

---

# Fizjologia nerek

---

Dr n. med. Tomasz Powrózek



**Katedra i Zakład Fizjologii Człowieka,  
Uniwersytet Medyczny w Lublinie**

# Czynność nerek

---

1. Utrzymanie równowagi wodno-elektrolitowej ustroju
2. Usuwanie produktów przemiany materii i substancji obcych
3. Regulacja gospodarki kwasowo-zasadowej ustroju
4. Funkcja endokrynną
5. Regulacja ciśnienia tętniczego długo i krótko terminowa
6. Czynność metaboliczna

# Bilans płynów w ustroju

---

Ok. 60% składu ciała stanowi woda

Dobowy obrót wody wynosi ok. **2500 ml:**

+pobór wody z płynami (1500 ml)

+pobór wody z pożywieniem (700 ml)

+woda metaboliczna (300 ml)

Utrata wody:

-**przez układ moczowy (1500 ml)**

-z kałem(100 ml)

-parowanie (skóra, ukł.oddechowy) (900 ml)

# Nefron

---

**Nefron** jest podstawową jednostką anatomiczno-czynnościową nerki. Na budowę nefronu składa się:

-**kłębuszek nerkowy** = sieć naczyń włosowatych i torebka kłębuszka (torebka Bowmana)

-**kanaliki nerkowy** (cewka) = kanalik bliższy + pętla Henlego + kanalik dalszy + kanalik zbiorczy

W każdej nerce jest ok. 800 tys. -1 mln czynnych nefronów (liczba ta spada wraz z wiekiem)

# Nefron

---

Dzięki skomplikowanej budowie nefron może pełnić swoją główną funkcję jaką jest formowanie oraz wydalanie moczu - jest wypadkową trzech głównych procesów związanych z wytwarzaniem moczu:

**Wydalanie = Filtracja + Sekrecja - Reabsorpcja**

# Kłębuszek nerkowy i filtracja

---

W kłębuszku nerkowym ma miejsce pierwszy proces związany z formowaniem moczu – **filtracja (przesączanie kłębuszkowe)** osocza krwi przez ścianę naczyń włosowatych kłębuszka do światła torebki Bowmana

Filtracja jest możliwa dzięki strukturze kłębuszka, a także siłom hemodynamicznym w naczyniach kłębka

Przez nerki przepływa ok. 1200 ml krwi w ciągu minuty (ok. 20% objętości minutowej serca)

# Kłębuszek nerkowy i filtracja

---

Adaptację strukturalną kłębuszka do pełnienia funkcji filtracyjnej stanowi budowa ściany naczynia (**bariera filtracyjna**):

- śródbłonek z „okienkami”
- błona podstawna (trójwarstwowa)
- nabłonek trzewny (podocyty)

Przestrzeń pomiędzy naczyniami włosowatymi i w pobliżu tętniczki odprowadzającej i doprowadzającej wypełniają komórki mezangialne (**mezangium**)

# Kłębuszek nerkowy i filtracja

---

**Przesączanie kłębuszkowe (GF)** zależy od:

- ciśnienia filtracyjnego (hydrostatyczne i koloidoosmotyczne)
- przepływu krwi przez nerki
- współczynnika filtracji (wielkość i przepuszczalność bariery filtracyjnej)

Podstawowym parametrem określającym sprawność filtracyjną nerki jest **wskaźnik przesączania nerkowego (GFR)**



