B5

INVAZIVNÍ MĚŘENÍ KREVNÍHO TLAKU

Monitorování krevního tlaku (NE/INVAZIVNĚ)

Neinvazivní monitorování (dlouhodobé sledování) TK lze provést opakovaným měřením manžetou. Pacientské monitory lze naprogramovat na opakované měření (nafukování/vyfukování manžety) v intervalech dle potřeby (typicky minuty až hodiny). Monitorovat TK lze i pomocí přenosného monitoru (tzv. Holter). Příliš časté nafukování manžety má své limity, protože je pro pacienty velmi obtěžující.

Invazivní (přímé, krvavé) měření tlaku je měření přímo v cévním řečišti (ev. srdci).

Význam:

i. kontinuální měření (důležité zejm. u selhávání oběhu), výstupem je křivka.

ii. Spolehlivé měření i u velmi nízkého tlaku (např. u šoku), kdy měření manžetou je obtížné

iii. Pro CVP je invazivní měření jediná přesná metoda

Princip: perkutánní zavedení katetru do cév. Sensor bývá vně těla pacienta, ve výši srdce *Proč?*. Sensor a katetr jsou propojeny hadičkou (podobná infusní) naplněnou FR, která musí být bez vzduchu *Proč?.*

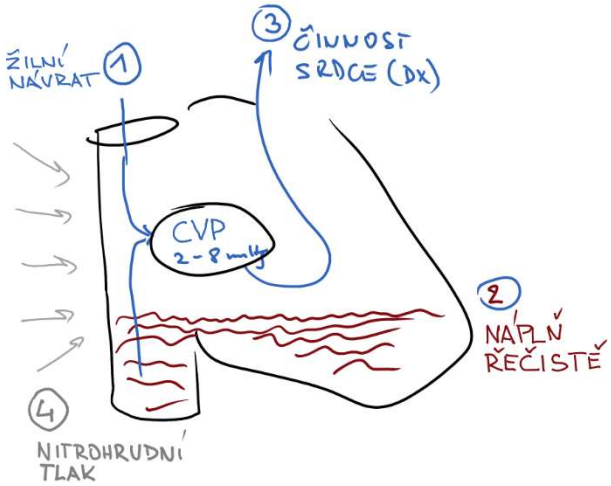
A. Centrální žilní tlak (CVP)

CVP je tlak ve velkých žilách v úrovni srdce.
CVP závisí zejména na i) žilním návratu, ii) náplni cévního řečiště krví a iii) čerpací funkci pravého srdce. iv) venotonu/tlaku hrudníku (je zde i vliv dýchání).
Význam: *Snížené* hodnoty CVP nacházíme např. při hypovolé-mii, sníženém žilním návratu, *zvýšené* při hypervolémii a stavech, při kterých vázne přečerpávání krve zejména pravým srdcem do plic.
Normální hodnoty CVP jsou kolem 2-8 mmHg.

CVP – Provedení (viz model v učebně)

Distální konec katetru je v duté žíle v úrovni srdce. Typický přístup je jugulární či subklaviální. Katetrizace centrálních žil je na řadě oddělení poměrně běžná kvůli dlouhodobé infuzní terapii, parenterální výživě apod. (JIP, operativa, ARO). Katetrizace centrálních žil nese jistá rizika (infekce, trombóza, pneumotorax při zavádění). Ta musí být menší, než očekávaný benefit.

Výstupem invazivního měření CVP je křivka na monitoru označená CVP a číselně je vyjádřená hodnota středního tlak, typicky v mmHg.



B. Arteriální krevní tlak invazivně (ABP, ART, RAD, FEM, Ao, …)

ART je tlak v arteriálním řečišti (v místě konce katetru, ale vztažený k úrovni srdce)
ART závisí typicky na: i) srdečním výdeji, ii) periferní cévní resistenci, iii) objemu cirkulujících tekutin
Význam: hodnocení hemodynamiky (perfuse), kontrola vedení léčby vasopresory
Indikace IBP: Hemodyamicky nestabilní pacienti (JIP, ARO, operace), kardiochirurgické operace
Rizika IBP. Poranění tepen, ischemie povodí, vzduchová embolie, krvácení. Rizika jsou větší než u CVP a musejí být vážena proti benefitu. U nestabilní hemodynamiky je IBP ale plně indikován.
Výstupem invazivního měření ART je křivka na monitoru označená jako ABP nebo ART nebo podle příslušné tepny, RAD, FEM, Ao, PAP,… nebo srdečního oddílu (LVP, RVP, RAP …) k tomu číselně vyjádřené hodnoty SYS/DIA (STŘ), typicky v mmHg.

