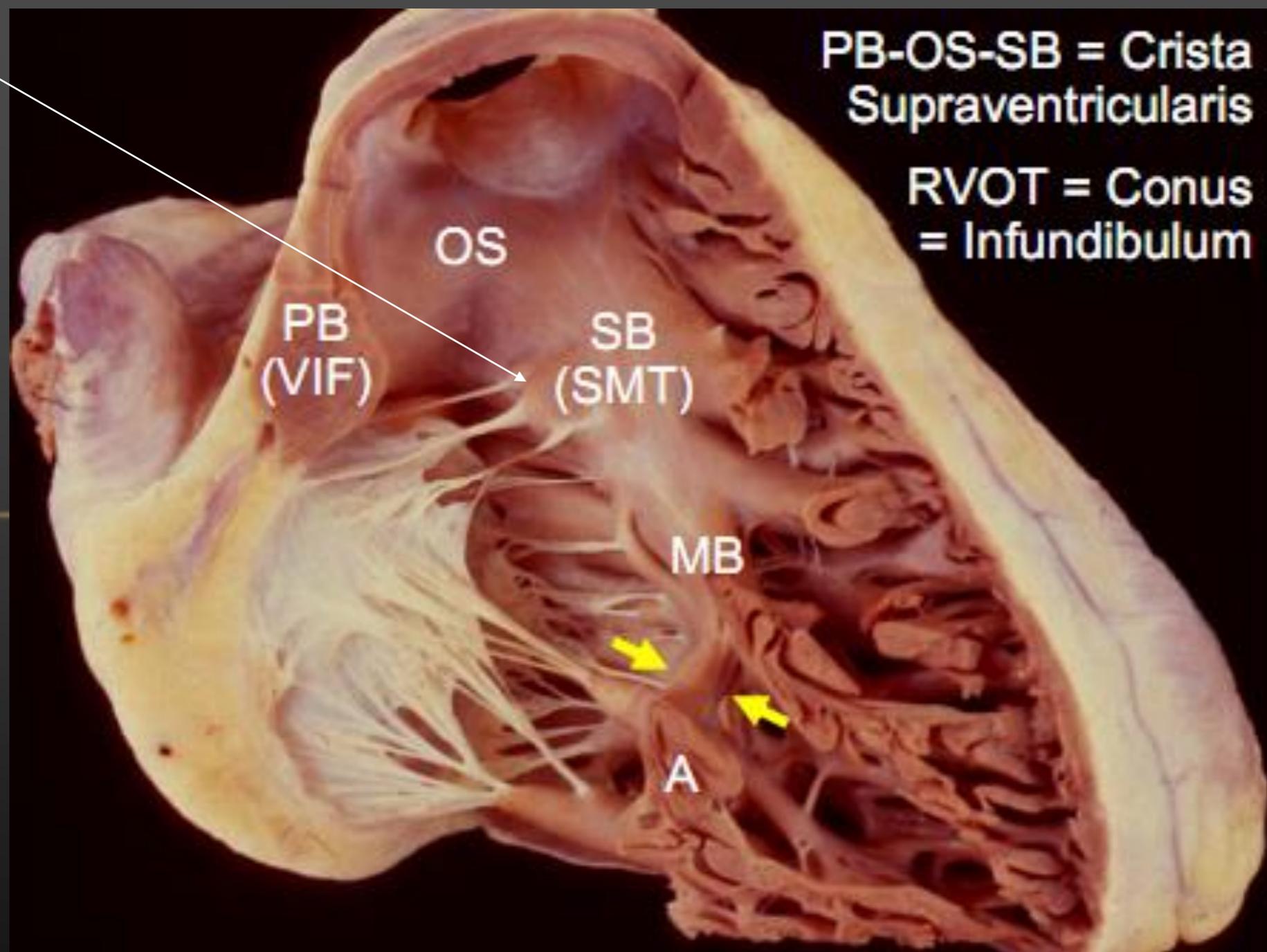


Lang RM, Bierig M, Devereux RB et al. Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:1440–63.

