



Gospodarka wodno – elektrolitowa chorych chirurgicznych

dr n.med. Jacek Szopiński

Katedra Chirurgii Ogólnej i Transplantologii CM Bydgoszcz UMK,
Oddział Chirurgii i Żywienia Klinicznego Szpital Miejski Bydgoszcz

TBW (Total Body Water)

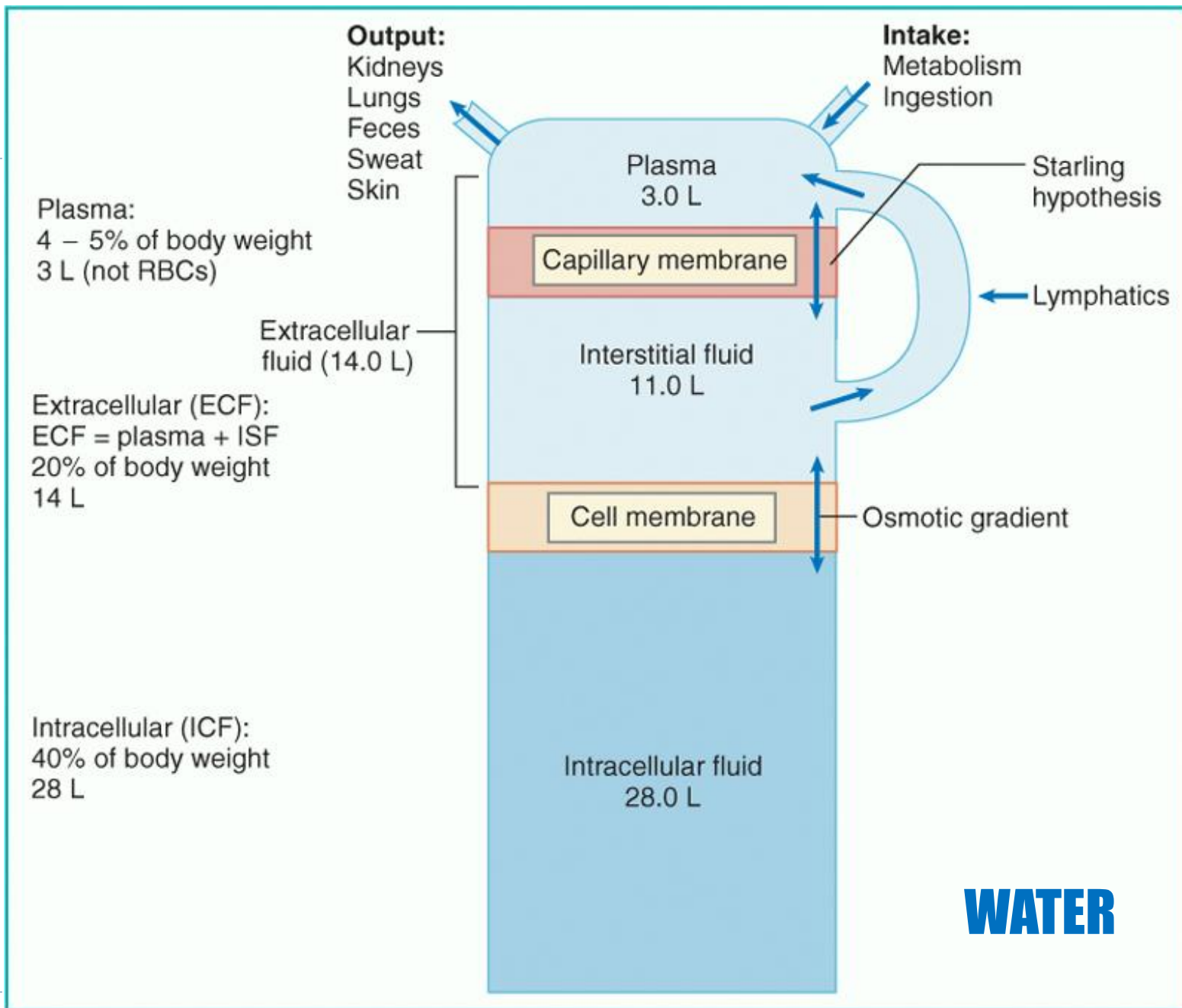
- ▶ Całkowita zawartość wody w ustroju
- ▶ Spada gdy: wzrasta ilość tkanki tłuszczowej
w miarę starzenia
- ▶ Zasadniczo: TBW - **60 % masy ciała u M**
- **50 % masy ciała u K**



TBW

- ▶ ICF (Intracellular fluid) = $2/3$ TBW
- ▶ ECF (Extracellular fluid) = $1/3$ TBW
 - **Przestrzeń wewnątrznaczyniowa** (25 % ECF, 8 % TBW)
 - osocze
 - **Przestrzeń śródmiąższowa** (75 % ECF, 25 % TBW)
 - wolna faza / wody całkowicie wymiennej
 - faza związana / wody niewymiennej
 - przedział wymieniany pozakomórkowo (płyn mózgowo – rdzeniowy, woda w chrząstkach, woda w gałce ocznej, lubrykanty błon surowiczych)





Effective circulating volume (ECV)

- ▶ Część ECF, która bezpośrednio perfunduje tkanki
- ▶ w warunkach normalnych = objętość wewnątrznaczyniowa
- ▶ w warunkach patologicznych
np. niedrożność, ostre zapalenie trzustki, sepsa



”trzecia przestrzeń”



objętość wewnątrznaczyniowa - maleje
HIPOPERFUZJA

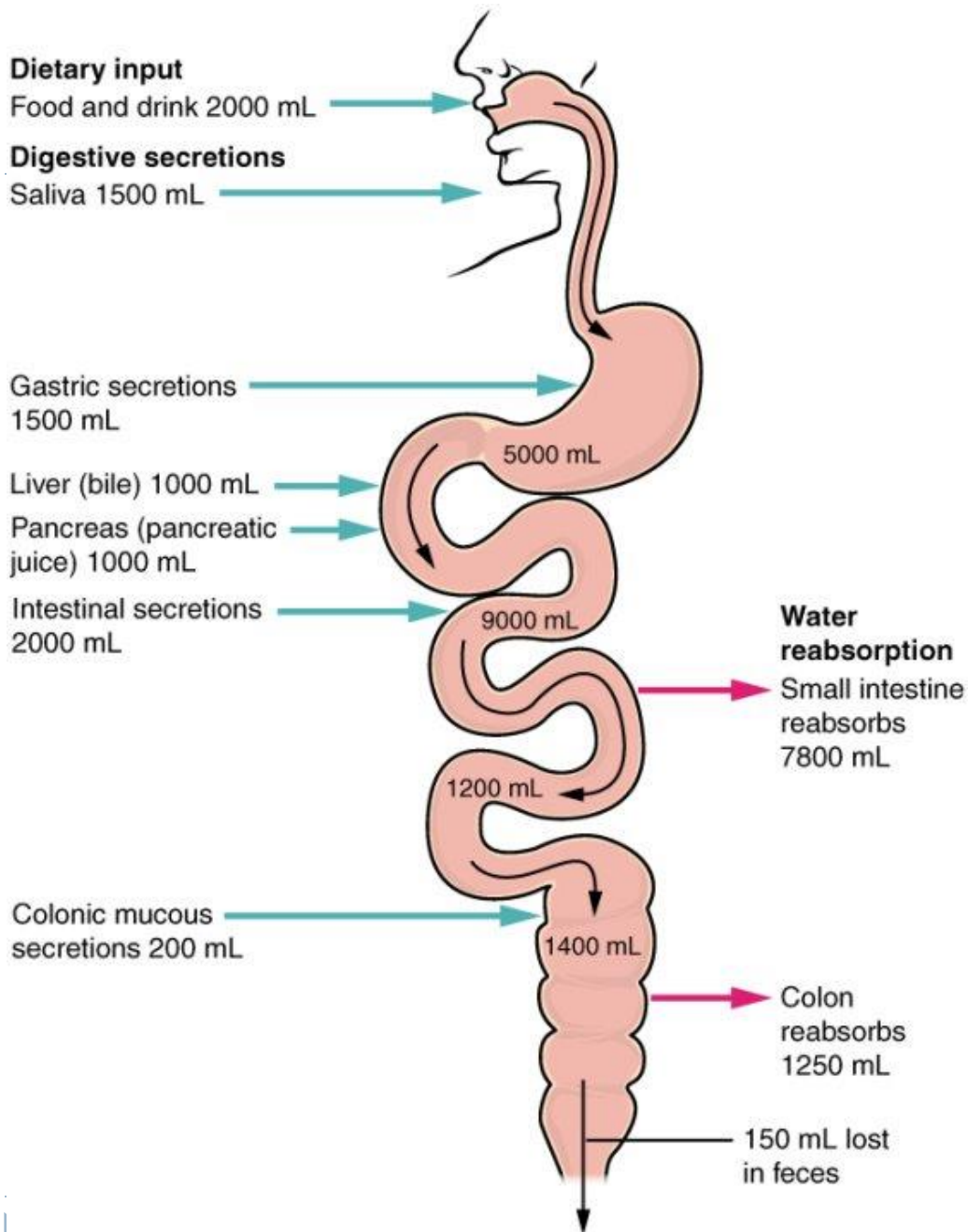
Konieczne przywrócenie objętości wewnątrznaczyniowej (1) i
leczenie przyczyny dysregulacji naczyniowej (2)





- I. **Zaburzenia wydzielania płynów i elektrolitów:**
 - ▶ **Fizjologia:** ilość płynów wydzielonych = ilości płynów wchłoniętych
 - ▶ **Niedrożność:**
 - a. wchłanianie powyżej przeszkody do 12h, następnie spadek wchłaniania przy zachowanym wydzielaniu
 - b. po 48h całkowite zatrzymanie wchłaniania przy podwyższonym wydzielaniu sodu i potasu
 - a. wchłanianie do ściany jelita (obrzęk) przesiek do otrzewnej





wydzielanie żołądkowe

ok. 100 ml/h
(2,5 - 3 l/d)

całkowite wydzielanie p.pok.

ok. 300 ml/h
(ok. 7,5 l/d)

ALE – różne w różnych porach dnia i w zależności od bodźca pokarmowego

Wstrząs

- ▶ Objętość wewnątrznaczyniowa (ok. 5 l)
 - istotne spadki średniego ciśnienia tętniczego (MAP - mean arterial pressure) są źle tolerowane i prowadzą do wstrząsu hipowolemicznego

$$\text{MAP} = \text{DP} + 1/3 [\text{SP} - \text{DP}] \quad 75-100 \text{ mmHg}$$

Istotna utrata krwi = wstrząs krwotoczny

klasa I < 15 % krwi krążącej

klasa II 15-30 % krwi krążącej

klasa III 30-40 % krwi krążącej (hipotensja)

klasa IV > 40 % krwi krążącej (> 50 % NZK)



Objawy utraty krwi

Kla -sa	Objawy kliniczne	% utraty objętości
I	• Tachykardia ortostatyczna - wzrost częstości akcji serca o co najmniej 20/min, przy zmianie pozycji ciała z poziomej na pionową;	15
II	• Hipotonia ortostatyczna - spadek skurczowego ciśnienia krwi o co najmniej 15mmHg, przy zmianie pozycji ciała z poziomej na pionową; •Oliguria, lęk ,niepokój; •Objawy dusznicy bolesnej (u chorych z chorobą niedokrwioną serca);	20-25
III	• Hipotonia nieortostatyczna ; •Nieadekwatna perfuzja tkankowa; •Zmiany stanu umysłowego;	30-40
IV	• Wstrząs pełnoobjawowy ; •Zagrożenie życia; •Zespół wykrzepiania wewnątrznaczyniowego (DIC).	>40

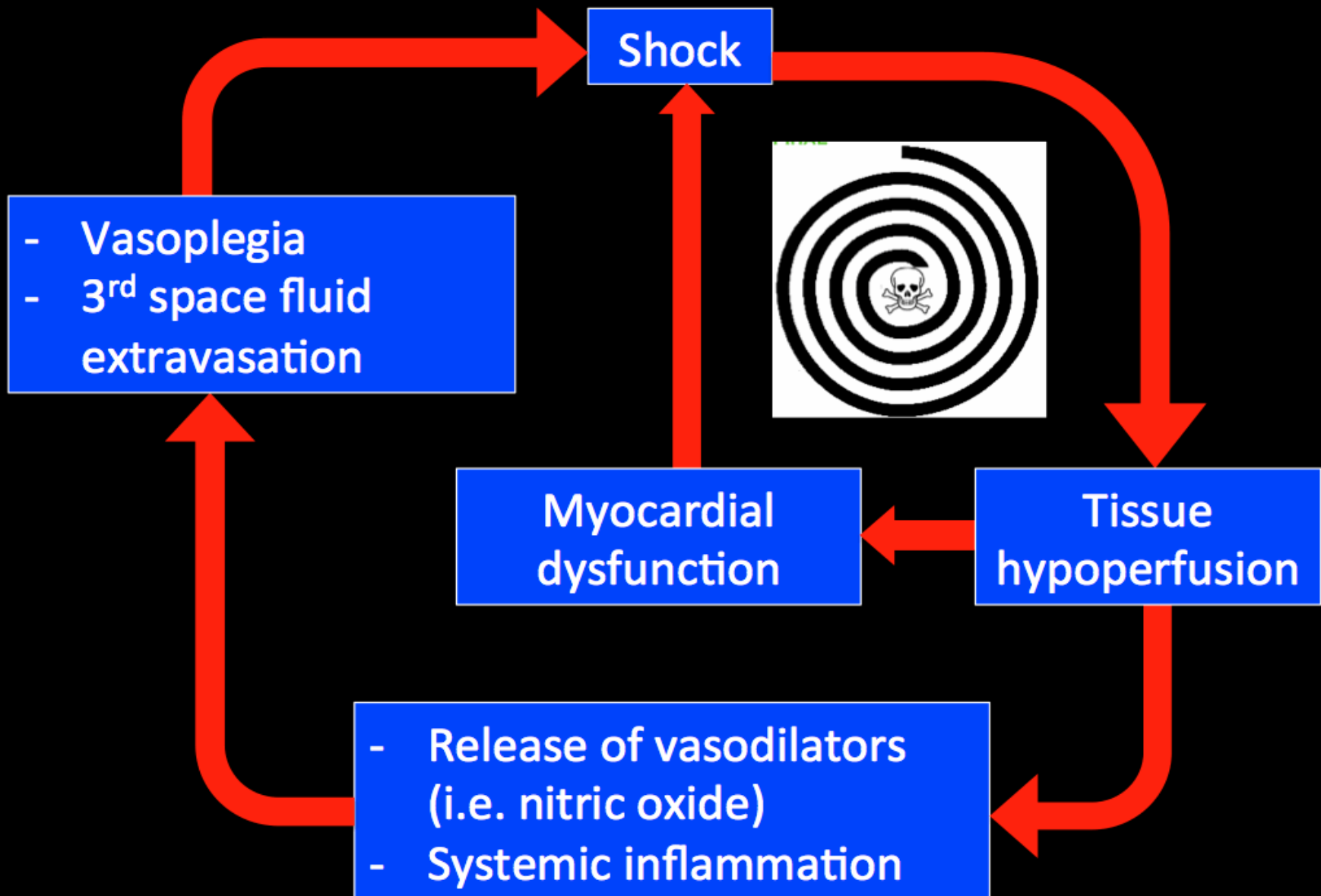
Wstrząs



Definicja

- ▶ Niedostateczny transport krwi przenoszącej tlen i substancje odżywcze względem zapotrzebowania tkanek organizmu