Otázky-úkoly:

- *Prohlédněte si model přímého měření tlaku. Vyzkoušejte vliv změny polohy sensoru*
- *Nakreslete křivku ART (zpaměti).*
- *Proč je měření ART rizikovější než CVP?*
- *Proč musí být sensor IBP v úrovni srdce a sfygmomanometr pro NIBP ne?*
- *Jaký je rozdíl mezi křivkou IBP a SpO2 (přesněji plethysmografickou)?*
- *Co je to „nulování tlaku“? [kalibrace sensoru proti atmosféře. Atmosférický tlak je nastaven jako 0 mmHg]*
- *Hrozí koagulace/thrombosa katetru, embolie/thrombosa cév? [ANO. Abychom riziko snížili, katetr bývá trvale proplachován FR s heparinem. Hodně pomalu.]*
- *Uměli byste volně změnit hodnotu svého CVP?*

HODNOCENÍ HYDRATACE ORGANISMU, BILANCE TEKUTIN

Hydratace organizmu

Klinické projevy:

Dobrá hydratace	Nedostatečná hydratace
Vlhké sliznice	**Suché sliznice, rozpraskané rty, suchost jazyka**
Dobrý kožní turgor, vytvořená kožní řasa se po uvolnění rychle vrací do původní podoby	**Snížený kožní turgor, vytvořená kožní řasa přetrvává i po uvolnění**
Světlá moč	**Tmavá moč**
Měkká stolice	**Tuhá stolice**

Měřené parametry: Bilance tekutin (pozitivní/negativní/vyrovnaná), CVP, koncentrace metabolitů v krvi a moči

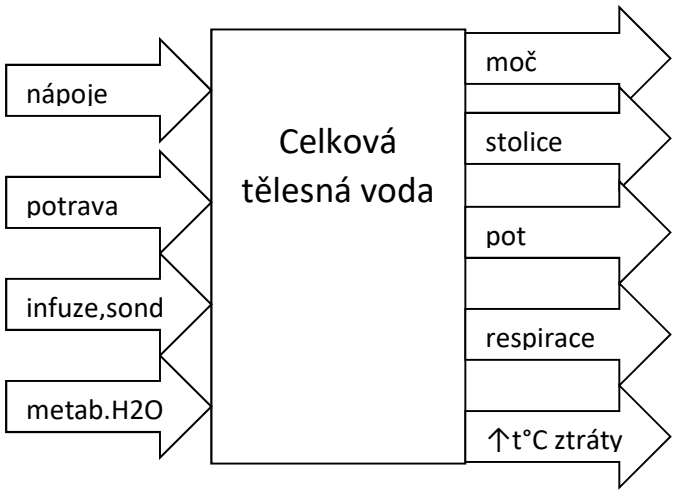
Bilance tekutin

Přírůstek tekutin:

a. Nápoje
b. Potrava
c. (infuze, proplachy sond…)
d. Metabolická voda 250 - 500 ml a více podle metabolismu, velkosti jedince

Ztráty tekupin u zdravého jedince:

a. Močí: podle bilance 500ml - 20l
b. Stolicí podle složení a množství stravy 60-80% hmotnosti stolice
c. Potem podle termoregulačních potřeb/hydratace/hormonální a nervové regulace 250ml – 20l
d. Respirací podle velikosti jedince a tělesné zátěže 250 -500 ml a více
e. Je-li zvýšená periferní tělesná teplota, pak na každý °C nad 36.5°C odhadujeme ztrátu 200 ml H_2O/24 h



Normální diuréza

Množství vytvořené moči/24 hodin

Norm. hodnoty: fyziologická diuréza >500 ml/d podle bilance tekutin a solutů (teoreticky cca do 20 l)