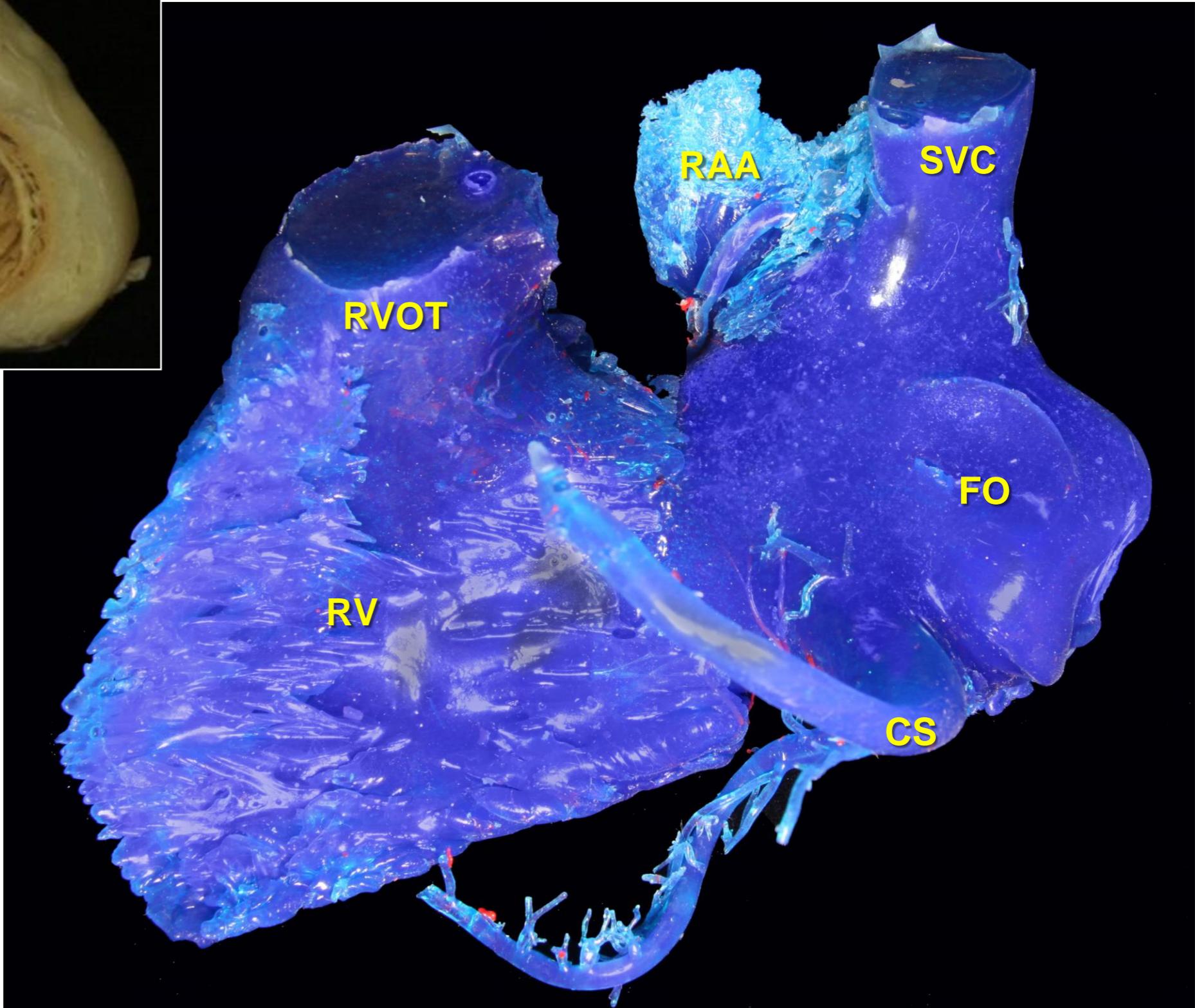
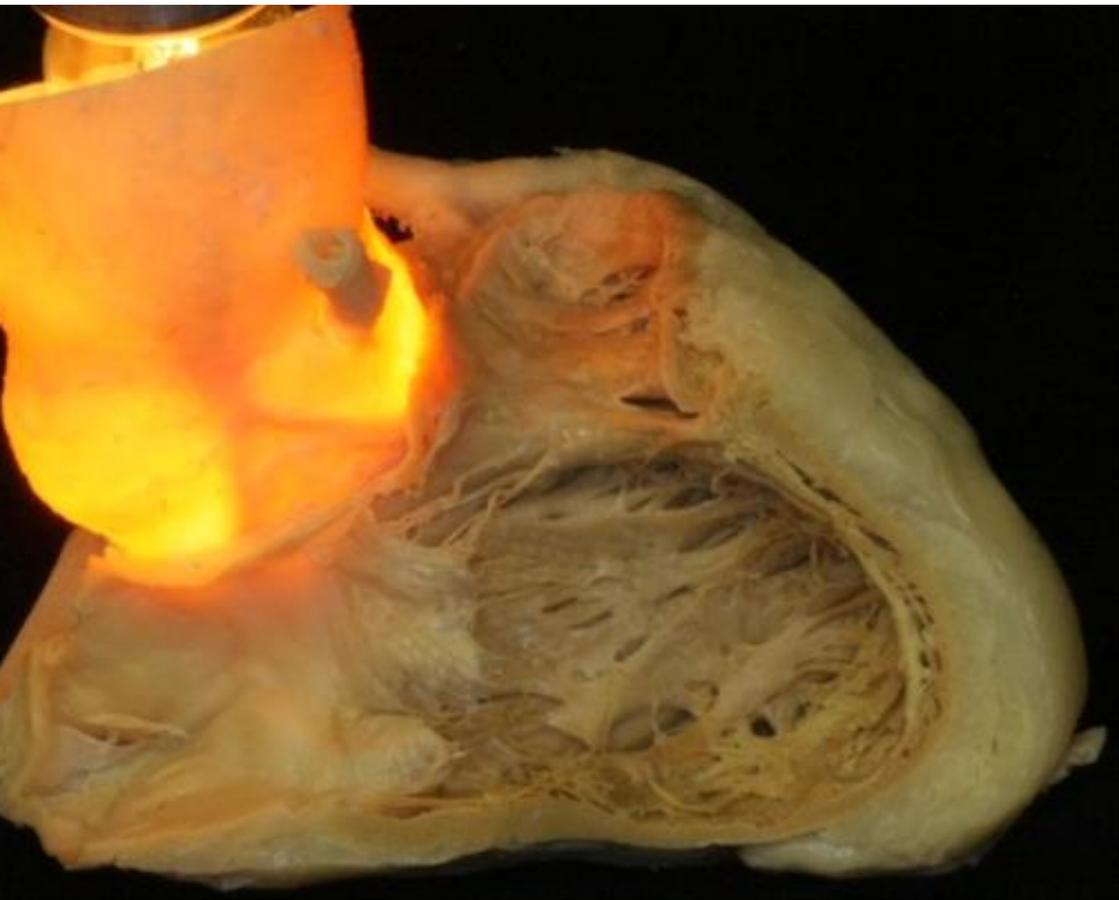