Death Spiral of Shock



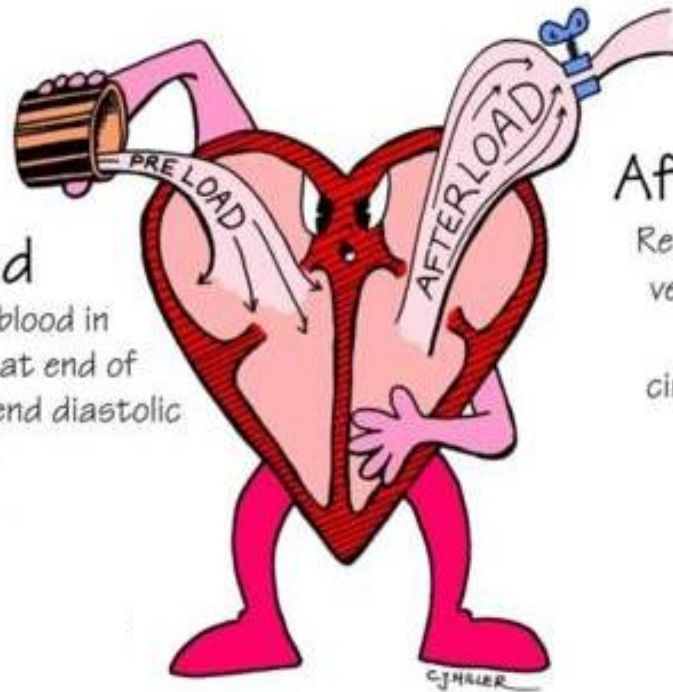
Wstrząs hipowolemiczny



Zmniejszony

1. Krwawienie
2. Utrata płynów

Preload
Volume of blood in ventricles at end of diastole (end diastolic pressure)



Afterload
Resistance left ventricle must overcome to circulate blood



Objętość krwi krążącej

- ▶ Noworodki 85-90 ml/kg
- ▶ Niemowlaki 75-80 ml/kg
- ▶ Dzieci 70-75 ml/kg
- ▶ Dorośli 65-70 ml/kg

$M > K$

7 % IBW (dorośli)
8-9 % IBW (dzieci)



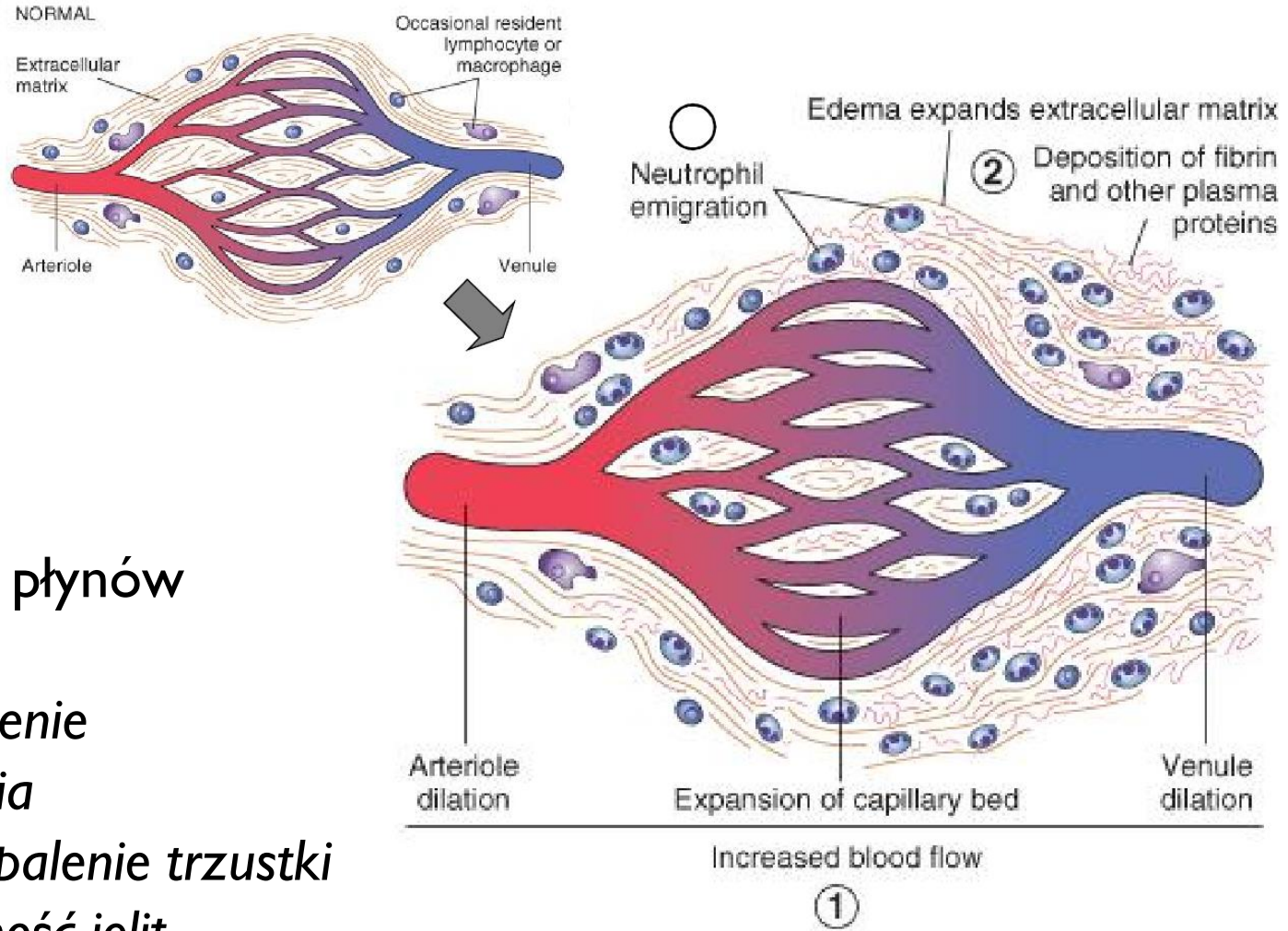
70 kg mężczyzna \approx 5 litrów

Krwawienie

- uraz
- *krwawienie z p.pok.*
- *uraz chirurgiczny (uszkodzenie dużych naczyń)*



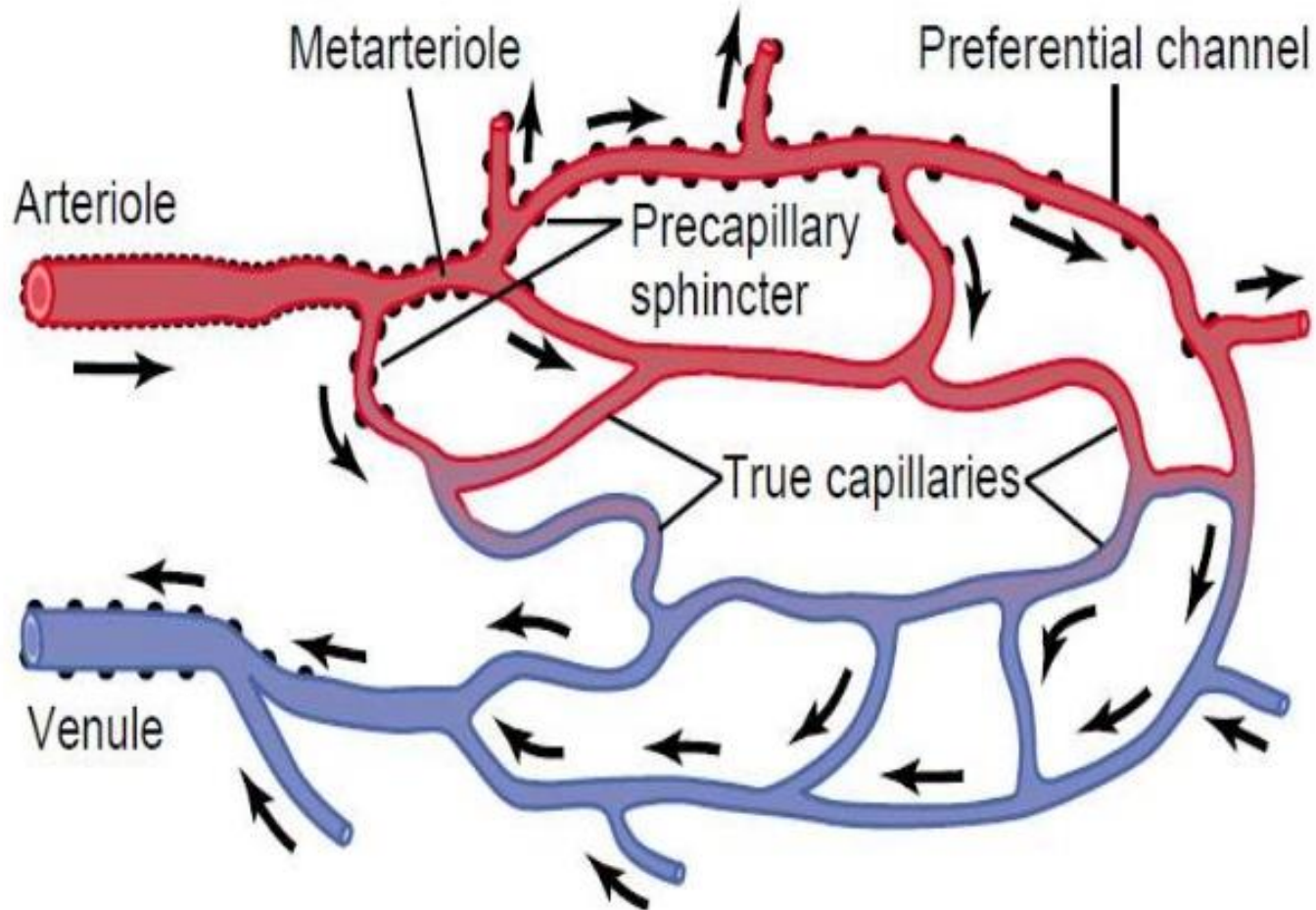
Przesunięcie płynowe



Ucieczka płynów

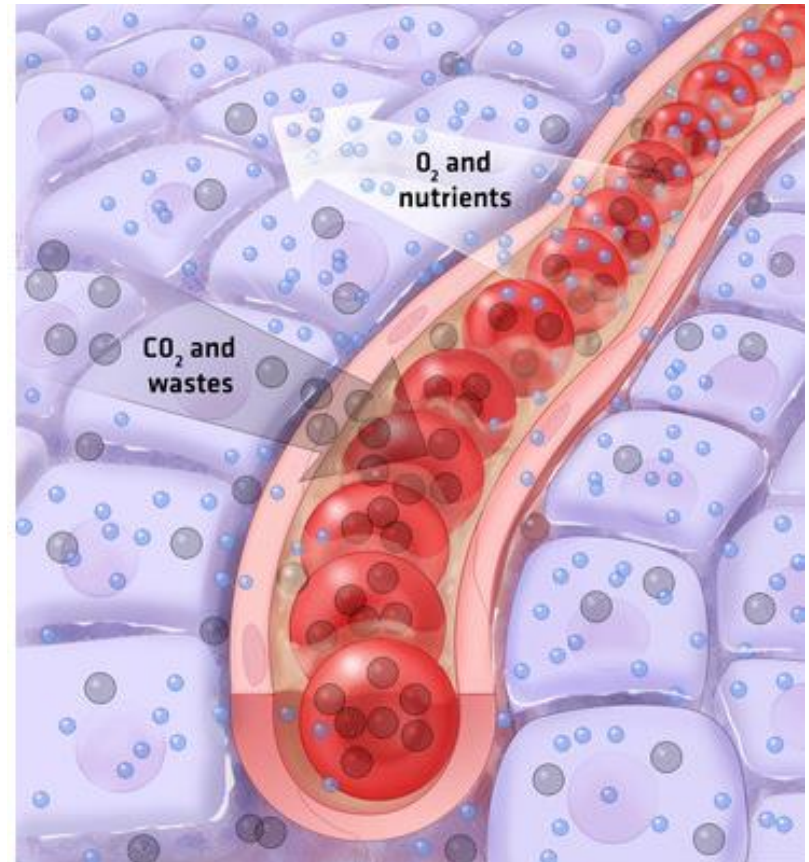
- odwodnienie
- oparzenia
- ostre zapalenie trzustki
- niedrożność jelit

Sieć mikrokrażenia "MIEJSCE AKCJI „



Mikrokrążenie

- ▶ Główna rola – umożliwić wymianę substancji między komórkami i krążącą krwią
- ▶ transfer głównie przez ścianę kapilar oraz żyłek
- ▶ wymieniane substancje WODA, elektrolity, gazy (O_2 , CO_2), metabolity (w tym azotowe), glukoza, tłuszcze, leki i CIEPŁO



Mikrokrążenie

Dyfuzja

Całkowity przepływ wody przez ścianę kapilar **80 000 litrów dziennie** (znacznie więcej niż całkowity przepływ przez naczynia = dobowy wyrzut serca, który wynosi około 8,000 litrów / dobę)