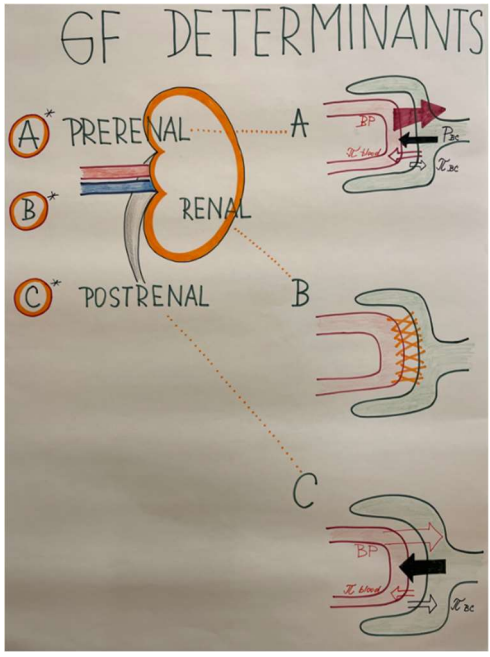
- oligurie < 500 ml/d

- polyurie > 2500 ml /d

Tato kritéria používáme pro zhodnocení bilance tekutin a jako jednu z komponent hodnocení renálních funkcí vedle rozboru krve a stanovení metabolitů, které se vylučují močí, chemického rozboru moči nebo funkčních zkoušek ledvin.

DETERMINANTY GLOMERULÁRNÍ FILTRACE

Glomerulární filtrace je proces, kterým se krev očišťuje od cizorodých látek a metabolických produktů. Její důležitost je enormní. Průtok krve ledvinou je čtvrtinou srdečního výdeje, filtrační frakce je pětinou protékající plazmy. Zastavení glomerulární filtrace by brzy vedlo k úmrtí metabolickým rozvratem. Proto je důležité její poruchu včas rozpoznat.



Je-li omezení glomerulární filtrace významné a déletrvající, projeví se jasně vzestupem látek, které ledviny vylučují (urea, kreatinin, draslík…) v krvi.

normální hodnoty v krvi:

urea: 2-8 mmol/l
kreatinin: 50-100 µmol/l
kalium: 3.8-5.4 mmol/l

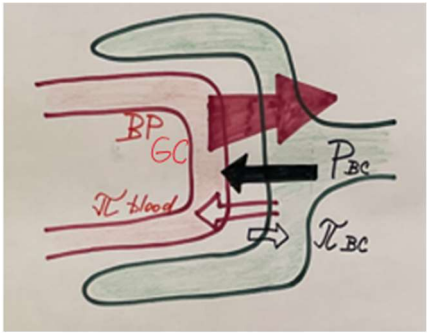
Je-li zánik glomerulární filtrace postupný (během let), koncentrace urey a kreatininu zůstávají dlouho normální a k odhalení poklesu glomerulární filtrace je potřeba užít jiných metod (funkční zkoušky ledvin, izotopové vyšetření, viz simulované úlohy a další studium).

Fyziologická glomerulární filtrace je dána třemi podmínkami:

A. Prerenální: dobrou funkcí oběhu
B. Renální: fyziologickou filtrační membránou, funkčním renálním parenchymem
C. Postrenální: volnými odvodnými cestami močovými

ad A: Prerenální podmínky glomerulární filtrace, princip tvorby primární moči

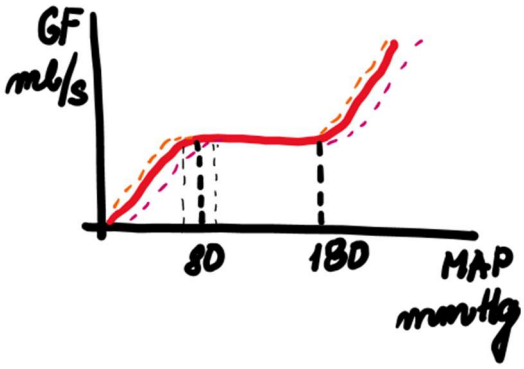
Tvorba moči v ledvině je důsledkem efektivního filtračního tlaku (GFP). Filtrační tlak lze určit jako rozdíl tlaků, které působí v kapilárách glomerulů směrem do Bowmanova pouzdra (lze zjednodušit na tlak krve BP_{GC} = 60 mmHg, onkotický tlak glomerulárního filtrátu π_{BC} lze pro nízký obsah bílkovin zanedbat) a tlaků působících směrem do lumen glomerulárních kapilár (onkotický tlak plazmatických bílkovin zahuštěných o odfiltrovanou vodu π_{blood} =29 mmHg + hydrostatický tlak v Bowmanově pouzdře P_{BC} = 15 mmHg).