# Kłębuszek nerkowy i filtracja

---

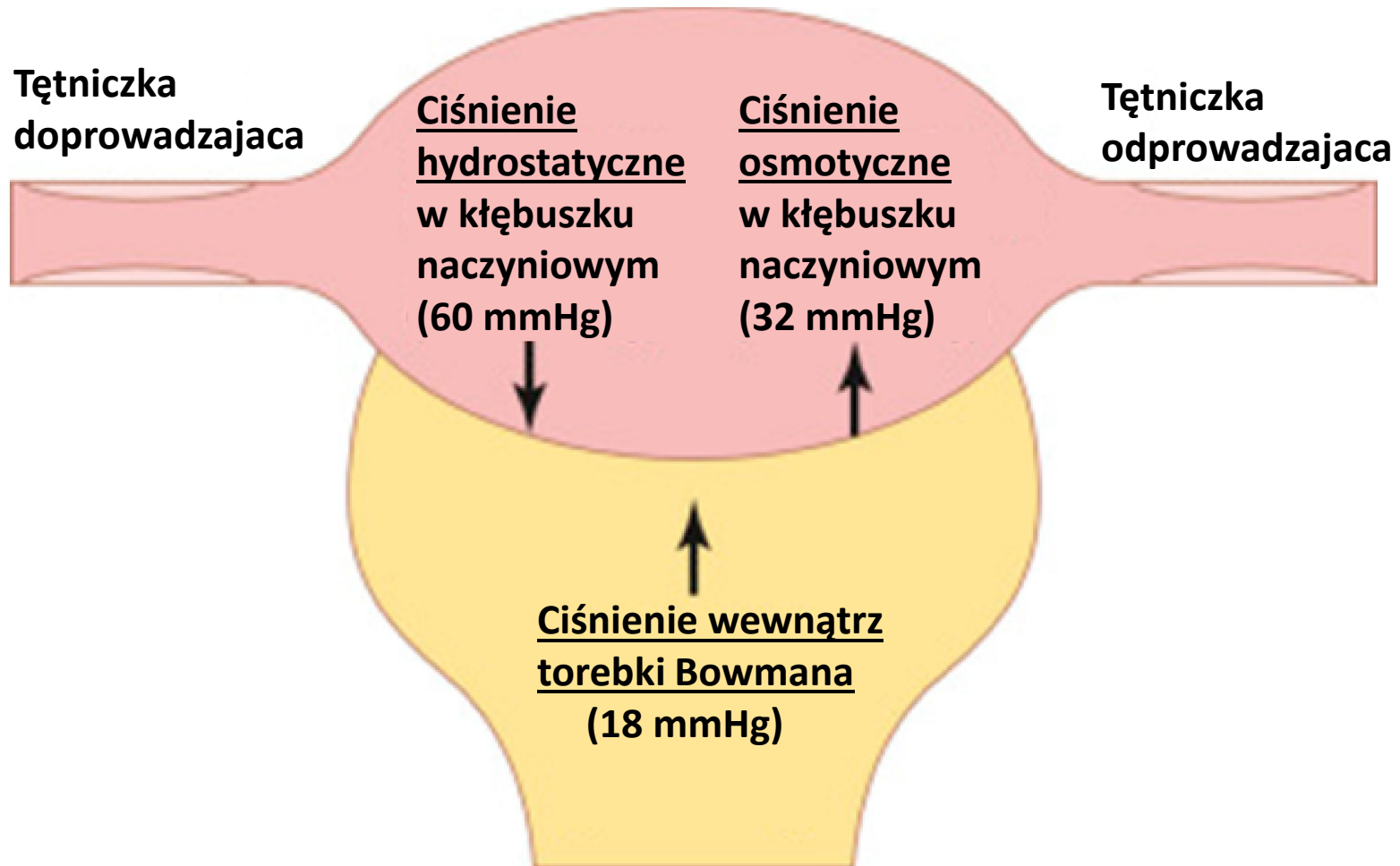
U dorosłych GFR wynosi ok. 180 l/dzień lub 125 ml/min, tzn. w ciągu doby lub minuty odpowiednio 180 l lub 125 ml osocza ulega przesączeniu w nerce

Wielkość GFR świadczy zatem o pewnej dysproporcji między przepływem krwi przez nerkę (**RPF**) a objętością przesączonego osocza, co nazywamy frakcją filtracyjną:

**Frakcja filtracyjna = GFR/RPF**

$FF = 125 \text{ ml/min} / 625 \text{ ml/min} = 0,2 \times 100\% = \mathbf{20\%}$

# Kłębuszek nerkowy i filtracja



$$\text{Ciśnienie Filtracyjne (Pf)} = 60 \text{ mmHg} - 32 \text{ mmHg} - 18 \text{ mmHg} = \mathbf{10 \text{ mmHg}}$$

# Kłębuszek nerkowy i filtracja

---

**Ciśnienie hydrostatyczne** jest główną siłą napędową filtracji kłębkowej, zmiany tego ciśnienia są podstawą fizjologicznej regulacji GFR. Ciśnienie to zależy od:

-ciśnienia tętniczego – wzrost podwyższa GFR

-oporu tętniczki doprowadzającej – skurcz obniża filtrację i przepływ krwi przez kłębek