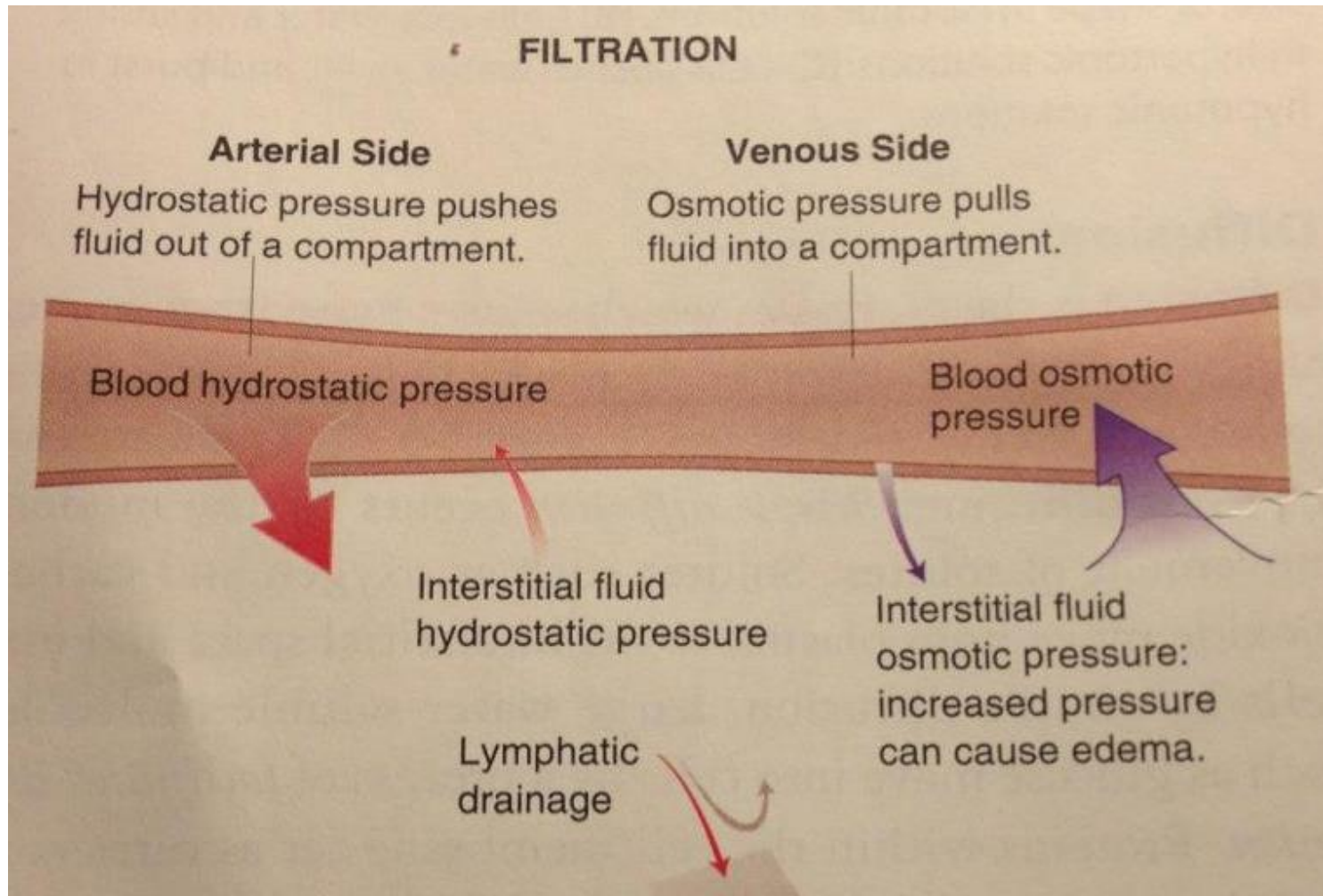
Dyfuzja zachodzi w obu kierunkach (do i pozanaczyniowo), zależy od gradientu stężeń (prawo Ficka), w warunkach fizjologicznych różnica netto dyfuzji do i pozanaczyniowej = 0

Filtracja

Zachodzi z powodu różnicy ciśnienia hydrostatycznego i onkotycznego wewnątrz i pozanaczyniowo (hipoteza Starlinga); filtracja pozanaczyniowa wynosi około **20 litrów/dobę**, donaczyniowa ok. **18 litrów/dobę** = różnica około 2 litrów – powracają do krążenia drogą naczyń limfatycznych

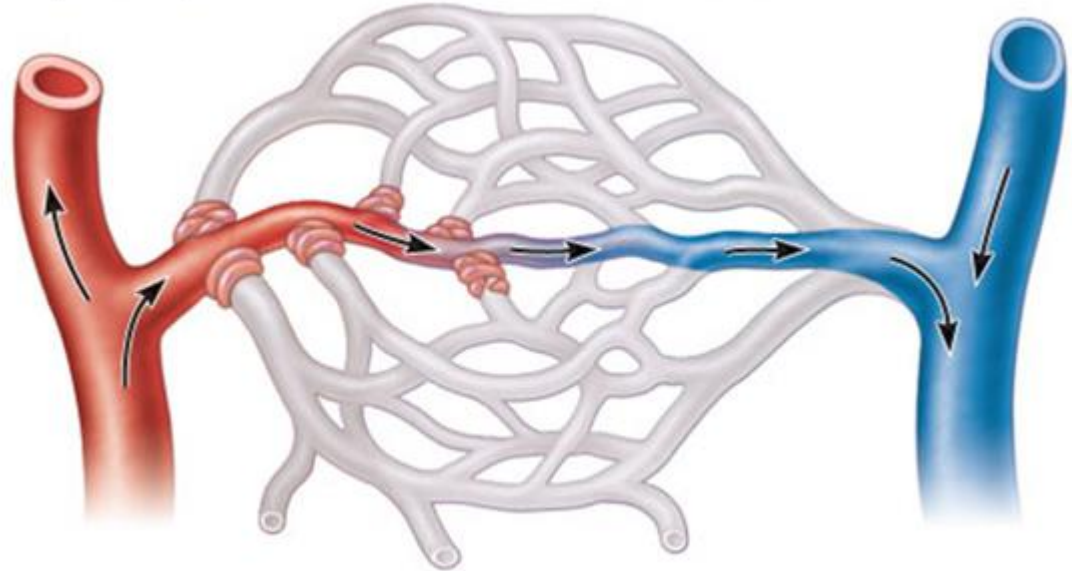


Microcirculation



Compensatory mechanisms

- ▶ Sphincters closed due to sympathetic stimulation
 - blood flows straight through metarteriole and bypasses the capillaries



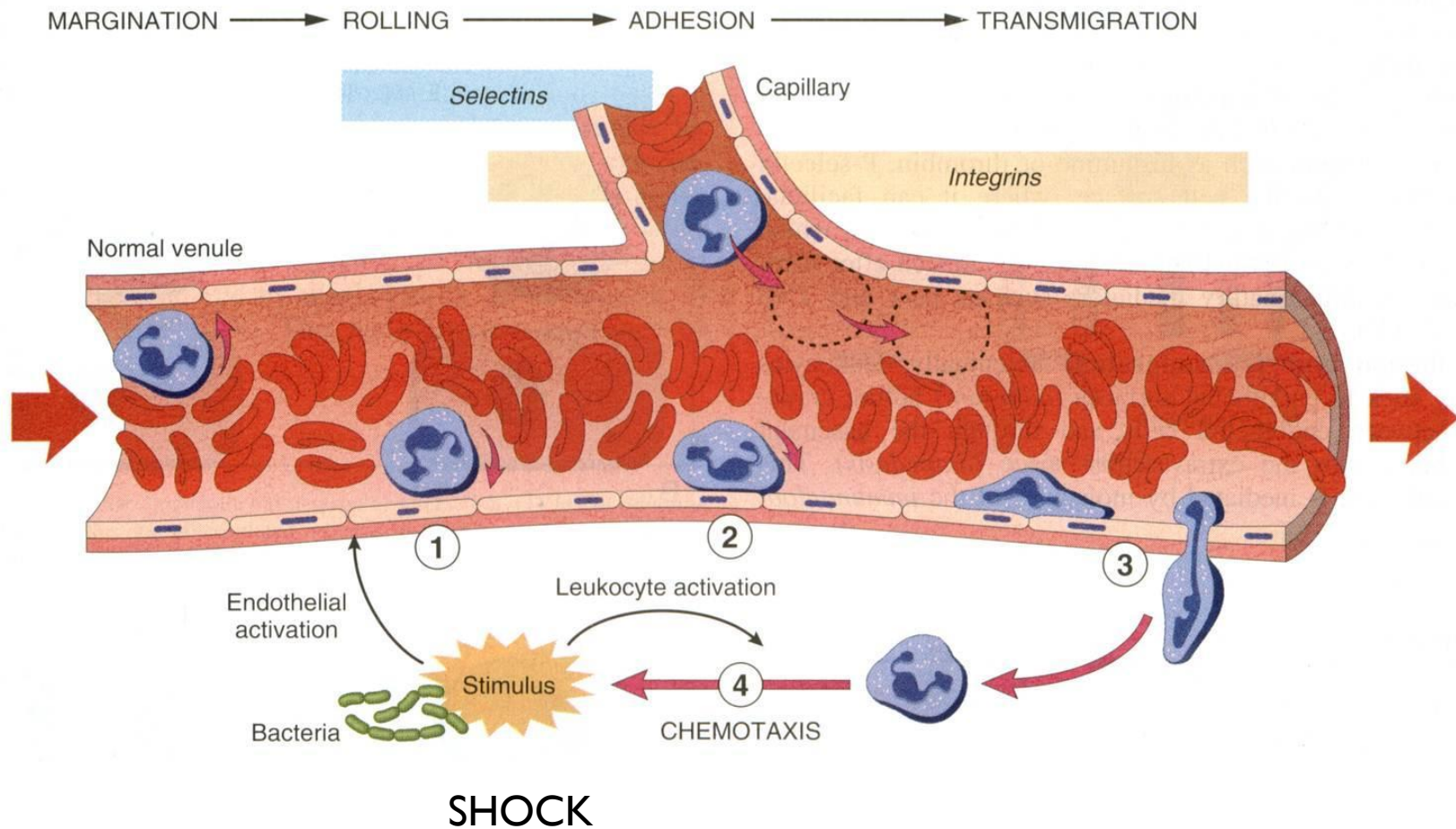
Terminal arteriole

Postcapillary venule

„shunting strategy”