m. Lancisi



Препарат сердца (свободная стенка ПЖ удалена)



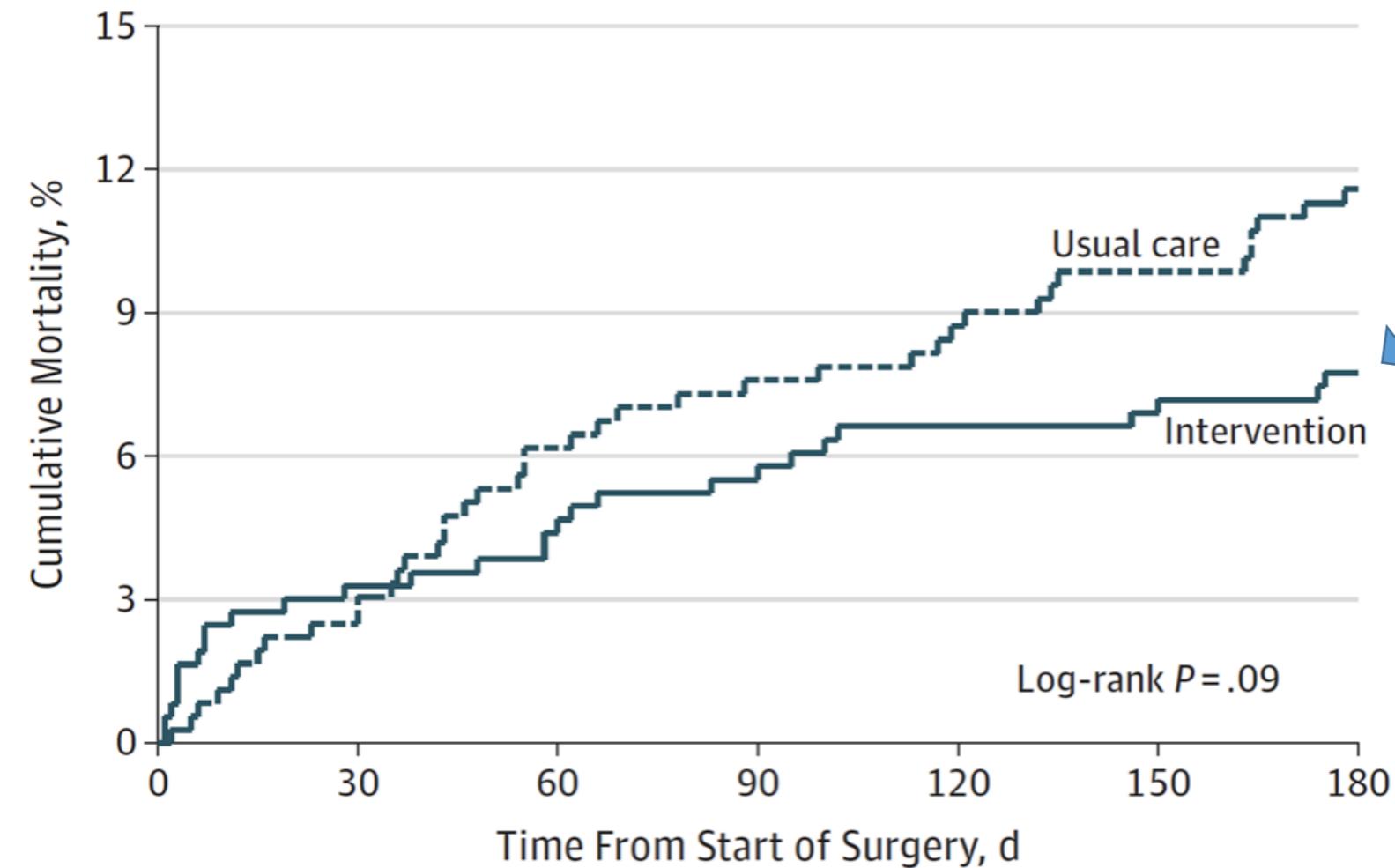
# Оценка гемодинамического статуса

$$DO_2 = \dot{Q} \times (Hb \times SaO_2 \times 1.34 + (PaO_2 \times 0.003))$$

<b>IDO2</b> ml/min/m2	<b>LV_EDVI</b>	<b>EF</b>	<b>HR</b>	<b>Hb</b>	<b>SatO2</b>	<b>CI</b>
<b>590</b>	53	70	90	130	1	3,3
<b>501</b>	45	70	90	130	1	2,8
<b>390</b>	35	70	90	130	1	2,2
<b>360</b>	35	70	90	120	1	2,2
<b>330</b>	35	70	90	110	1	2,2
<b>270</b>	35	70	90	90	1	2,2
<b>240</b>	35	70	90	80	1	2,2
<b>257</b>	35	50	90	120	1	1,6
<b>214</b>	35	50	90	100	1	1,6

## Shedding light on perioperative hemodynamic monitoring

Frederic Michard<sup>1</sup>  · Emmanuel Futier<sup>2</sup> · Bernd Saugel<sup>3</sup>



