

А. П. ПУГОВКИН, В. О. ЕРКУДОВ

## **ПОЧКИ И РЕГУЛЯЦИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ**

*Лекция для студентов и ординаторов*

Санкт-Петербург  
СпецЛит  
2019

УДК 611.611:612.14

П88

*Авторы:*

*Пуговкин Андрей Петрович* — д-р биол. наук, профессор кафедры нормальной физиологии Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета;

*Еркудов Валерий Олегович* — канд. мед. наук, старший преподаватель кафедры нормальной физиологии Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета

*Рецензенты:*

*Васильев Андрей Глебович* — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой патологической физиологии с курсом иммунопатологии ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России;

*Марьянович Александр Тимурович* — д-р биол. наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии СЗГМУ им. И. И. Мечникова

**Пуговкин А. П., Еркудов В. О.**

П88 Почки и регуляция артериального давления : лекция. — Санкт-Петербург : СпецЛит, 2019. — 31 с.

ISBN 978-5-299-01029-9

**Pugovkin A. P., Erkudov V. O.**

Kidneys and regulation of arterial pressure : a lecture. — St. Petersburg : SpetsLit, 2019. — 31 p.

В материалах данного пособия, описанных в формате лекции, рассмотрено значение почечных механизмов контроля артериального давления при наиболее распространенных в клинической практике условиях: кровопотере и инфузии дополнительного объема жидкости в сосудистое русло. Дается патофизиологическое обоснование значения ренин-ангиотензиновой системы и вазопрессина в компенсации кровопотери и ее инфузионной терапии. На основании собственных экспериментальных данных объясняются методы контроля показателей системной гемодинамики, мониторинг которых крайне необходим при кровопотере и ее компенсации.

Материал предназначен для врачей всех специальностей, в особенности для специализирующихся в области терапии urgentных состояний, но может быть полезен студентам старших курсов медицинских учебных заведений.

The lecture is dedicated to the share of renal mechanisms in arterial pressure control under clinically significant conditions of haemorrhage or infusion of additional volume of fluid into the vascular bed. Special attention is paid to the participation of rennin-angiotensin system and vasopressin in the compensation and therapy of blood loss. Original experimental data is applied for settling down the approaches for monitoring of the systemic circulation. The review is addressed to the doctors and senior medical students especially interested in resuscitation and urgent therapy.

**УДК 611.611:612.14**

**ISBN 978-5-299-01029-9**

© А. П. Пуговкин, В. О. Еркудов, 2019

© ООО «Издательство „СпецЛит“», 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Условные сокращения .....	4
1. Основные показатели системной гемодинамики.....	5
2. Взаимосвязь АД и других показателей системной гемодинамики. Методы контроля АД в условиях гемодинамики .....	7
3. Почечные механизмы компенсации АД при кровопотере .....	10
4. Роль ренин-ангиотензиновой системы в регуляции системной гемодинамики .....	13
5. Роль вазопрессина (АДГ) в регуляции АД при кровопотере ...	21
6. Почечные механизмы компенсации гемодинамики при инфу- зии дополнительного объема крови.....	23
Заключение .....	25
Литература .....	26

## **УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ**

- АД — артериальное давление
- АЦП — аналого-цифровой преобразователь
- МОК — минутный объем кровообращения
- ОПС — общее периферическое сопротивление
- ОЦК — объем циркулирующей крови
- СВ — сердечный выброс
- ЧСС — частота сердечных сокращений

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ

Обязательными условиями физиологической адекватности кровообращения (при нормальных значениях показателей дыхания и кислородной емкости крови) является, во-первых, достаточная величина сердечного выброса (СВ) — количества крови, поступающей из сердца в сосудистую систему. Величина СВ обеспечивается механизмами регуляции насосной функции сердца. Вторым условием является поддержание такого градиента давления от сердца к капиллярному руслу, который обеспечивал бы линейную скорость эритроцитов в капиллярах 0,5–0,8 мм/с, что является оптимальным для диффузии газов. В большинстве сосудистых областей давление на входе в капилляры составляет 40–60 мм рт. ст. В почках человека величина капиллярного давления составляет около 70 мм рт. ст., что необходимо для поддержания эффективного фильтрационного давления. Данная задача обеспечивается нейрогуморальными механизмами регуляции среднего системного артериального давления (АД). Третья задача — распределение циркулирующей крови в соответствии с текущими потребностями органов и тканей обеспечивается местными механизмами регуляции сосудистого тонуса.

Соблюдение этих условий требует регуляции кровообращения в рамках целостной функциональной системы. Ее состояние характеризуется набором физиологических параметров, которые одновременно являются важными функционально-диагностическими показателями.