Interakcje śródbłonek – leukocyty



*transmigrating
leukocyte*

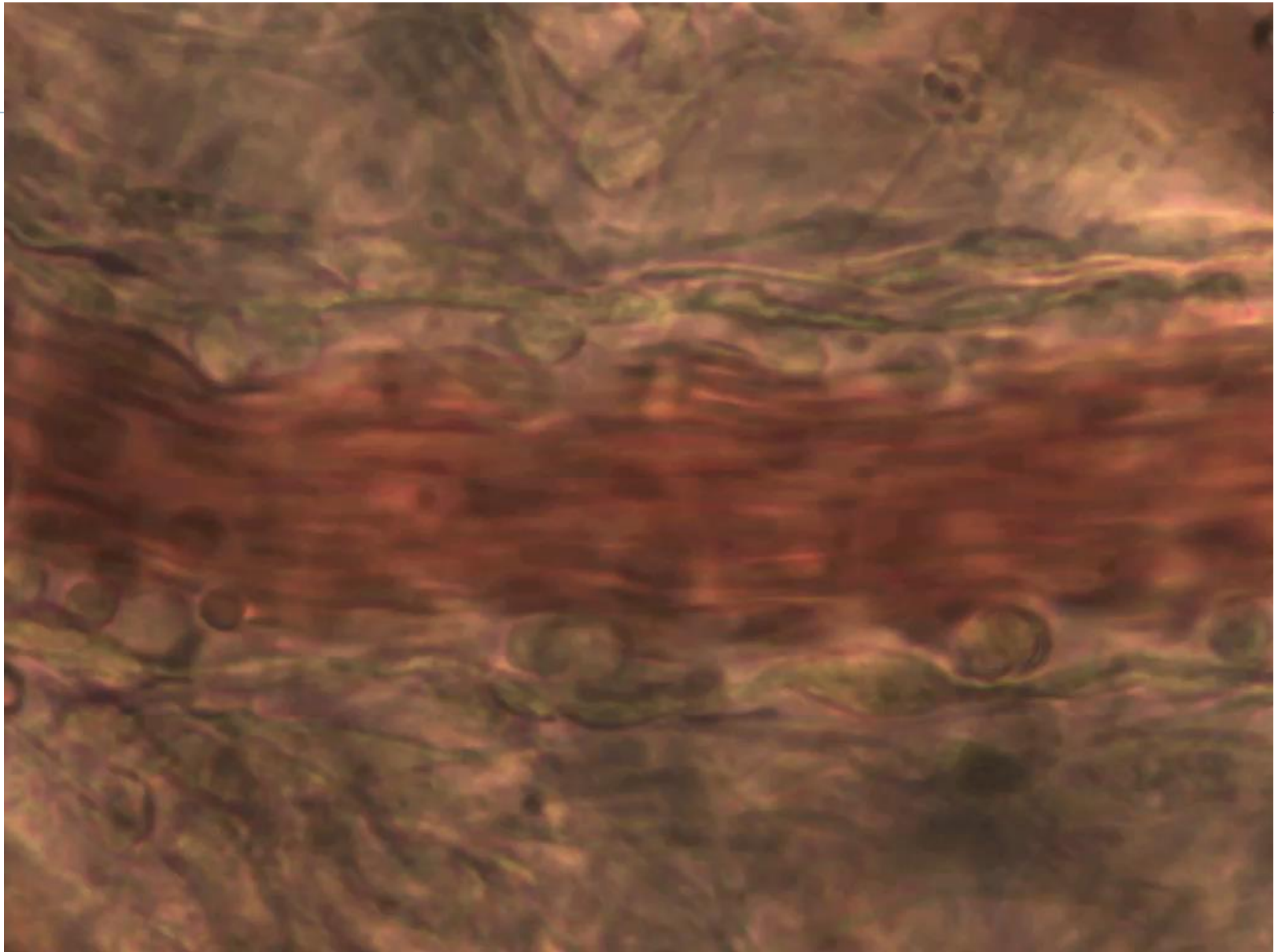


*sticking
leukocyte*



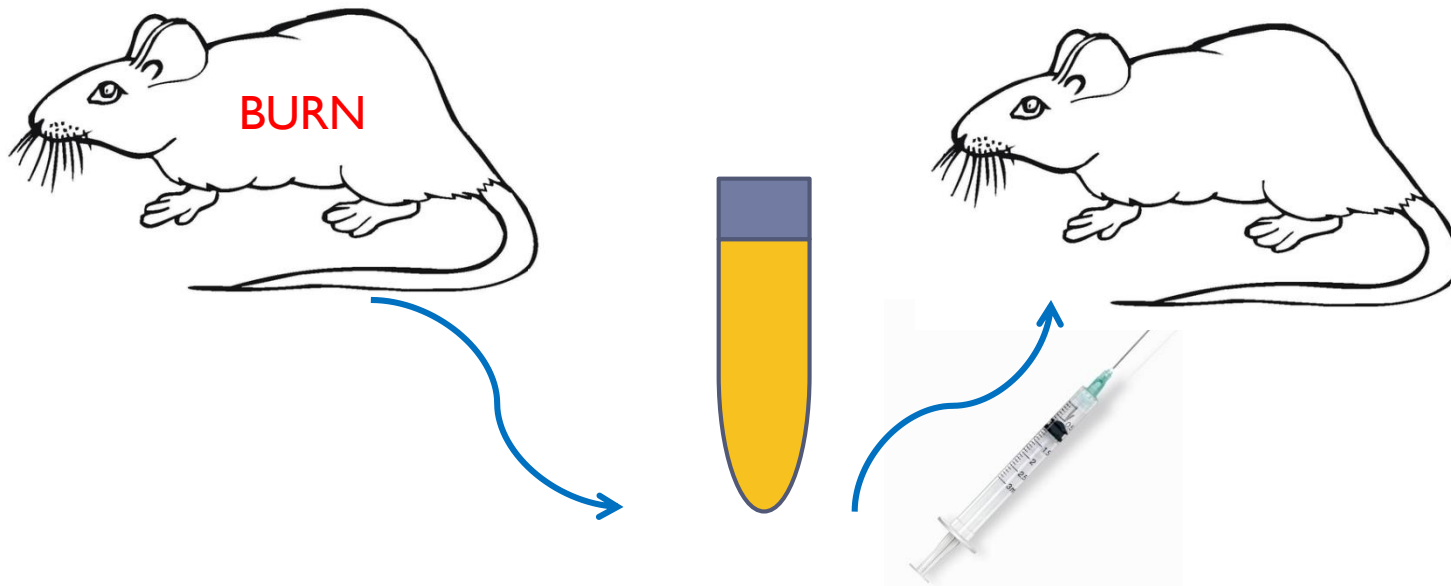
rolling leukocyte





Cytokines are co-responsible for microcirculatory insufficiency & fluid shift

- ▶ Burn plasma transfer induces systemic burn edema in healthy individuals, which is identical to burn edema after direct thermal injury in this rat model.

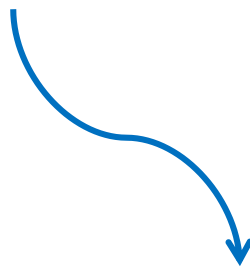


Burn plasma transfer induces burn edema in healthy rats.

Kremer T¹, Abé D, Weihrauch M, Peters C, Gebhardt MM, Germann G, Heitmann C, Walther A. Shock, 2008 Oct;30(4):394-400.

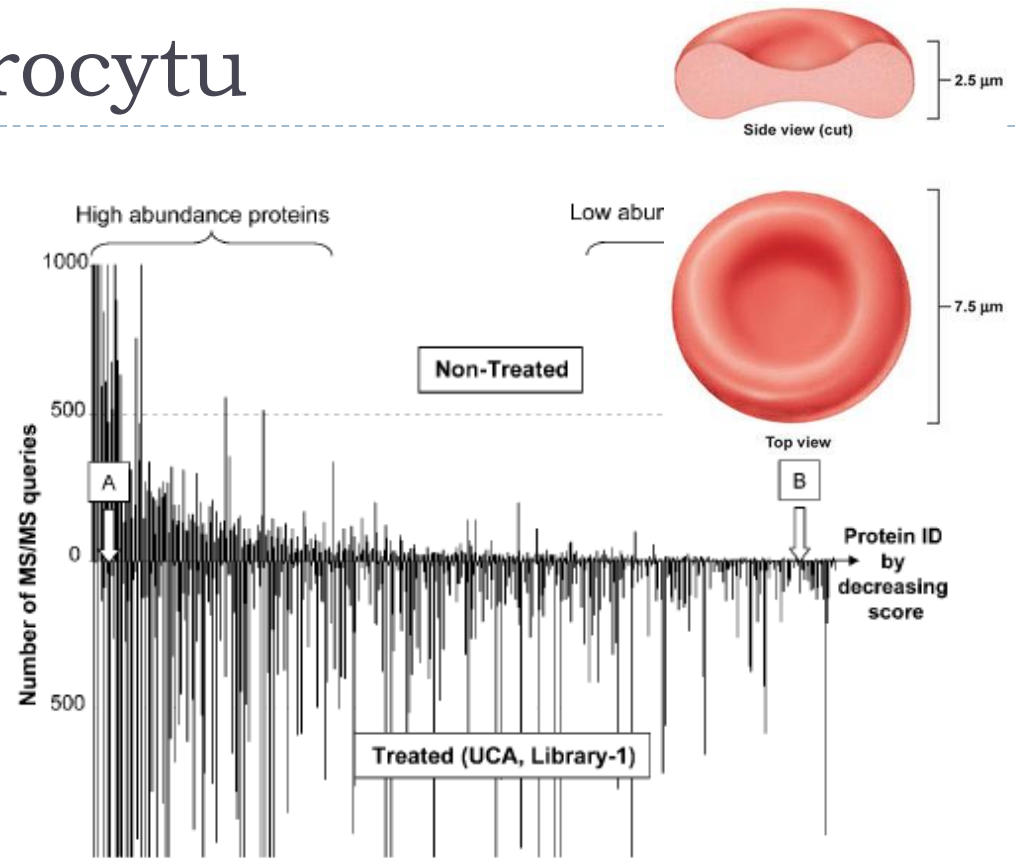
Cytoplazma erythrocytu

- ▶ 98 % Hb
- ▶ 2 % nieznanne !



1578 białek

WODA



Extensive Analysis of the Cytoplasmic Proteome of Human Erythrocytes Using the Peptide Ligand Library Technology and Advanced Mass Spectrometry*

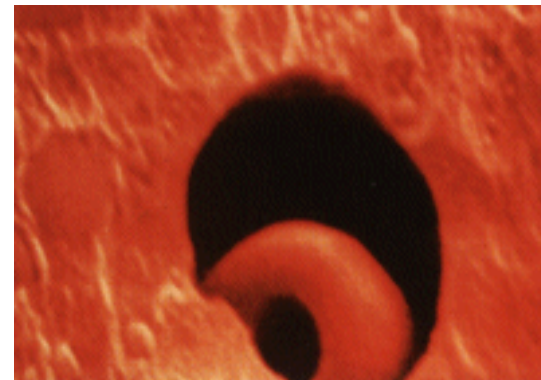
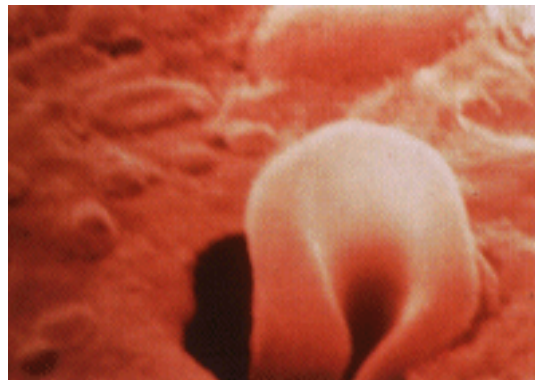
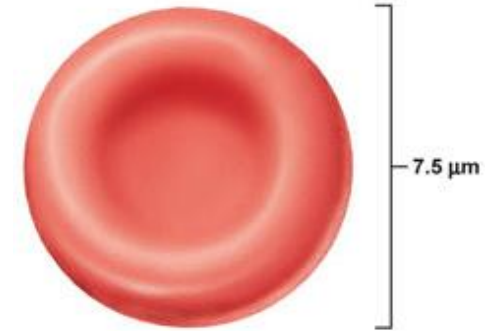
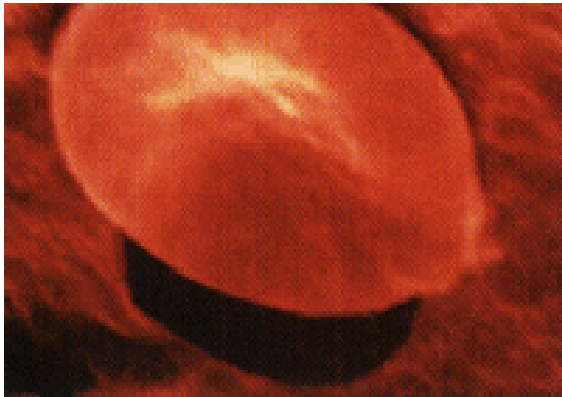
Florence Roux-Dalvai^{‡§}, Anne Gonzalez de Peredo^{‡§}, Carolina Simó[¶], Luc Guerrier^{||}, David Bouysslié[‡], Alberto Zanella^{**}, Attilio Citterio[¶], Odile Buriel-Schiltz[‡], Egisto Boschetti^{||}, Pier Giorgio Righetti^{¶††}, and Bernard Monsarrat^{‡§§}

Odkształcalność erytrocytów !

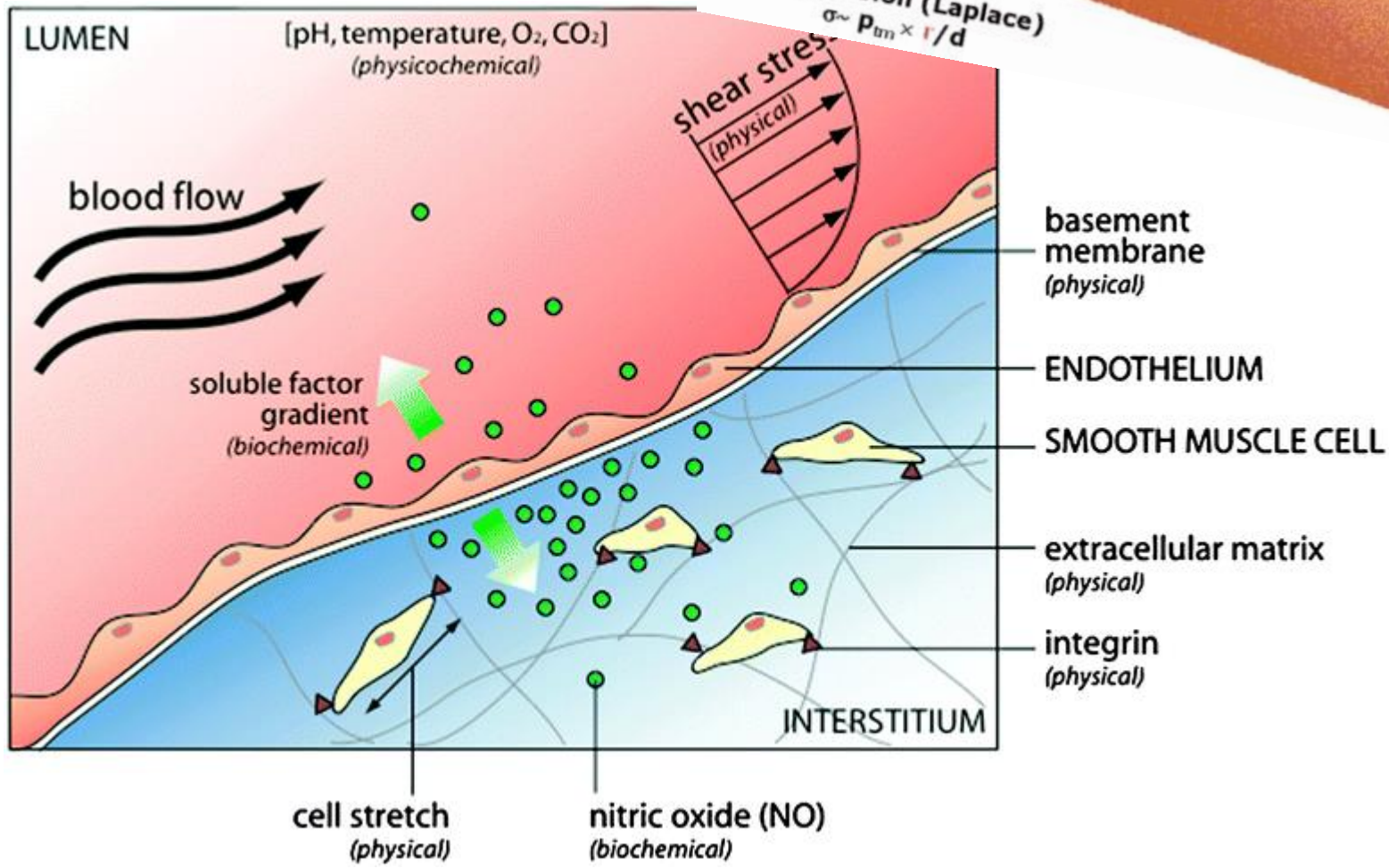
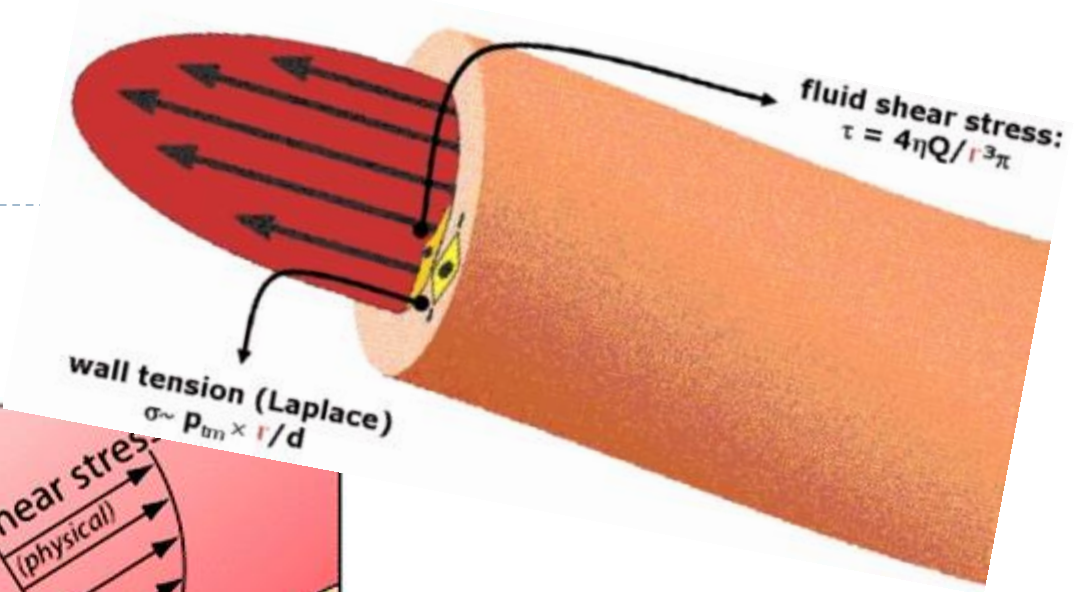
Najmniejsze arteriole ~ **10 – 100 μm**