-oporu tętniczki odprowadzającej – skurcz zwiększa ciśnienie hydrostatyczne i GFR, ale obniża RPF – końcowy efekt zależy od siły skurczu tej tętniczki

# Aparat przykłębuszkowy

---

**Aparat przykłębuszkowy** umiejscowiony jest w biegunie naczyniowym i zbudowany z dwóch populacji komórek:

-**cewkowe** – tworzą plamkę gęstą i są wrażliwe na zawartość NaCl w kanaliku dalszym nerki

-**naczyniowe** – zawierają ziarnistości zawierające reninę

Spadek stężenia NaCl obmywającego plamkę gęstą prowadzi do relaksacji t. doprowadzającej i sekrecji reniny

# Mocz pierwotny

---

Osocze przesączone do światła torebki Bowmana nazywamy **moczem pierwotnym** lub **pramoczem** (180 l/dzień), który ulega dalszej obróbce w kanalikule nerkowym, a **mocz ostateczny** stanowi tylko ok. 1% objętości moczu pierwotnego (ok. 1,5l/dzień)

Skład pramoczu jest podobny do osocza, jednak nie występują w nim krwinki, białka oraz niektóre jony związane z białkami

# Kanalik nerkowy

---

Skład pramoczu ulega modyfikacji wzdłuż całego kanalika nerkowego na drodze procesu **reabsorpcji i sekrecji**

Oba procesy są selektywne, w przeciwieństwie do filtracji, która jest procesem względnie nieselektywnym (wybiórczy)

# Reabsorpcja

---

**Reabsorpcja** polega na wchłanianiu zwrotnym substancji ze światła kanalika z powrotem do krążenia, odbywa się na drodze **transportu przezkomórkowego lub międzykomórkowego**, w który zaangażowane są mechanizmy transportu czynnego i biernego oraz poprzez **ultrafiltrację**

Ultrafiltracja zależy od sił hydrostatycznych i osmotycznych

# Reabsorpcja i sekrecja

---

**Sekrecja** polega na wydzielaniu jonów, metabolitów do światła kanalika

Poszczególne elementy kanalika nerkowego charakteryzują się zmiennym stosunkiem reabsorpcja/sekrecja, co zależy od ich struktury oraz przepuszczalności dla wody, jonów i innych substancji



# Hormonalna regulacja reabsorpcji i sekrecji

---

Hormon	Miejsce działania	Efekt
<b>Aldosteron</b>	Kanalik zbiorczy	↑ reabsorpcji NaCl, H <sub>2</sub> O, ↑ sekrecji K <sup>+</sup> , ↑ sekrecji H <sup>+</sup>
<b>Angiotensyna II</b>	Głównie kanalik bliższy, ale też pozostałe fragmenty cewki	↑ reabsorpcji NaCl, H <sub>2</sub> O, ↑ sekrecji H <sup>+</sup>
<b>Wazopresyna</b>	Kanalik dalszy i zbiorczy	↑ reabsorpcji H <sub>2</sub> O
<b>Przedsionkowy peptyd natriuretyczny</b>	Kanalik dalszy i zbiorczy	↓ reabsorpcji NaCl

# Kanalik bliższy

---

**Kanalik bliższy (proksymalny)** zbudowany jest z części krętej i prostej, następuje tu wchłanianie ok.65% przesączonej wody i sodu oraz wchłanianie całej przesączonej glukozy i aminokwasów, wydzielany jest  $H^+$ , kwasy i zasady

Sód transportowany jest biernie, transport wtórny czynny (współ – lub przeciwtransport)

# Pętla Henlego

---

**Pętla Henlego** zbudowana jest z ramienia cienkiego zstępującego oraz ramienia wstępującego (cienkie i grube)

Ramię zstępujące charakteryzuje się niską aktywnością metaboliczną komórek, natomiast wysoką przepuszczalnością dla wody (ok.20%)

# Pętla Henlego

---

Ramię wstępujące pętli Henlego jest nieprzepuszczalne dla wody

Część gruba charakteryzuje się większą aktywnością metaboliczną niż część cienka, stąd ulega w niej wchłonięciu ok. 25 % sodu, chlorków i potasu