К числу основных показателей системной гемодинамики относятся минутный объем кровообращения (МОК), частота сердечных сокращений (ЧСС), средний ударный объем, венозный возврат крови сердцу, центральное венозное давление, системное АД и общее периферическое сопротивление сосудов (ОПС) [1, 2].

Количество крови, выбрасываемой сердцем в аорту и легочную артерию, называется сердечным выбросом (СВ). СВ, приведенный к одной минуте, называется минутным объемом кровообращения (МОК). У человека массой 70 кг его величина в покое составляет 3–6 л/мин с возможностью увеличения при физических нагрузках в 5–6 раз.

Величина СВ рассчитывается как произведение среднего ударного или систолического объема на число сердечных сокращений в данный промежуток времени. Ударный объем (разность конечно-диастолического и конечно-систолического объемов) представляет собой равную для правого и левого желудочков величину — около 70 мл в покое с возможностью увеличения примерно на треть.

Нормальная величина ЧСС в покое составляет в среднем 40—95 уд/мин и может возрастать до 180—200 уд/мин. Дальнейший рост ЧСС ограничен рефрактерностью миокарда.

Поскольку сердце не обладает способностью депонировать кровь в сколько-нибудь значительных количествах, величина СВ является функцией венозного возврата крови к сердцу. Данная зависимость обеспечивается механизмом гетерометрической регуляции миокарда по закону Старлинга [1, 3—5].

В венозной части сосудистого русла постоянно находится более 75 % от общего количества крови в организме. Это явление называется емкостной функцией вен или венозным депонированием крови [6]. Изменения венозного возврата происходят при перераспределении объемов депонированной и циркулирующей крови (ОЦК). Последний тоже можно было бы считать одним из показателей системной гемодинамики, однако он в принципе подлежит не прямому измерению, а только косвенной оценке на основании изменений соотношения других показателей, как это происходит, например, при кровопотере [2, 7, 8], постуральных реакциях и мышечной работе [9—11]. Центральное венозное давление (давление в устье полых вен и правом предсердии) в состоянии покоя колеблется около нуля. Его увеличение при натуживании, на пике вдоха или в результате адренергической веноконстрикции приводит к увеличению, а уменьшение на выдохе и при венозном коллапсе — к уменьшению венозного возврата. Расположенные в стенках вен и предсердий барорецепторы низкого давления называют волюморекцепторами, поскольку их активность отражает изменения количества крови в венозном отделе сосудистого русла.

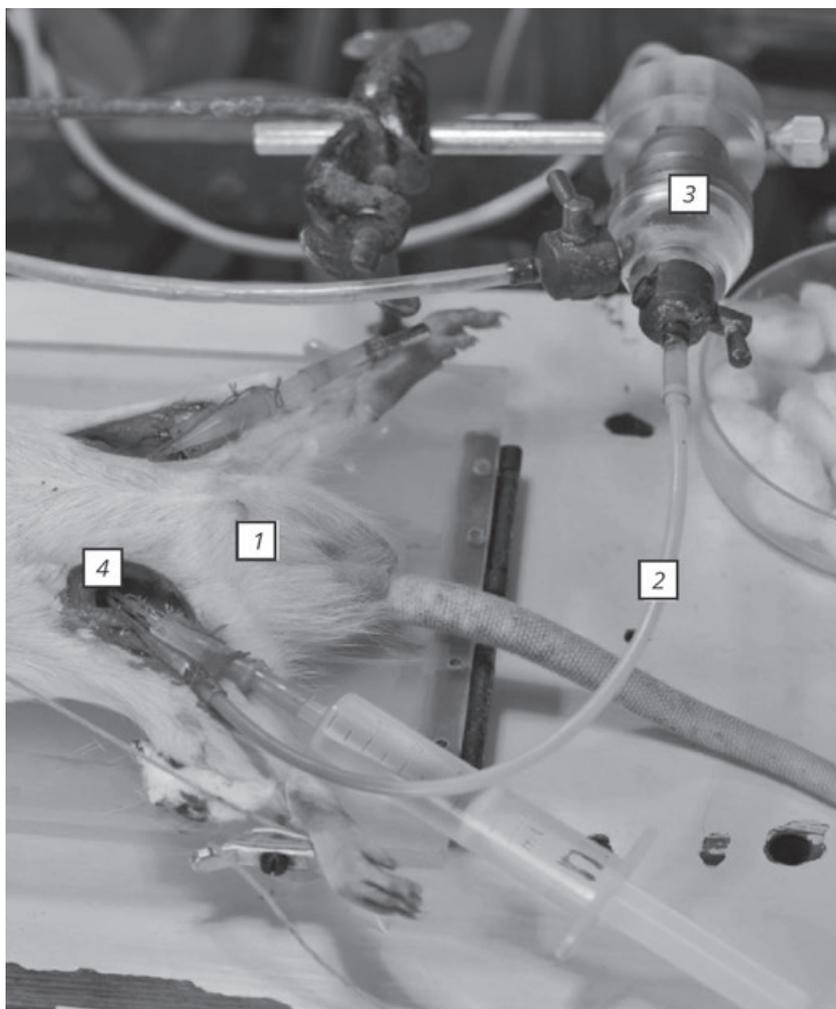
Системное АД зависит как от работы сердца (сердечный компонент), так и от сопротивления сосудов (сосудистый компонент). Поэтому его называют интегральным показателем системной гемодинамики. От величины системного АД зависит линейная скорость эритроцитов и время кругооборота крови. В норме циркуляция крови в большом круге занимает 20—25 с, из которых на капиллярное русло приходится менее секунды. Данный промежуток времени