Kapilary ~ **5 – 10 μm**

Erytrocyt ~ 7,5 μm

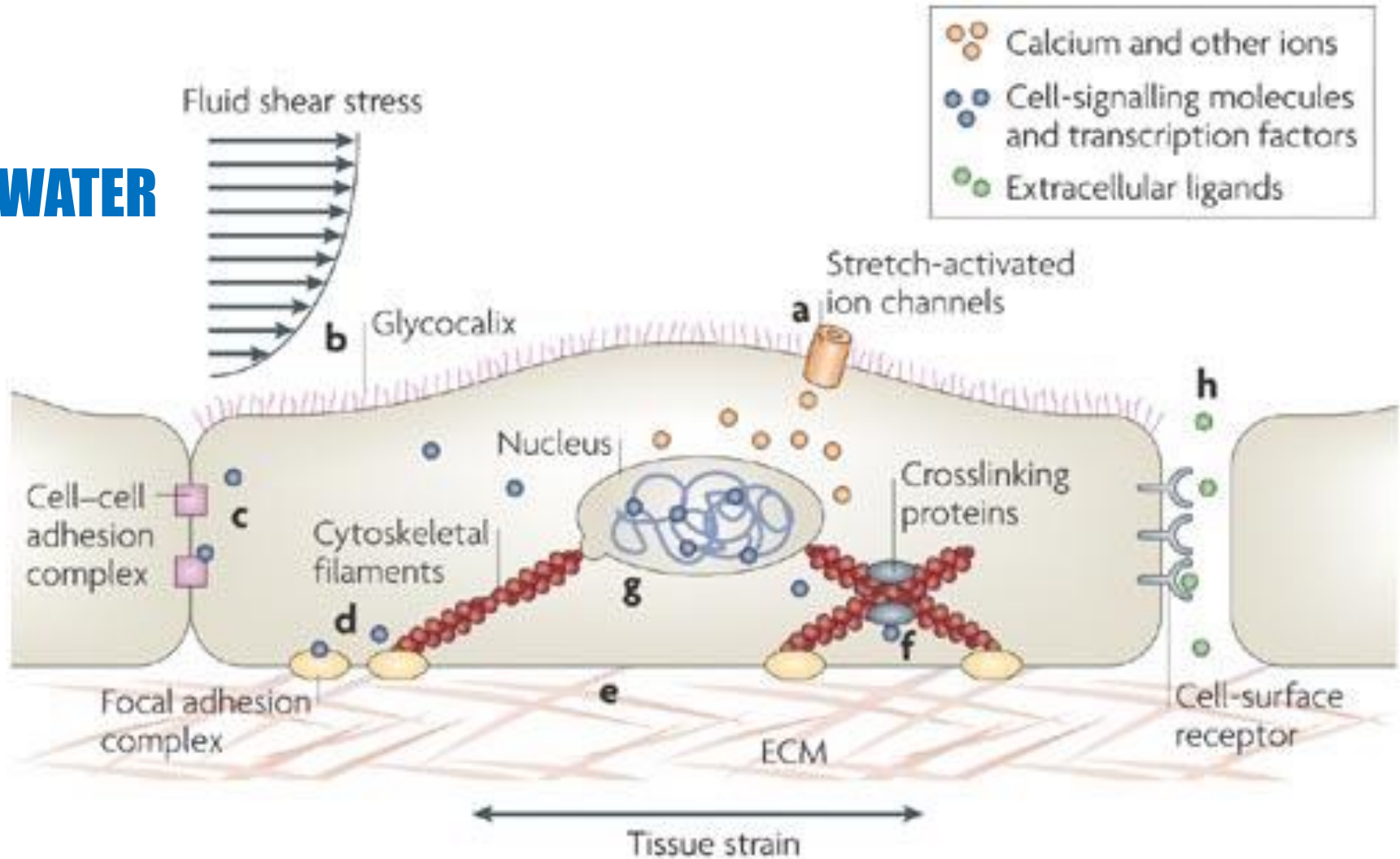


Tarcie

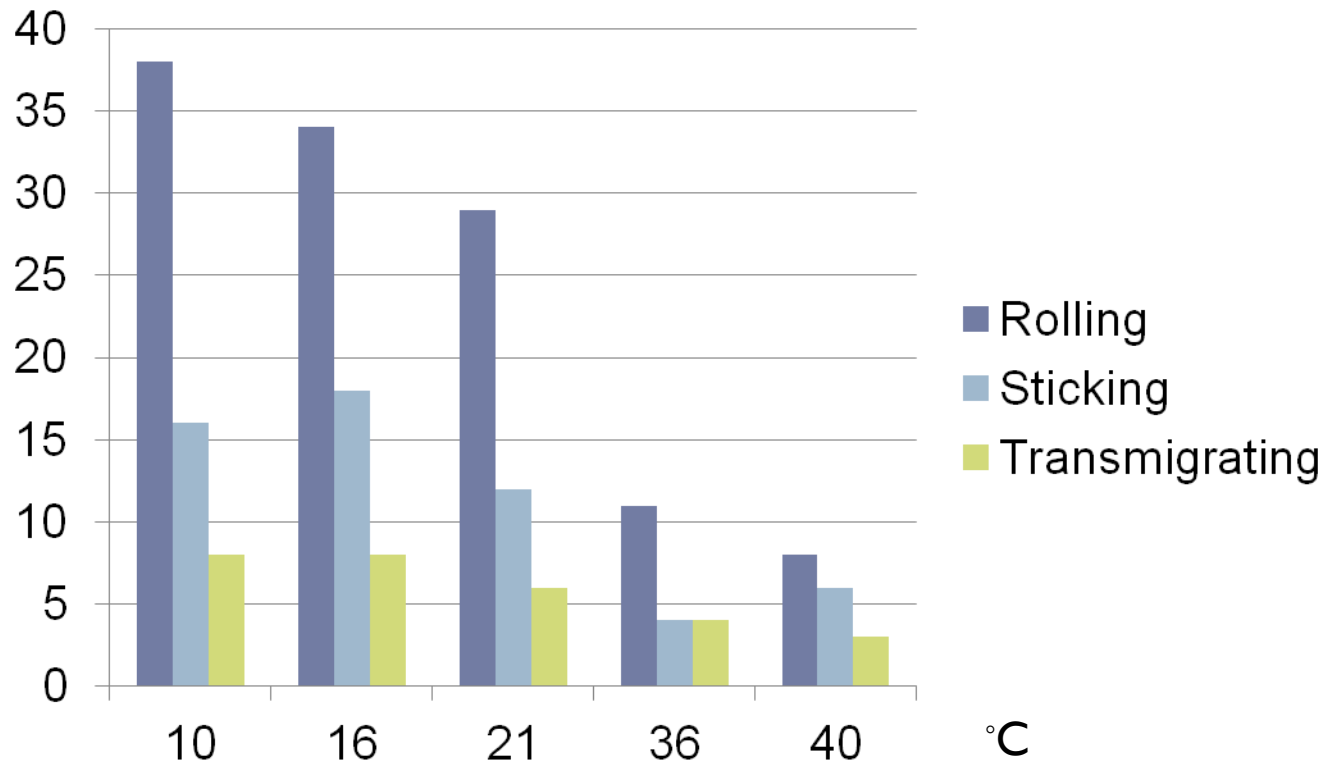


Mechanotransdukcja

WATER



Cold vs. warm Ringer's lactate infusion



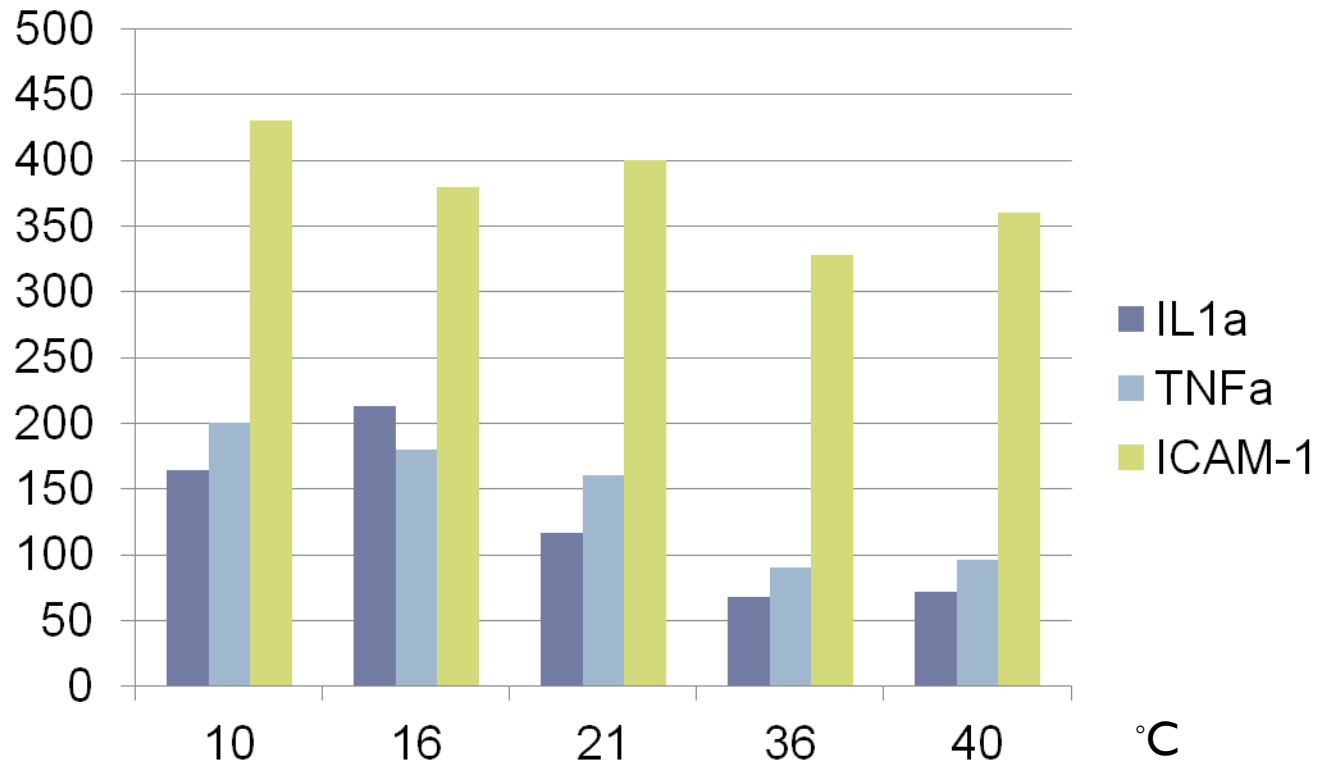
Number of activated leukocytes after fluid resuscitation with different temperatures

Szopinski J., Kusza K., Siemionow M., Cwykiel J., Ozturk C.

Microcirculatory response to fluid resuscitation with different temperature

In a rat cremaster model - data not published

Cold vs. warm Ringer's lactate infusion



Proinflammatory cytokines after fluid resuscitation with different temperatures

Szopinski J., Kusza K., Siemionow M., Cwykiel J., Ozturk C.