# Kanalik dalszy i zbiorczy

---

Druga połowa kanalika dalszego i kanalik zbiorczy mają podobną budowę, występują tu komórki wstawkowe zawierające receptory dla wazopresyny

Oba fragmenty kanalika są nieprzepuszczalne dla wody, przepuszczalność tą może regulować tylko wazopresyna

# Zagęszczanie i rozcieńczanie moczu

---

Stężenie substancji rozpuszczonych w osoczu (**osmolalność**) musi być regulowane by zabezpieczyć komórki przed obrzękiem lub utratą wody

**Osmolalność** osocza jest regulowana przez zmianę jego objętości – pobór lub wydalanie wody

Stąd nerki oszczędzają wodę poprzez wydalanie moczu zagęszczonego lub pozbywają się nadmiaru wody poprzez wydalanie moczu rozcieńczonego

# Zagęszczanie i rozcieńczanie moczu

---

Prawidłowa osmolalność płynów ustroju wynosi ok. **300 mOsm/l**

Nerki posiadają wysoką wrażliwość na zmiany osmolalności osocza:

-**nadmiar wody** prowadzi do spadku osmolalności osocza, stąd nerka wydalą duże ilości rozcieńczonego moczu (min. 50 mOsm/l)

-**niedobór wody** podnosi osmolalność osocza, stąd nerka wydalą małe ilości zagęszczonego moczu (max. 1200 mOsm/l)

# Zagęszczanie i rozcieńczanie moczu

---

Podstawą mechanizmu kontrolującego powstawanie moczu o zmiennej osmolalności jest uwalnianie lub hamowanie uwalniania wazopresyny (ADH) z przysadki:

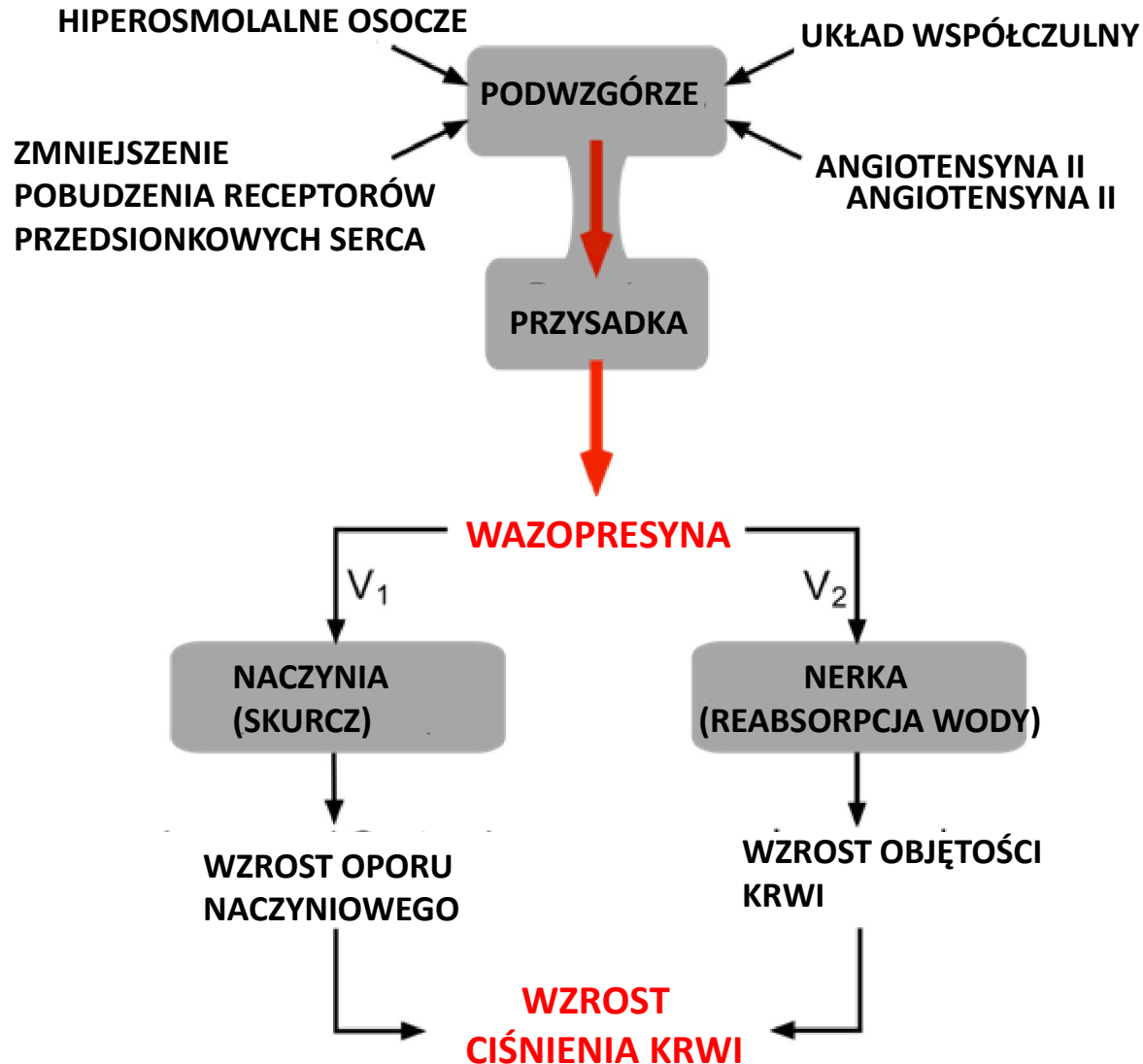
**-wzrost osmolalności osocza -> uwalnianie ADH**  
(„rozcieńczanie” osocza)