**лечение на основе  
оценки СИ**

- 16% снижение осложнений и 30 дн. летальности
- в 11.6 раз 180 дн. летальности

Pearse RM et al JAMA. 2014

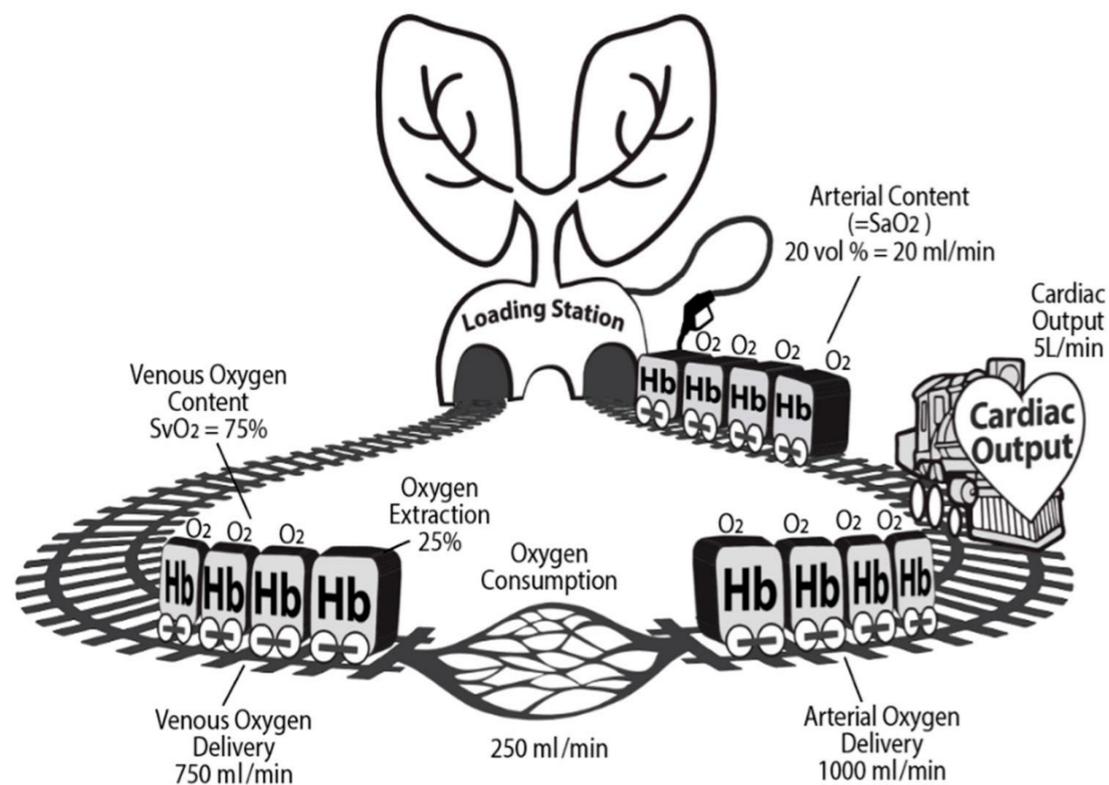
# Гемодинамический мониторинг



- Invasive- pulmonary thermodilution
- Semiinvasive- transpulmonary thermodilution, or chemodilution
  - pulse contour analysis
- Noninvasive- echography
  - bioimpedance, plethysmography