Microcirculatory response to fluid resuscitation with different temperature

In a rat cremaster model - data not published

WODA

- ▶ Zaangażowana w każdą funkcję organizmu

makrokrążenie

mikrokrążenie

komórki

mitochondria

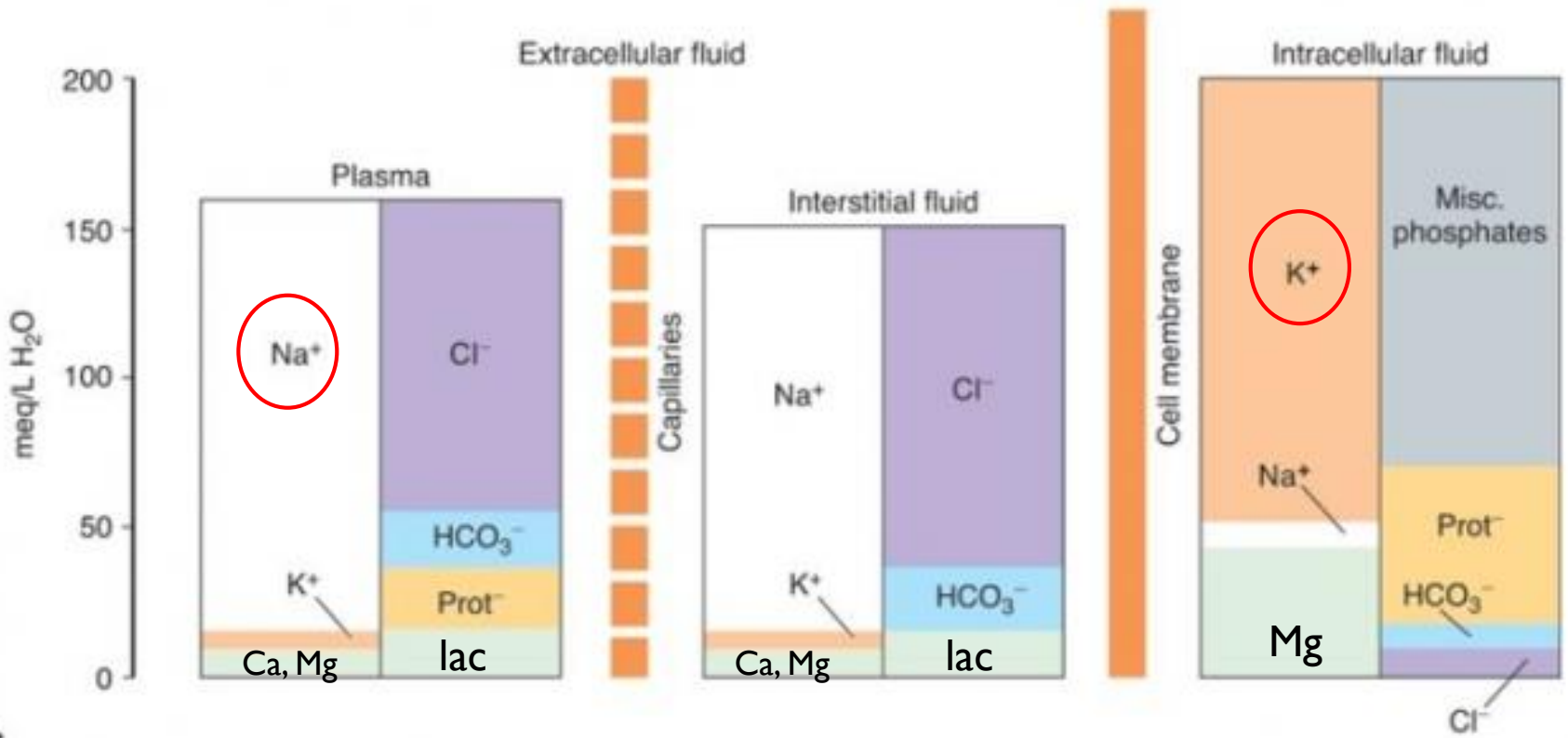
szlaki biochemiczne

Odgrywa bardzo ważną rolę w leczeniu !!!



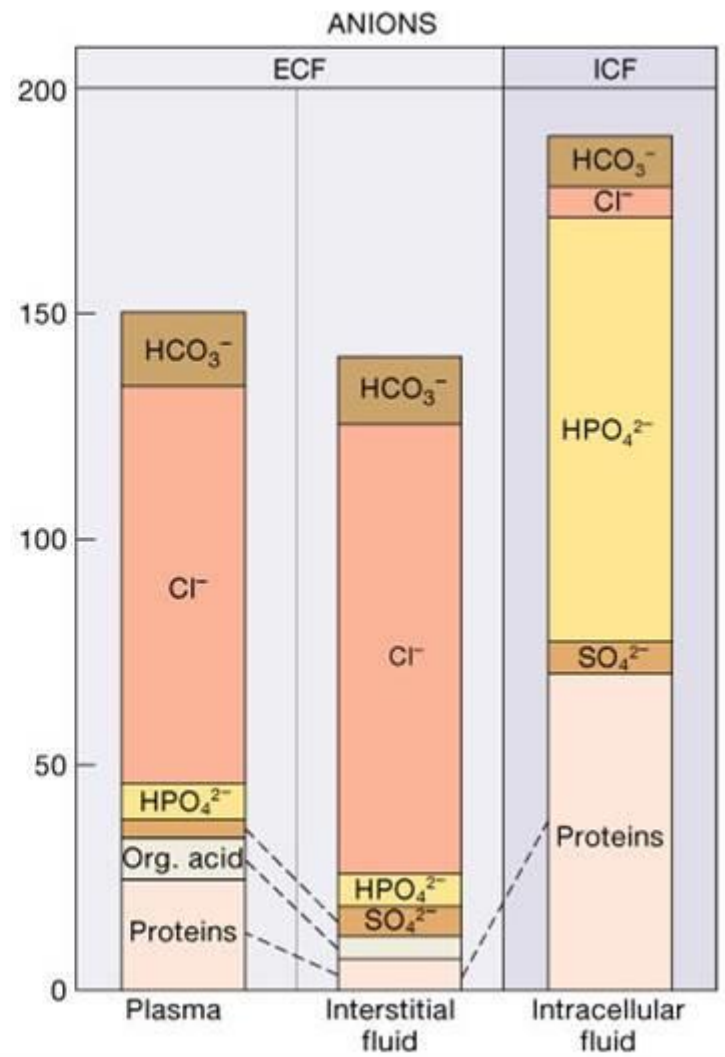
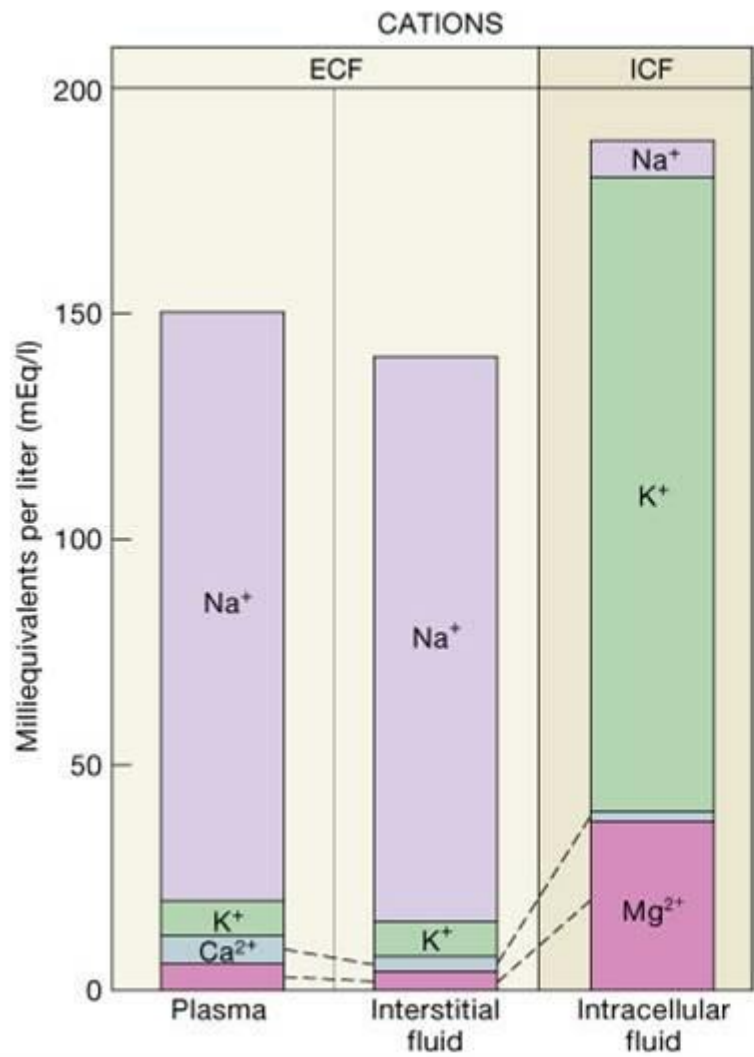
ECF

ICF



Electrochemical equilibrium





Electrochemical equilibrium



Bilans płynowy – podręcznikowy

Przyjmowanie wody ml/24h		Wydalenie wody ml/24h	
Płyny	1300	Parowanie niewidoczne	900
Pokarm stały	900	- skóra	(300)
Woda metaboliczna	300	- drogi oddechowe	(600)
		Mocz	1400
		Kał	200
RAZEM	2500	RAZEM	2500

Homo idealis a 70 kg

W.Traczyk, A.Trzebski red. *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej* t. 2 PZWL 2000

Mechanizmy kontroli objętości

- ▶ Osmolalność osocza – **289 mOsm/kg H₂O**
- ▶ Regulatory:

PRAGNIENIE

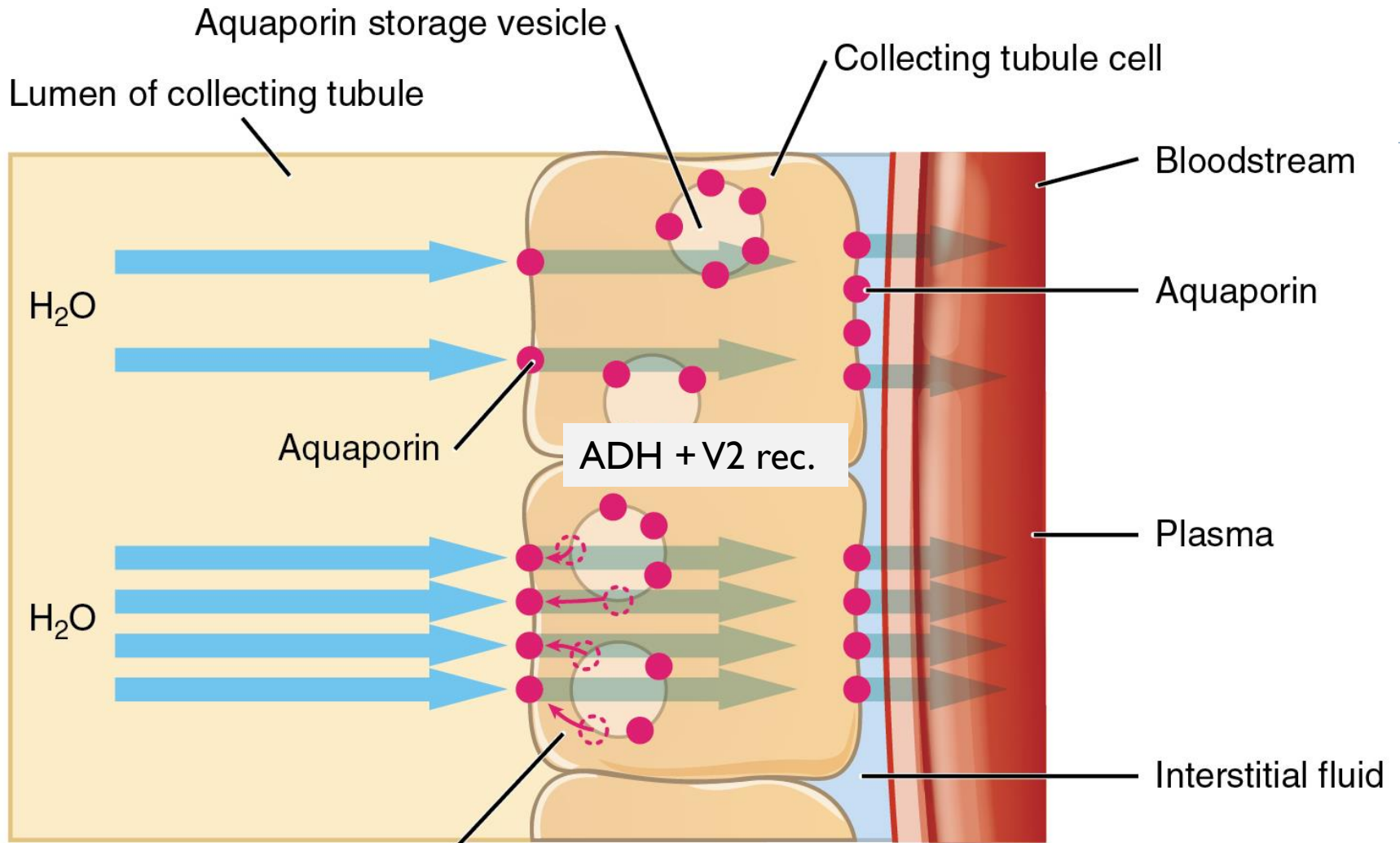
ADH (Hormon antydiuretyczny)



Osmoreceptory w jądrze nadwzrokowym i przykomorowym podwzgórza

ADH + nikotyna, eter, morfina, barbiturany, URAZ TKANEK
ADH - etanol





Aquaporin pores are inserted into cell membrane, increasing flow of H_2O out of tubule

Renal collecting ducts

▶ Drugs !V2 antagonists (vaptans)

Mechanizmy Kontroli Objętości

- ▶ **Baroreceptory:** połączenia współczulne i przywspółczulne
– mniej czułe niż osmoreceptory
 - żyła główna
 - przedsionki
 - łuk aorty (extremalne zmiany)
 - tętnice szyjne (extremalne zmiany)
 - wewnątrznerkowe (tętnica doprowadzająca)
(renina)



Mechanizmy kontroli objętości

▶ Endokrynne

renina – angiotensyna – aldosteron (RAA) system

peptyd natriuretyczny

(ANP – atrial; BNP – brain; CNP)

prostaglandyny nerkowe (PGE₂, PGI₂)

endotheliny

NO



Straty wody

▶ WIDOCZNE

mocz (800-1500 ml/24h)

stolec (0-250 ml/24h)

pot (straty minimalne oprócz gorącego klimatu)

▶ NIEWIDOCZNE

skóra

płuca 600-900 ml/24h

gorączka + 10% / 1 st. > 37.2



TERAPIA PODTRZYMUJĄCA

- ▶ Uzupełnia płyny normalnie tracone w ciągu dnia

Reguły oparte na wadze chorego

„reguła 4-2-1”

pierwsze 10 kg BW: 4 ml/kg/h

drugie 10 kg BW: 2 ml/kg/h

każde następne 10 kg BW: 1 ml/kg/h

Otyłość: ABW (Adjusted Body Weight)

$$ABW = IBW + 1/3 (\text{Actual BW} - IBW)$$



TERAPIA PODTRZYMUJĄCA

- ▶ Na dobę około 25-30 ml/kg BW
- ▶ Płyn uzupełniający – hipotoniczny
 - 5 % glukoza/ 1 + 2/ 0,9% NaCl + 20 mEq KCl
 - dostarcza odpowiednią ilość Na, K



TERAPIA UZUPEŁNIAJĄCA

- ▶ Uzupełnia istniejący niedobór płynu i dodatkowe straty
- ▶ Krystaloidy – stosowane najczęściej
- ▶ Izotoniczne lub prawie izotoniczne roztwory soli bez glukozy