сопоставим со скоростью обменной диффузии газов, поэтому ни увеличение, ни уменьшение этого времени физиологически невыгодно. По этой причине давление на входе в капилляры различных органов стабильно и составляет 40–60 (в почках – 70) мм рт. ст. Для этого необходимо, чтобы среднее давление в аорте составляло 110–130 мм рт. ст., причем его значительные колебания нецелесообразны. Поэтому контроль системного АД, по существу, представляет собой его стабилизацию на основе нейрогуморальных механизмов. ОПС вычисляется на основе известной формулы Пуазейля. При этом не учитываются пульсирующий, турбулентный характер кровотока и наличие взвешенных форменных элементов крови, а суммарная длина сосудистого русла, жесткость сосудистых стенок и вязкость крови принимаются за постоянные величины. В результате ОПС рассчитывается как частное от деления среднего АД на СВ. Полученное частное имеет ту же размерность, что гидравлическое сопротивление и легко регистрируется в режиме реального времени при условии непрерывного измерения давления и кровотока. Однако при трактовке изменений этого показателя необходимо учитывать, что он не имеет самостоятельного физиологического смысла и вторичен по отношению к СВ и АД. Распространенные в литературе стереотипные суждения о каких-либо физиологических реакциях «в ответ на изменение ОПС» не являются корректными.

## **2. ВЗАИМОСВЯЗЬ АД И ДРУГИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ АД В УСЛОВИЯХ РЕАНИМАЦИИ**

Общей проблемой оценки параметров системной гемодинамики является трудность сочетания минимальной инвазивности и необходимой точности применяемых методов. Применение инвазивных способов является общепринятым и оправданным для контроля гемодинамики у пациентов, длительно находящихся в тяжелом состоянии, особенно сопровождающемся шоком или при хирургических вмешательствах [12, 13].

Кроме того, указанный способ регистрации используется в условиях острых экспериментов на животных (рис. 1) [14]. Методика инвазивных исследований АД существенно не отличается в клинике и в острых опытах на животных и основывается на введении датчика или катетера, соединенного с манометром и заполненного изотоническим раствором, непосредственно в кровеносное русло.



**Рис. 1.** Инвазивная регистрация АД в условиях острого опыта на животном (крыса) (собственное наблюдение): 1 — общий вид животного; 2 — катетер, помещенный в бедренную артерию животного (4); 3 — датчик давления

**Fig. 1.** Invasive experimental (rat) measurement of the systemic arterial pressure: 1 — position of the animal; 2 — catheter inserted into the femoral artery (4); 3 — arterial pressure gauge

А. П. ПУГОВКИН, В. О. ЕРКУДОВ

## **ПОЧКИ И РЕГУЛЯЦИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ**

*Лекция для студентов и ординаторов*

Редактор *Пугачева Н. Г.*

Корректор *Полушкина В. В.*

Компьютерная верстка *Тархановой А. П.*

Подписано в печать 15.06.2019. Формат 60 × 88<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Печ. л. 2. Тираж 100 экз. Заказ №

ООО «Издательство „СпецЛит“».

190103, Санкт-Петербург, 10-я Красноармейская ул., 15,

Тел./факс: (812) 495-36-09, 495-36-12

[www.speclit.spb.ru](http://www.speclit.spb.ru)

Отпечатано в АО «Т 8 Издательские технологии».  
109316, Москва, Волгоградский пр., д. 42, корп. 5, к. 6