  - capnography
- Direct measurement of exhaled gas
- Estimate with equations and nomograms

**DELIVERY  $O_2$  ( $DO_2$ )**      **CONSUMPTION  $O_2$  ( $VO_2$ )**

- Lactate
  - $SvO_2$
  - $pCO_2$  gap
  - $p(v-a)CO_2/C(a-v)O_2$
  - NIRS
- } Blood gas analysis



Russell et al, J. Clin. Med. 2020

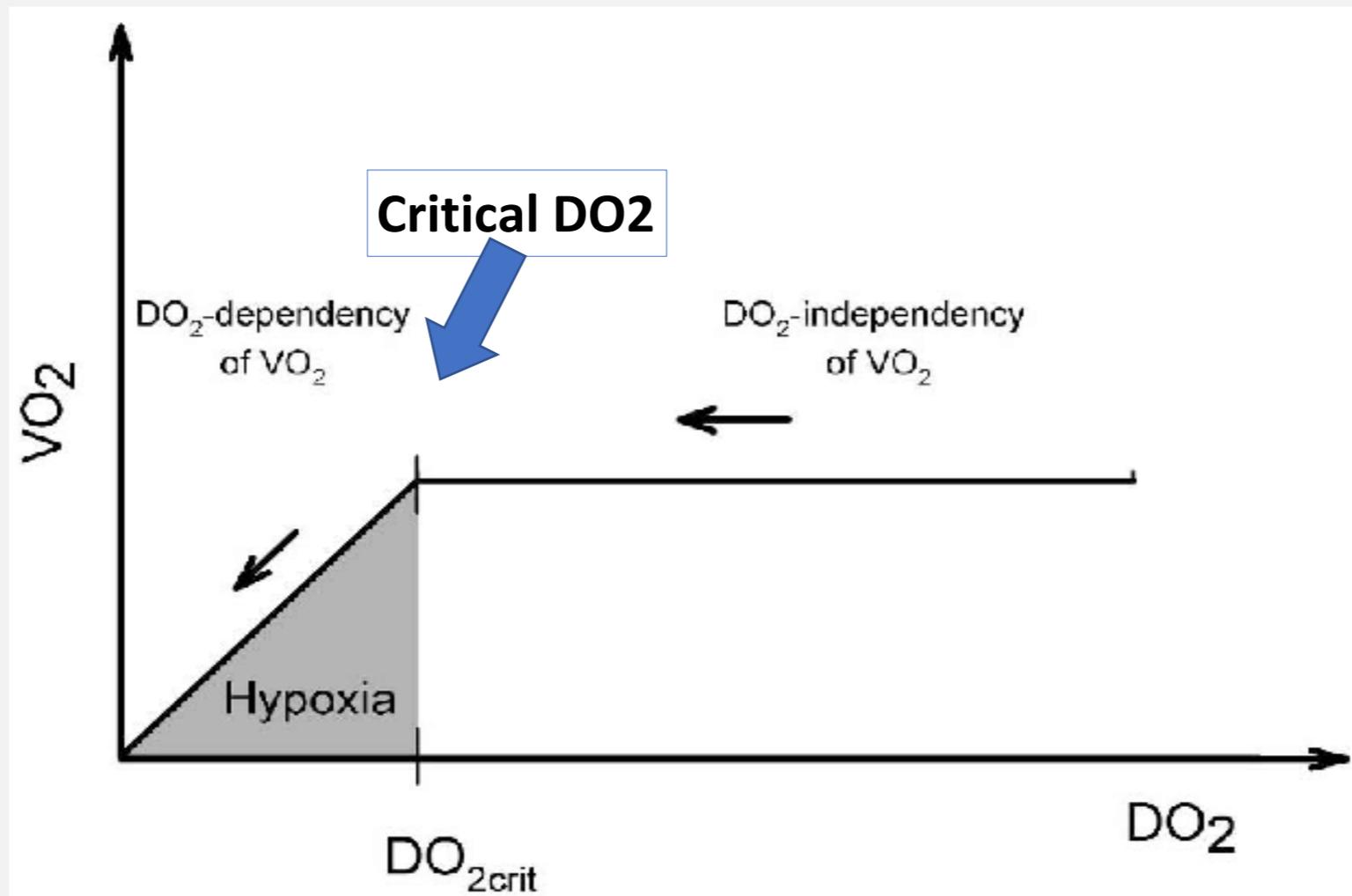
Janotka and Ostadal, Molecular and Cellular Biochemistry 2021