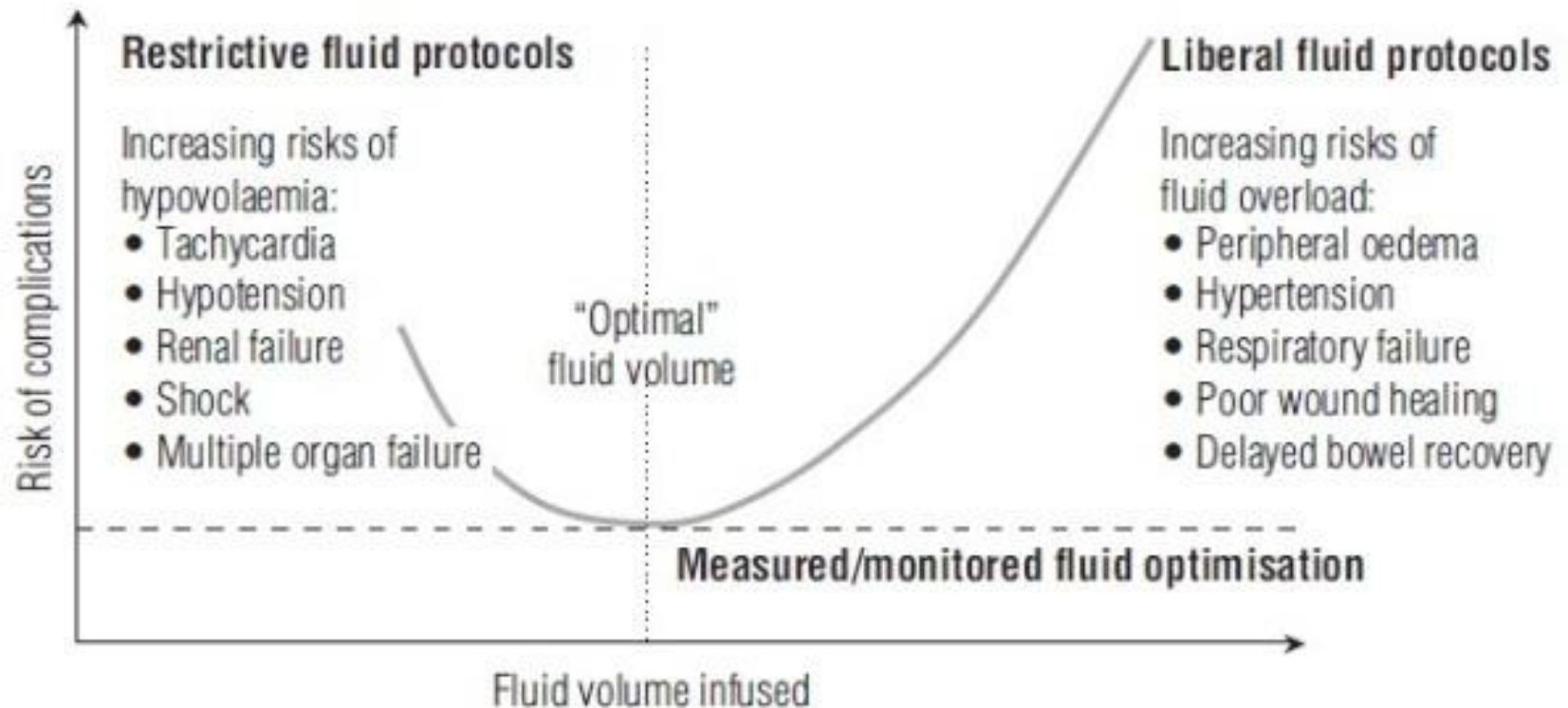
mleczan Ringera

Optylite

inne nowe roztwory soli



2 Hypothetical curve of the risk of fluid therapy-related complications versus volume of fluid infused



Woda.....

I. Faza urazu

ebb phase (shock phase) faza odpływu

- modyfikowana i kontrolowana przez anestezjologa
- po resuscytacji płynowej + własne przesunięcia płynowe
- krótka

2. Faza kataboliczna

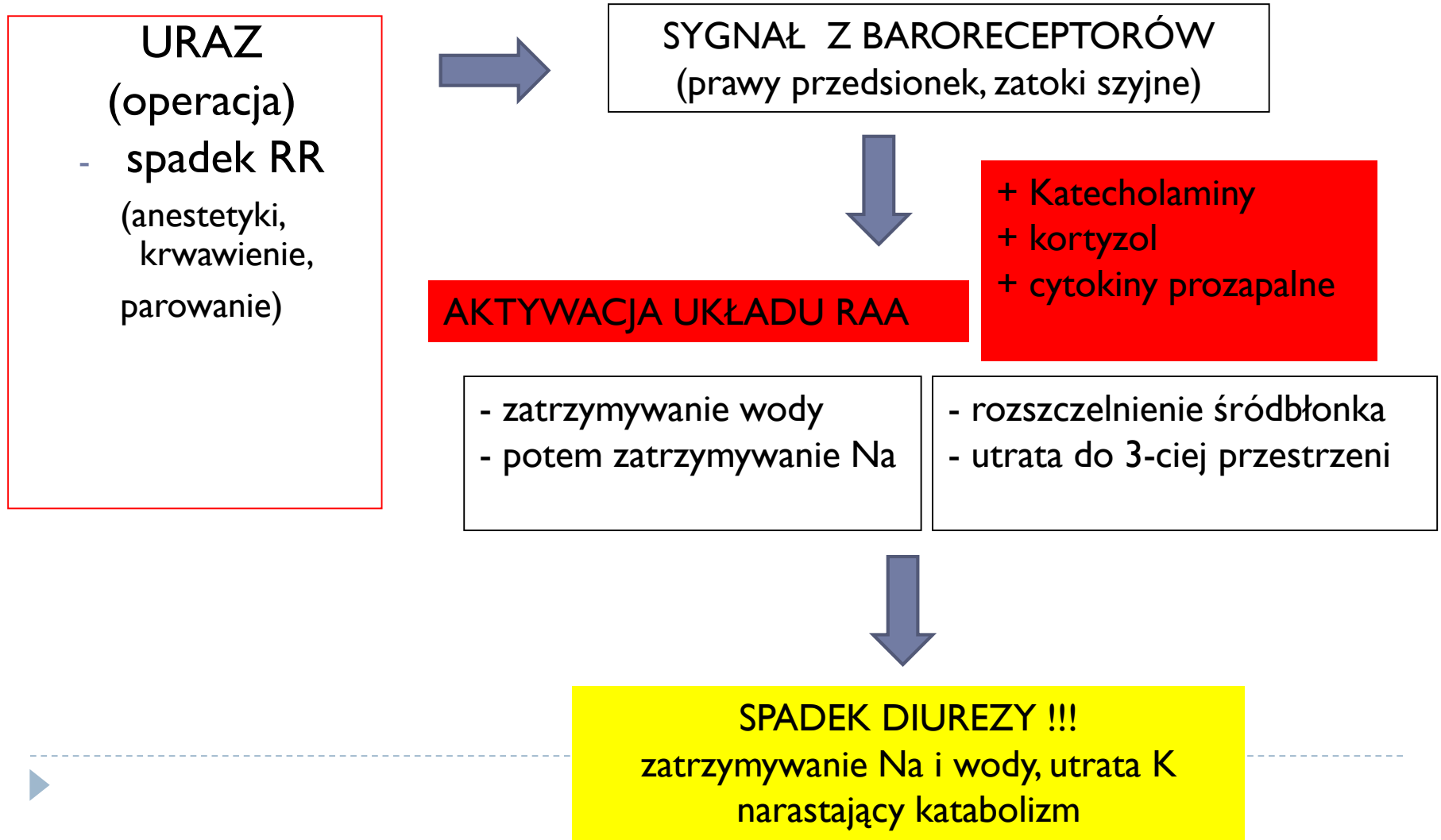
flow phase

- ↑ ADH ↑ aldosteron + utrata krwi
 - **zatrzymywanie wody, Na, ucieczka K**
 - **oliguria**
- NATURALNY MECHANIZM OCHRONY ECF**
- nie wymaga korygowania przetaczaniem płynów ani wymuszaniem diurezy

„sodium retention phase”



Zatrzymywanie wody jest normalną reakcją po urazie operacyjnym



Woda.....

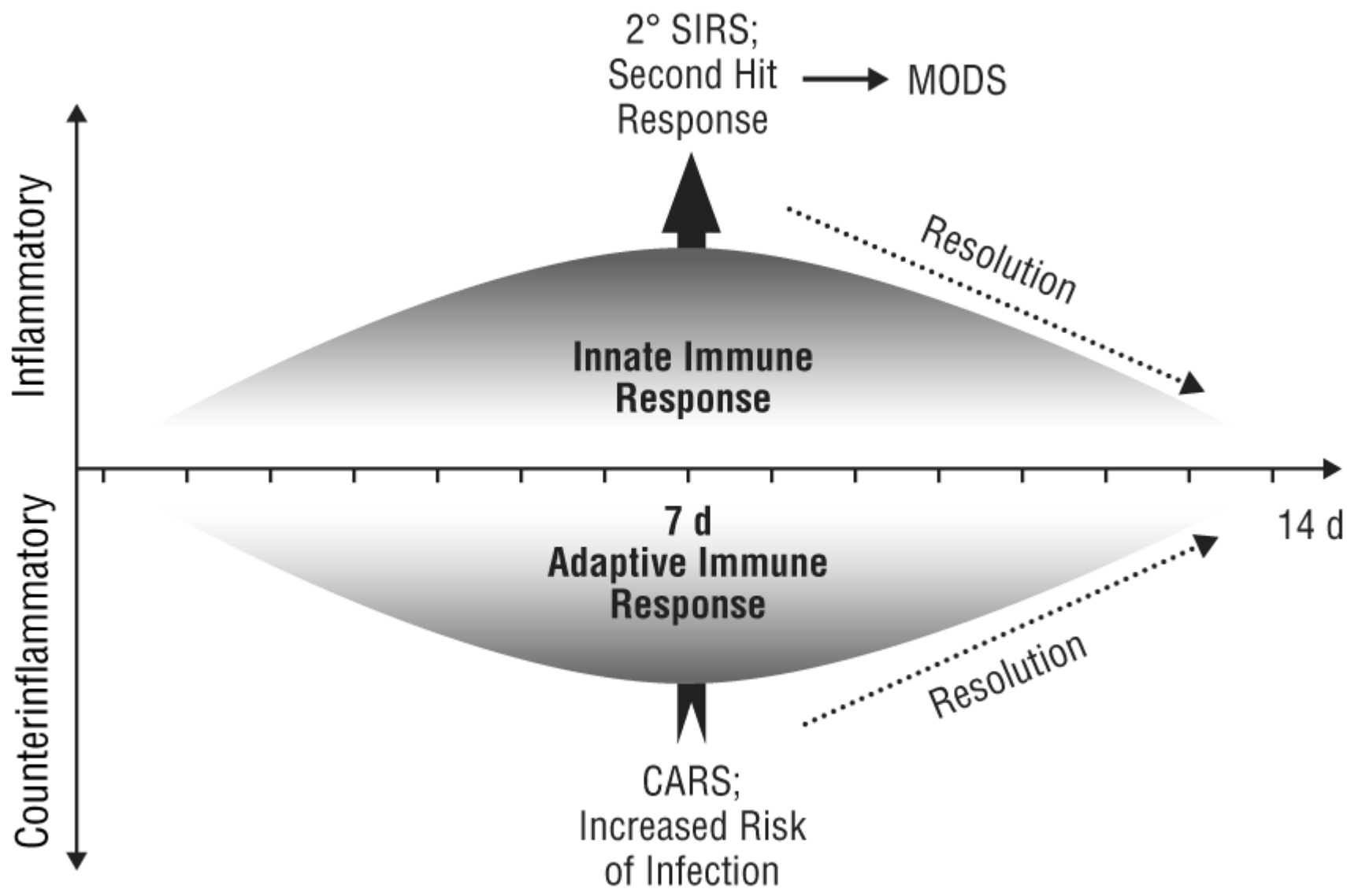
3. Faza anaboliczna

convalescent phase

- powrót anabolizmu
- powrót zdolności nerek do „korekty naszych błędów”
- uruchamia się obfita diureza

„sodium diuresis phase”





Inflammatory

Counterinflammatory

2° SIRS;
Second Hit
Response → MODS

**Innate Immune
Response**

**7 d
Adaptive Immune
Response**

CARS;
Increased Risk
of Infection

Resolution

Resolution

14 d

Ucieczka płynów

- ▶ Endotelium kapilar jest przepuszczalne dla wody
krystaloidy migrują między przestrzeniami, w
wewnątrznaczyniowej (25% ECF) w
śródmiażdżowej (75% ECF) 1:3