$GFP = BP_{GC} - P_{BC} + \pi_{BC} - \pi_{blood}$

GFP = 60 – 15 -29 = 16 mmHg

Tlak a průtok krve ledvinou je řízen převážně lokálními mechanismy tak, aby byla filtrace při výkyvech systémového tlaku přibližně konstantní.



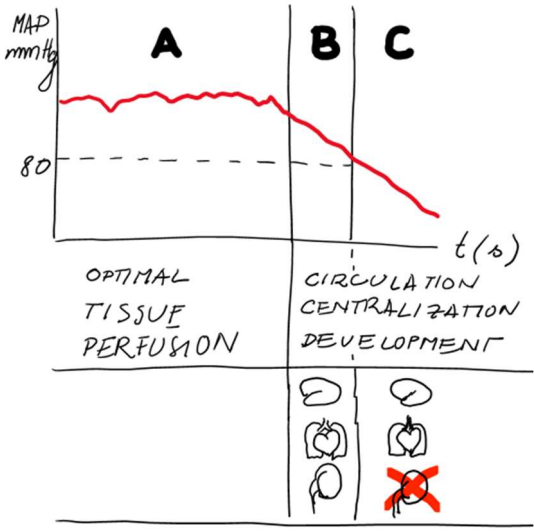
To platí v rozsahu středního tlaku v arteriálním řečišti od 80 do 180 mmHg. U osob s dlouhodobě nižším tlakem je rozmezí mírně posunuto směrem k nižším hodnotám u osob s vyšším tlakem směrem vzhůru.

Poklesne-li tlak krve mimo rozmezí regulace, klesá filtrační tlak a s ním tvorba primární, potažmo i definitivní moči.

Hodinová diuréza

Jelikož perfusní tlak v ledvině určuje průtok krve ledvinou a glomerulární filtraci a glomerulární filtrace potažmo ovlivňuje diurézu, monitorování hodinové diurézy je funkčním monitorováním perfuze ledvin.

Protože ledvina je z hlediska distribuce průtoku krve organismem privilegovaným orgánem (větší prioritu má jenom mozek a srdce), je sledování perfuze ledviny zároveň ukazatelem prokrvení ostatních méně preferovaných oblastí. Klesá-li aktuální produkce moči z důvodu omezeného perfuzního tlaku v ledvině, je průtok periferními tkáněmi zřejmě ještě horší.



Hodinová diuréza je tedy nepřímým monitorováním oběhu.

Použijeme-li sběrný sáček s jemnou stupnicí a možností sbírat odděleně porce moči v průběhu dne, můžeme nepřímo sledovat aktuální perfuzní poměry v ledvině po terapeutickém zásahu (zavodnění pacienta, zvýšení tlaku v řečišti tonizací arteriolárních svěračů, ovlivnění srdečního výdeje, snížení patologicky zvýšeného CVP při špatné čerpací funkci srdce….).

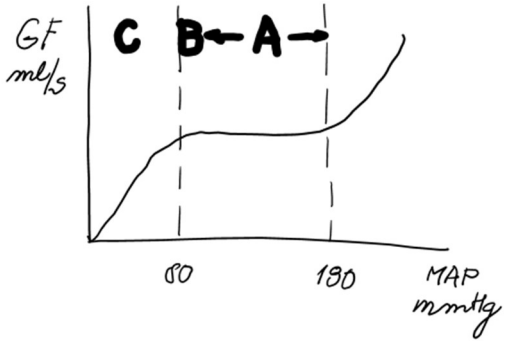
Referenční hodnota hodinové diurézy:

oligurie: <0.5 ml/kg/h

Pozor, kritéria ani účel hodnocení hodinové diurézy se nekryjí s hodnocením celodenní diurézy.

Slouží k rozpoznání aktuální změny produkce moči za současné změny parametrů oběhu.

Graficky vyjádřeno jde o funkční kontrolu, zda je stav oběhu pacienta ještě v pásmu AB obrázku nebo je již mimo tuto oblast v pásmu C. Doplnění znalosti hodnoty krevního tlaku o toto funkční ověření je důležité z více důvodů. Jednak může být patologická situace složitá (například hodnota středního arteriálního tlaku je dostatečná, ale současně je vyšší venózní tlak atd., viz další studium) a jednak je rozsah regulačního rozmezí GF trochu individuální.