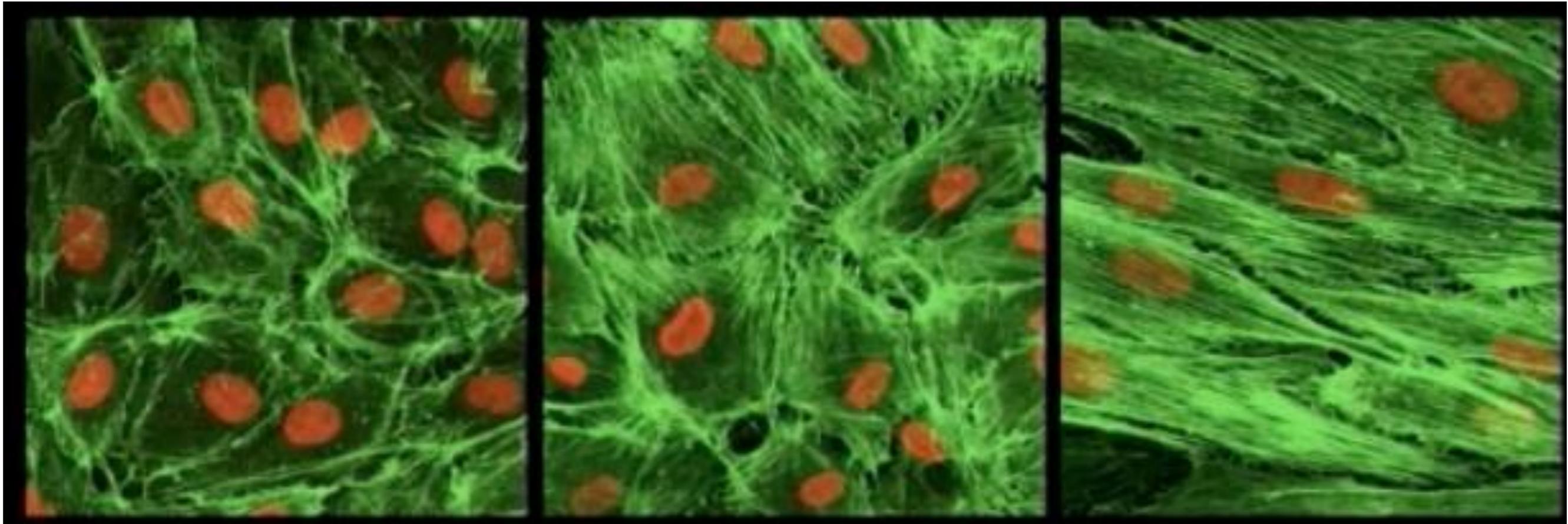
# Микроциркуляция, эндотелий и дисфункция органов