Z KAŻDEGO LITRA PRZETOCZONEGO
KRYSTALOIDU IV

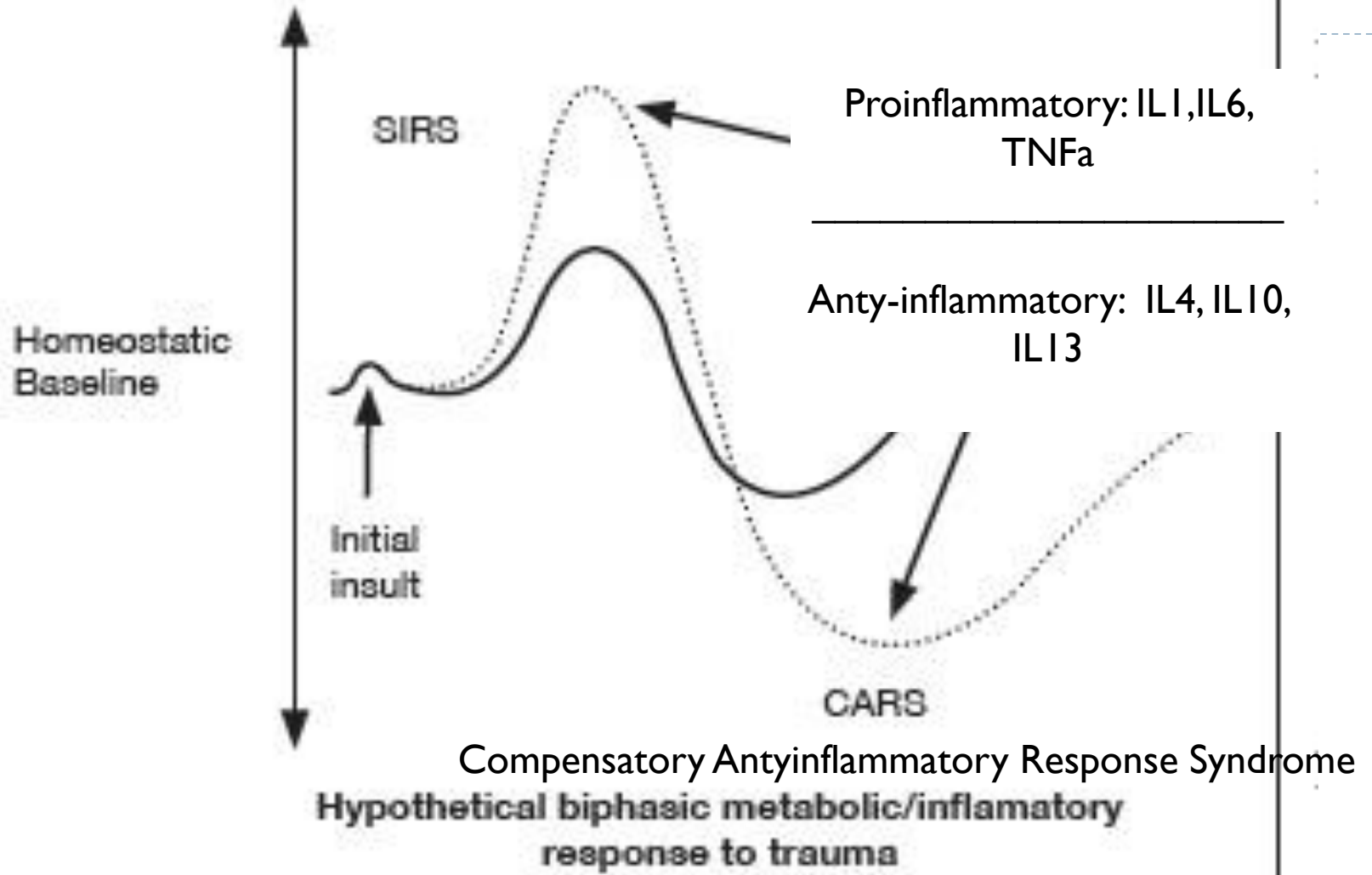
250 ml pozostaje IV

750 ml przemieszcza się do przestrzeni
śródmiażdżowej pozanaczyniowej

Krystaloidy mają własny efekt prozapalny !!!



Systemic Inflammatory Response Syndrome





NaCl 0,9 %

dreamstime.com

Sól fizjologiczna nie jest fizjologiczna

1000 ml 0,9% NaCl – 152 mmol Na !

najbardziej pro-zapalny płyn infuzyjny

- wyrzut cytokin IL1, IL6, TNFa

kwasica hiperchloremiczna

Scheingraber S, Rehm M, Sehmisch C, Finsterer U (1999) *Rapid saline infusion produces hyperchloremic acidosis in patients undergoing gynecologic surgery.* Anesthesiology 90:1265–1270

Drummer C, Gerzer R, Heer M et al (1992) *Effects of an acute saline infusion in fluid and electrolyte metabolism in humans.* Am J Physiol. 1992; 262(5 Pt 2):F744-54.

Kellum JA, Song M, Almasri E (2006) *Hyperchloremic acidosis increases circulating inflammatory molecules In experimental sepsis.* Chest 130:962– 967



Czy są lepsze płyny infuzyjne?

KRYSTALOIDY ZRÓWNOWAŻONE

Annane D. et al., Effects of fluid resuscitation with colloids vs crystalloids on mortality in critically ill patients presenting with hypovolemic shock: the CRISTAL randomized trial.

JAMA. 2013 Nov 6;310(17):1809-17.

Powell-Tuck J., Gosling P., Lobo D.N.: British consensus guidelines on intravenous fluid therapy for adults patients (GIFTASUP).

<http://www.ics.ac.uk/downloads/2009012406>

Elektrolity	Osocze mmol/l	osocze		
		Na	Cl	
Kationy				
Na ⁺	142,0			
K ⁺	5,0			
Ca ²⁺	2,5			
Mg ²⁺	1,0			
Aniony			inne	
Cl ⁻	102,0			
Wodorowęglany	26,0			
Siarczany	0,5			
Fosforany	1,1			
Kw.Organiczne	~5,0	Ca	Mg	K



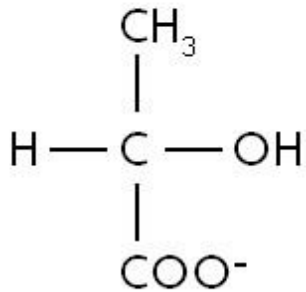
STEROFUNDIN ISO

	Osocze	Sterofundin® ISO	NaCl 0.9%
Na ⁺ (mmol/l)	142	145	154
K ⁺ (mmol/l)	4	4	-
Ca ²⁺ (mmol/l)	2.5	2.5	-
Mg ²⁺ (mmol/l)	1.25	1	-
Cl ⁻ (mmol/l)	103	127	154
HCO ₃ ⁻ (mmol/l)	24	-	-
acetate	-	24	-
malate	-	5	-
osmolarity (mOsmol/kg H ₂ O)	290	290	286

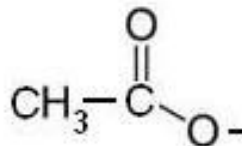
Volta C.A., Alvisi V., Campi M., et al.: Influence of different strategies of volume replacement on the activity of matrix metalloproteinases. *Anesthesiology* 2007; 106:85-91

Volta et al.: Effects of two different strategies of fluid administration on inflammatory mediators, plasma electrolytes and acid/base disorders in patients undergoing major abdominal surgery: a randomized double blind study. *Journal of Inflammation* 2013 10:29.

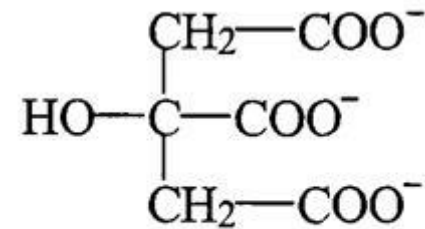
Krystaloidy zrównoważone – bufory organiczne



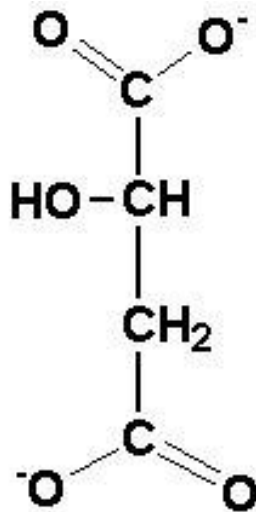
mleczan



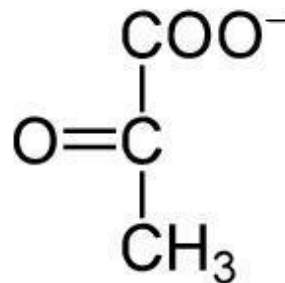
octan



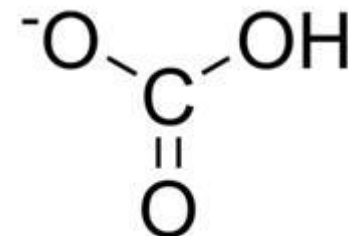
cytrynian



jabłczan



pirogronian



wodorowęglan

Koloidy

- ▶ Pozostają dłużej w łożysku naczyniowym
- ▶ Albuminy (efektywne ale drogie, traczone do przestrzeni pozanaczyniowej)
- ▶ HES (hydroxy ethyl starch) 3%, 6%, 10%
- ▶ Żelatyny



Zasada: do 2000ml (przy zapewnieniu adekwatnego wypełnienia łoyiska naczyniowego) i sodu do 150 mmol/ d

Pozwala to na:

- przyspieszenie o jeden dzień powrotu prawidłowego pasażu jelitowego (oddanie gazów i stolca)
- przyspiesza opróżnianie żołądkowe
- skrócenie średnio o 3 dni czasu hospitalizacji

K. Holte, H. Kehlet. Compensatory fluid administration for preoperative dehydration –does it improve outcome? Acta Anaesthesiol Scand 2002; 46: 1089–1093

Retchen SM, Penberthy L, Desch C i wsp. Perioperative management of colonic cancer under Medicare risk programs. Arch Intern Med 1997; 157:1878 –1884.

Lobo DN, Bostock KA, Neal KR, et al. Effect of salt and water balance on recovery of gastrointestinal function after elective colonic resection: a randomised controlled trial. Lancet 2002;359(9320):1812–1818.



Sód

- ▶ Normalne zapotrzebowanie dobowe 1-2 mEq/kg/24 h
- ▶ Główny kation zewnątrzkomórkowy
- ▶ Odwrotna zależność między Na i TBW
(kiedy TBW wzrasta, stężenie Na spada)

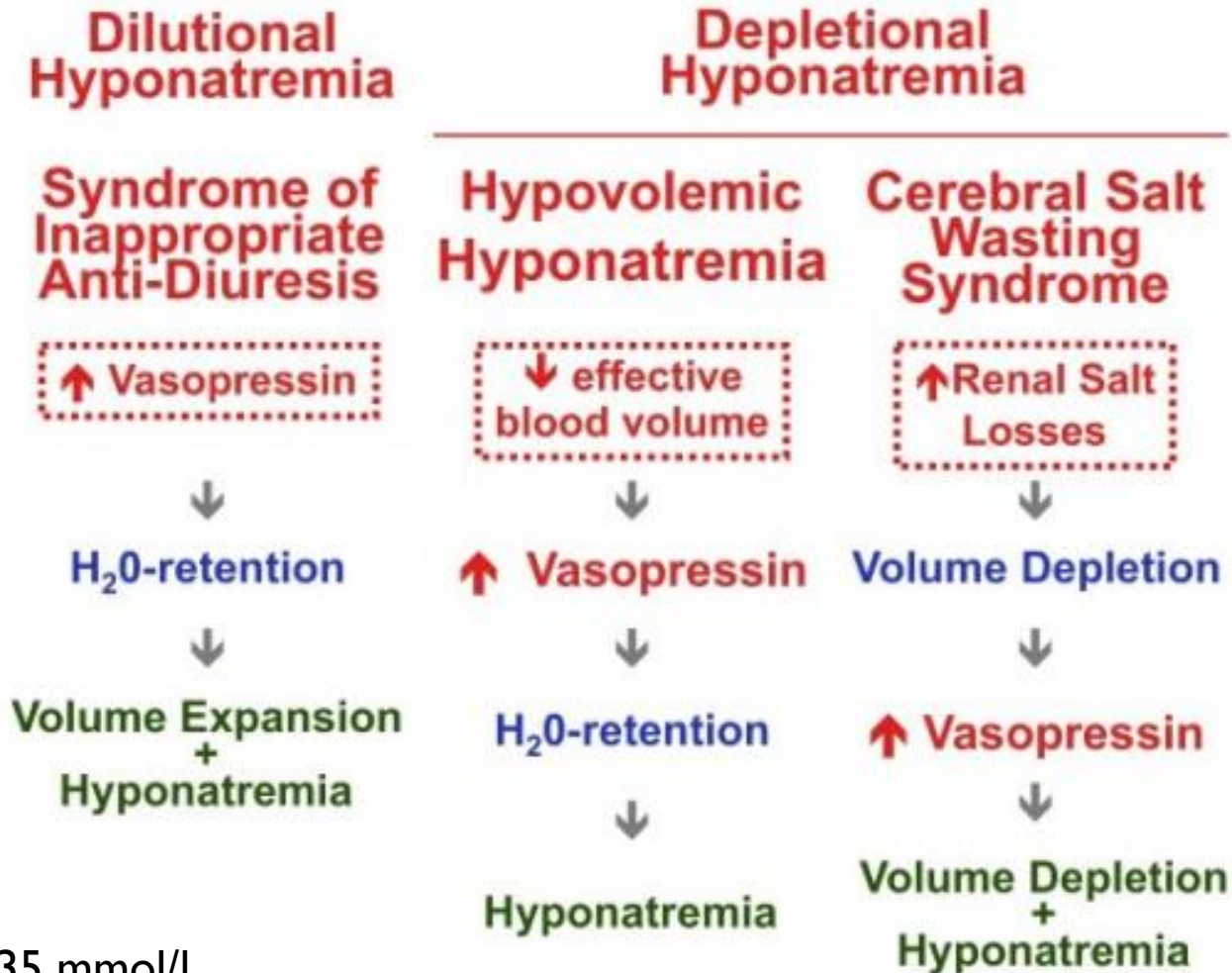


stężenie Na jest markerem TBW

Zaburzenia stężenia Na są częste w praktyce klinicznej – zwykle wtórnie do zaburzeń gospodarki WODNEJ nie sodowej !!!



Hiponatremia (częsta - 20-25% pacjentów)



Na < 135 mmol/l



Hiponatremia

- ▶ POWOLNA suplementacja !
- ▶ Jeśli zbyt szybko – osmotyczna demielinizacja mostu (**central pontine demyelination**)
- ▶ Objawy : encefalopatia, zaburzenia zachowania, zaburzenia nerwów czaszkowych, kwadriplegia
- ▶ Kto ? : alkoholicy, ciężkie niedożywienie, geriatrya, oparzenia
- ▶ 3% NaCl, powolne wlewy + diuretyki



Hipernatremia

- ▶ Stężenie Na > 145 mmol/l; 2% of pts.. 15% ICU pts.
- ▶ Śmiertelność 70 %
- ▶ Przyczyny: **Deficyt wody** lub **Nadmiar Na**
- ▶ Objawy: OUN – dezorientacja, osłabienie, apatia, śpiączka, zgon
- ▶ POWOLNY wlew wody (obrzęk mózgu !)
- ▶ Infuzje 0,9% NaCl – najczęstsza przyczyna hipernatremii (hipernatremia z alkalozą hiperchloremiczną)
- ▶ 1 litr -> 154 mmol Na + 154 mmol Cl



- ▶ Potas
- ▶ Wapń
- ▶ Magnez
- ▶ Fosforany