Obr.: Rozvoj centralizace oběhu při postupném poklesu tlaku krve, vztah k regulaci glomerulární filtrace

Obecně nelze z množství definitivní moči spolehlivě usuzovat na přesné množství primárního filtrátu. Opomněli bychom fakultativní resorpční procesy, které jsou

závislé na hydrataci a osmotické náloži organismu. V situaci selhávajícího oběhu si toto zjednodušení dovolujeme protože pozorujeme, že diuréza klesá současně s krevním tlakem aniž by současně klesala hydratace nebo osmotická nálož.

Ilustrační příklady:

Příklad 1:

A: Produkce definitivní moči u osoby adaptované na nízký příjem tekutin (její ledviny mají vysokou koncentrační schopnost) může být v přepočtu i tak málo jako 0.25 ml/kg/h. To může být fyziologické, má-li osoba normální tlak krve a je schopna vyloučit celou denní osmotickou nálož.

B: Naopak to bude velmi nefyziologické, jedná-li se o dobře hydratovanou osobu s kriticky nízkým krevním tlakem.

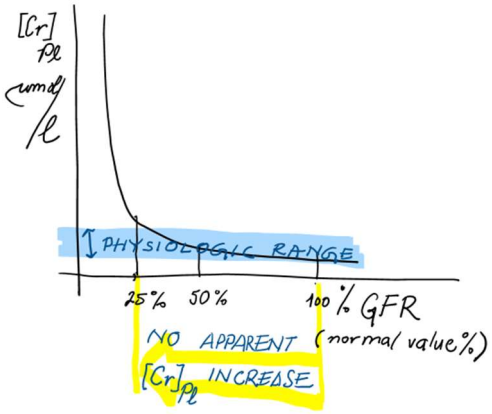
Příklad 2:

A: Zdravý 20-letý jedinec o hmotnosti 80 kg se octne na určitou dobu v nouzi o vodu. Osmotická nálož, kterou potřebuje vyloučit za den je 600 mosmol a koncentrační schopnost jeho ledvin dosahuje hodnoty 1200 mosmol/l. V jakém objemu definitivní moči osmotickou nálož vyloučí? je to fyziologické?

B: Stejný zdravý jedinec, tentokrát v podmínkách optimální hydratace utrpí úraz s velkou krevní ztrátou. Jeho hodnota středního tlaku krve je 60 mmHg. Za hodinu vyprodukuje 20 ml moči. Osmolarita této moči je mezi 350 a 600 mosmol/l. Porovnejte množství vyprodukované moči s normou pro hodinovou diurézu? Jedná se o sníženou hodnotu? Pokud by stejný objem moči vyloučil v každou následující hodinu, kolik by to bylo za 24 hodin? Bylo by to fyziologické? Proč?

Ad B: Renální podmínky glomerulární filtrace (GF)

Existuje skupina onemocnění, které vedou k zhoršené propustnosti glomerulo-kapilární membrány nebo postupnému zániku renálního parenchymu (viz další studium). Jak už bylo řečeno výše, zprvu není pokles GF patrný vzestupem urey a kreatininu v plasmě. Zjevným se stane až při poklesu GF na 1/3 -1/4 původní hodnoty a to už bývá na léčbu pozdě viz **Obr.** Ve finálních stádiích takových chorob jedinec neprodukuje žádnou moč a je plně odkázán na dialýzu. Proto je nutné při podezření na renální onemocnění aktivně zjišťovat hodnotu glomerulární filtrace (tj. objemu primárního filtrátu, který se vytvoří za časovou jednotku) a včas zahájit léčbu.



Referenční hodnota GFR (glomerular filtration rate):

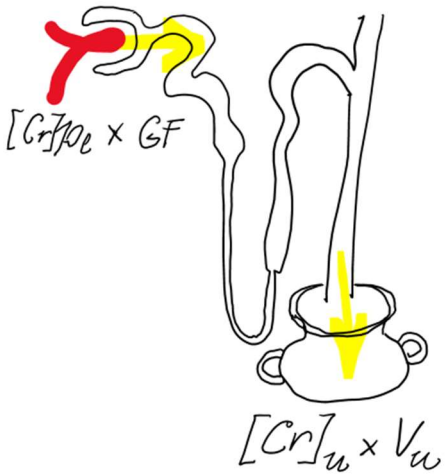
závisí na pohlaví, věku a tělesné konstituci

Obecně 180 l/24 hodin, 1.5-2.2 ml/s

Tuto hodnotu lze změřit nebo odhadnout.