**-spadek osmolalności osocza-> hamowanie ADH**  
(„zagęszczanie” osocza)

**ADH działa na kanalik dystalny i zbiorczy**



# Wazopresyna



# Rozcieńczanie moczu

---

Ogólnie proces ten związany jest z zahamowaniem wchłaniania wody przy zachowanym wchłanianiu substancji

Nerki mogą wytwarzać nawet do 15-20 l moczu dziennie przy jego niskiej osmolalności (50 mOsm/l)

# Zagęszczanie moczu

---

Proces ten związany jest z kontynuacją reabsorpcji i sekrecji substancji z jednoczesnym wzmożonym wchłanianiem wody ADH-zależnym

Produkowane są skąpe ilości moczu o wysokiej osmolalności do 1200-1400 mOsm/l

Nawet mimo długotrwałego deficytu wody, pewna ilość moczu musi być zawsze wydalana

# Zagęszczanie moczu

---

Minimalna ilość wydalanego dziennie moczu nazywamy **objętością obligatoryjną (obowiązkową)** – konieczną do pozbycia się produktów przemiany materii

Każdego dnia organizm produkuje ok. 600 mOsm/l produktów przemiany materii, skoro max. zdolność do zagęszczania moczu wynosi ok. 1200 mOsm/l, to:

**Objętość obligatoryjna =  $600 \text{ mOsm/l/dzień} / 1200 \text{ mOsm/l} = 0,5 \text{ l/dzień}$**

# Zagęszczanie moczu

---

Minimalna ilość wydalanego dziennie moczu nazywamy **objętością obligatoryjną (obowiązkową)** – konieczną do pozbycia się produktów przemiany materii

Każdego dnia organizm produkuje ok. 600 mOsm/l produktów przemiany materii, skoro max. zdolność do zagęszczania moczu wynosi ok. 1200 mOsm/l, to:

**Objętość obligatoryjna = 600 mOsm/l/dzień / 1200 mOsm/l = 0,5 l/dzień**

# Zagęszczanie moczu

---

**Dlaczego picie wody morskiej prowadzi do odwodnienia?**

1 l wody morskiej posiada osmolalność ok. 1200 mOsm

Skoro dziennie należy wydalić 600 mOsm/l metabolitów, to po wypiciu wody morskiej 600 + 1200 = 1800 mOsm/l, stąd:

$1800 \text{ mOsm/l} / 1200 \text{ mOsm/l} = \mathbf{1,5 \text{ l}}$

# Zagęszczanie i rozcieńczanie moczu

---

Niezależnie czy wytwarzany mocz będzie hiper czy hipoosmotyczny, proces jego wytwarzania jest wspólny aż do osiągnięcia kanalika dalszego i zbiorczego, gdzie następuje właściwy proces zagęszczania lub rozcieńczania moczu

Kanalik dalszy i zbiorczy są wrażliwe na działanie angiotensyny II, aldosteronu i ANP przez co zaangażowane są w gospodarkę elektrolitową regulując ciśnienie krwi