Oxygen delivery Hemoglobin Amount of dissolved O<sub>2</sub> in the blood

$$DO_2 = \dot{Q} \times (Hb \times SaO_2 \times 1.34 + (PaO_2 \times 0.003))$$

Cardiac output Arterial O<sub>2</sub> saturation





**Эндотелий 1200 г  
площадь 5 км<sup>2</sup>**

the Endothelium

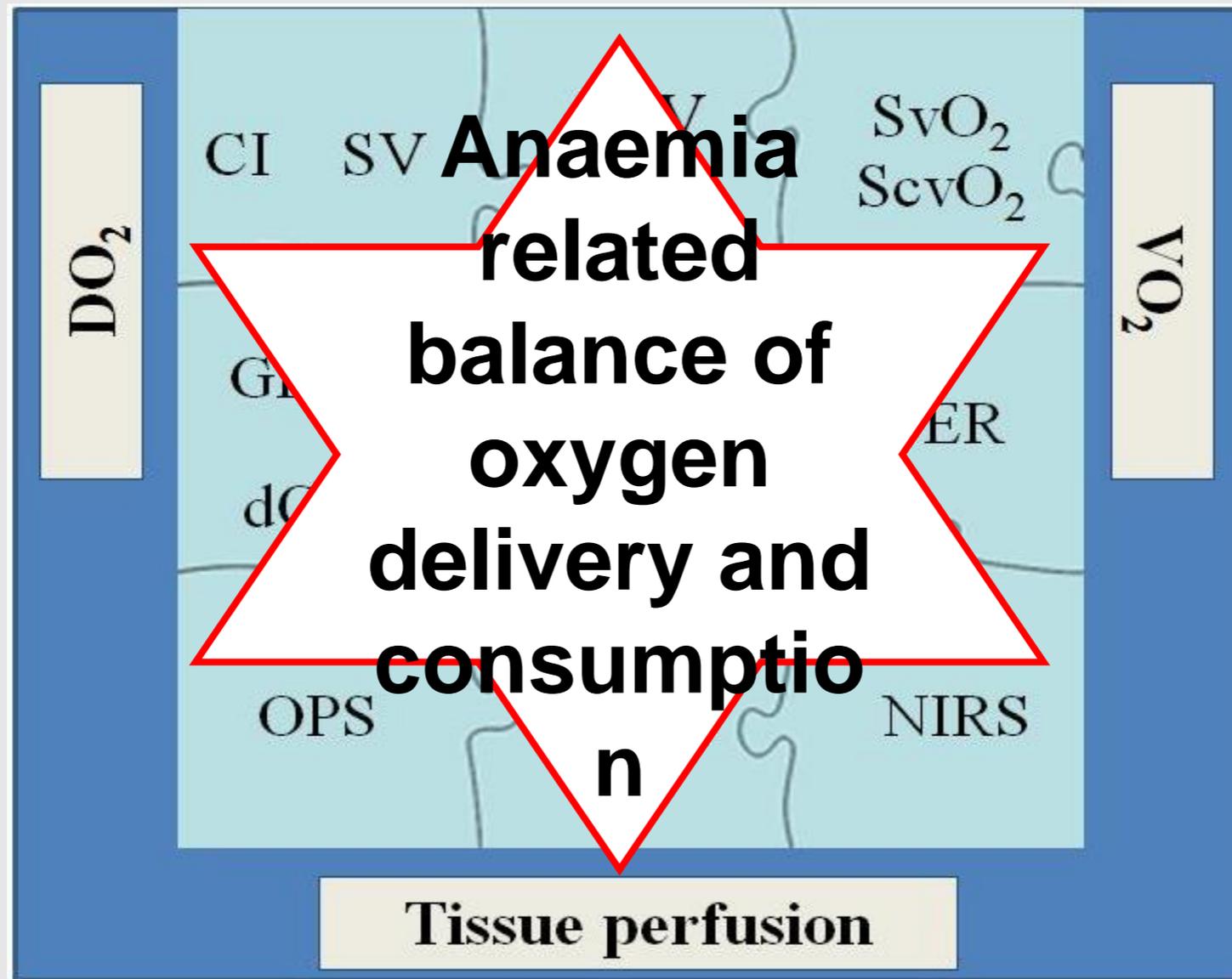
Vascular Hemodynamics and Malformations



ISTH 2021  
21 July, 2021

Christopher C.W. Hughes, Ph.D.  
Depts. Molecular Biology and Biochemistry  
Biomedical Engineering





Tánczos K, Németh M, Molnár Z  
*Ann. Up. in Int. Care and Em. Med.* 2014, pp. 355-65

# “СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ” ОБ УРОВНЕ ГЕМОГЛОБИНА.....



## Investigation

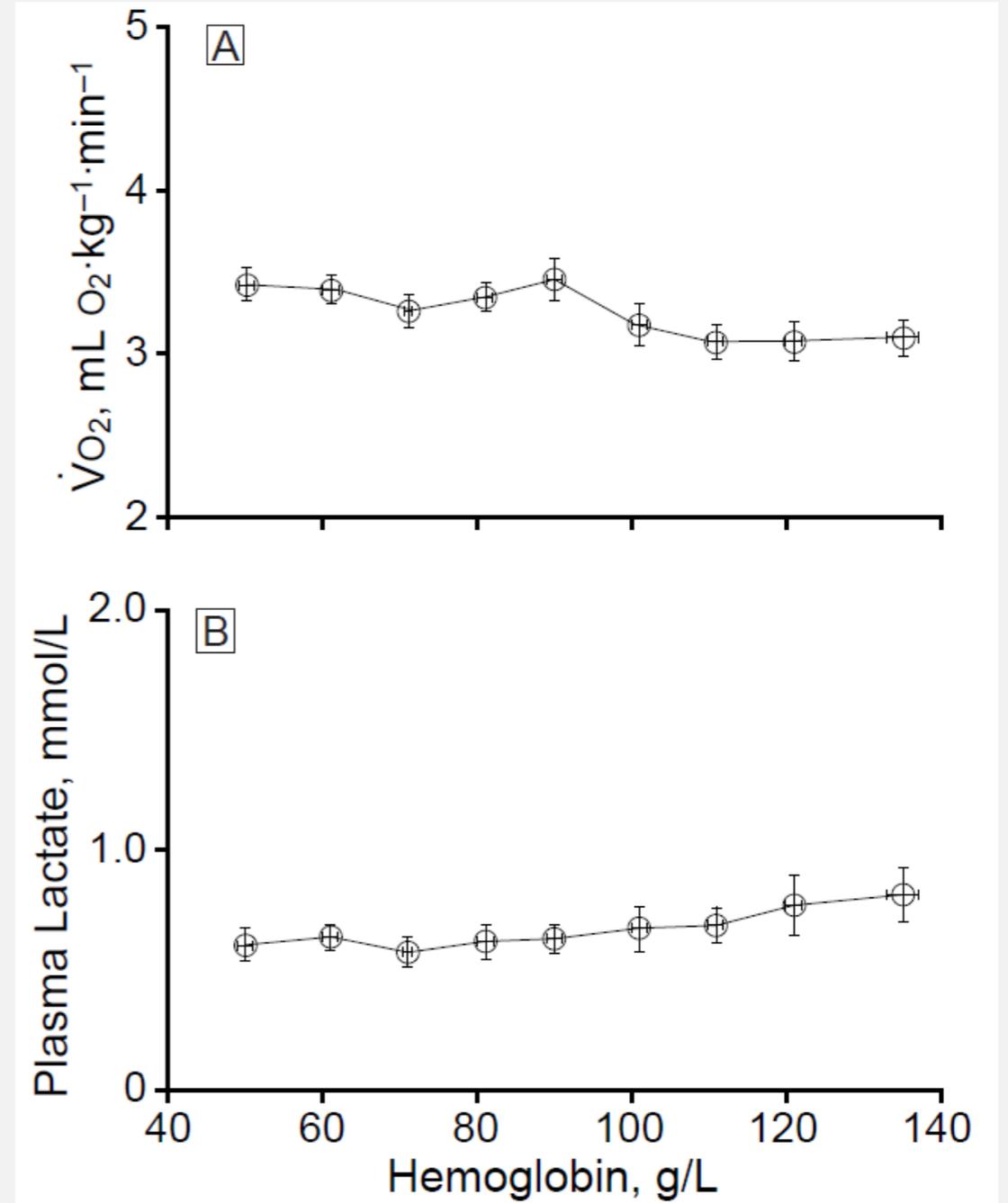
### Cardiovascular and Hemodynamic Response to Acute, Isovolemic Anemia

MD; Maureen K. Viele, MD; John Feiner, MD; Scott Kelley, MD; ...  
 ; Mariam Noorani; Jacqueline M. Leung, MD; Dennis M. Fisher, MD;  
 ; Pearl Toy, MD; Mark A. Moore, MD

### Response to Acute Isovolemic Anemia\*

#### Hemoglobin Range

Variable	125-134 g/L (n=23)	45-54 g/L (n=28)
SVR, dyne·s·cm <sup>-5</sup> ·m <sup>2</sup>	2372 (541)	1001 (176)
HR, beats per minute	58 (11)	92 (12)
SVI, mL/m <sup>2</sup>	52 (9)	62 (8)
CI, L/m <sup>2</sup>	3.05 (0.69)	5.71 (0.87)
TO <sub>2</sub> , mL O <sub>2</sub> ·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>	13.5 (2.7)	10.7 (2.0)
S <sub>v</sub> O <sub>2</sub> , %	77.1 (3.3)	69.6 (5.6)
VO <sub>2</sub> , mL O <sub>2</sub> ·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>	3.01 (0.42)	3.42 (0.54)
Plasma lactate, mmol/L	0.77 (0.40)	0.62 (0.19)
Arterial blood pH	7.395 (0.016)	7.445 (0.025)
Base-excess, mEq/L	1.3 (1.5)	4.2 (2.2)
VO <sub>2</sub> /TO <sub>2</sub>	0.23 (0.03)	0.32 (0.04)



JAMA, 1998



Pre-operative haemoglobin levels and iron status in a large multicentre cohort of patients undergoing major elective surgery\*

# Анемия у хирургических больных: Hb < 130 г/л (мужчины и женщины)



## Заключение:

сердечно-легочная гемодинамика  
должна быть оценена с применением  
инвазивных и неинвазивных  
параметров, отражающих преднагрузку,  
механические характеристики системы  
кровообращения, объемно-  
геометрические характеристики камер  
сердца, системный поток крови и  
баланс доставки/потребления  
кислорода.





ИЮНЬСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
В КАРДИОКЛИНИКЕ

**СПАСИБО  
ЗА  
ВНИМАНИЕ!**



Приглашаем присоединиться  
к участникам конференций  
в Telegram-канале.