Měření je nutné všude tam, kde hodně záleží na přesnosti/spolehlivosti výsledku (viz další studium).

K měření GF chceme použít látku, která se volně filtruje do primární moči, neresorbuje se ani nesecernuje. Například exogenní inulin, s jistým zjednodušením také endogenní kreatinin.



Předpokládejme že veškeré množství kreatininu, které se přefiltruje přes glomerulo-kapilární membránu se objeví v moči. Viz obrázek:

$[Cr]_{Pl}$ koncentrace kreatininu v plazmě

GF objem plasmy přefiltrované do Bowmanova pouzdra za den (= objem primárního fitrátu/d)

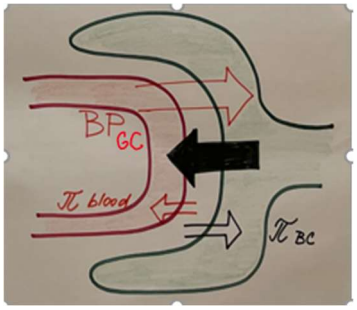
$[Cr]_U$ koncentrace kreatininu v moči

V_U objem moči za celý den

$[Cr]_{Pl} \times GF = [Cr]_U \times V_U$

V klinické praxi se glomerulární filtace nestanovuje výše uvedeným postupem, ale odhaduje z hodnoty koncentrace kreatininu v plazmě dosazením do vztahu, který zohledňuje pohlaví, věk a tělesnou konstituci. Důvodem je obtížnost měření: je potřeba provést skutečně sběr moči za 24 hodin, což se často selháním/opomenutím nepodaří. Dále je to fakt že s ubývající filtrační schopností ledvin se kreatinnin vylučuje nejen filtrací, ale take sekrecí, takže je změřená GF nadhodnocená oproti skutečné. K přesnému měření je nutné podat inulin, což se prakticky ujalo jen ve specifických indikacích. Další možností stanovení glomerulární fitrace je isotopové vyšetření (viz další studium).

Ad C: Postrenální podmínky glomerulární filtrace (GF)



Obstrukce močových cest je v klinické praxi velmi častá.
Organismus je ohrožen dvěma skupinami problémů:
1: lokálním nárůstem tlaku tubulární tekutiny nad obstrukcí

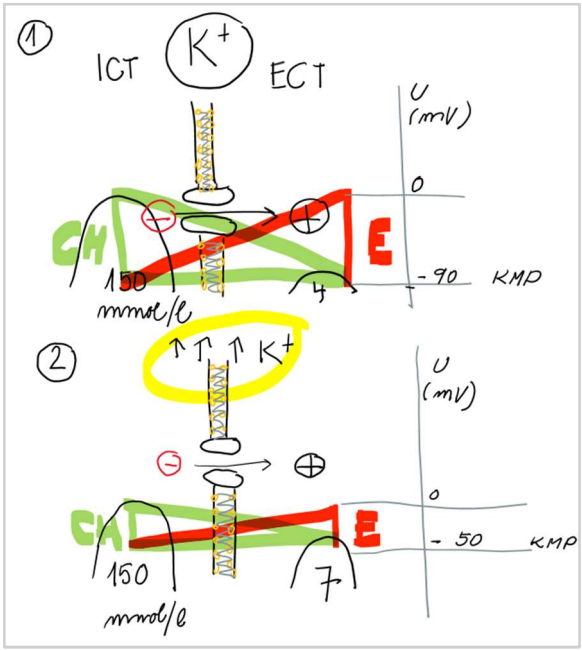
2: hromaděním látek, které nemohou být odstraněny z krve

ad 1: Viz obr: Přetane-li být odváděna moč, ke glomerulární filtraci bude docházet tak dlouho, dokud se součet onkotického tlaku v kapilárách glomerulu π_{blood} a tlak v Bowmanově pouzdře P_{BC} (tubulárním systému nefronu) nevyrovná hydrostatickému tlaku v glomerulárních kapilárách BP_{GC}. Takto naplněný tubulární systém povede k útlaku sekundární kapilární sítě ledviny, kde je fyziologicky nízký tlak (pod hodnotou onkotického tlaku plasmy, funkce řečiště je resorpční). Tento stav ohrožuje ledvinný parenchym ischémií a musí se rychle řešit odvodem moči močovým katétrem nebo suprapubickou punkcí.

ad 2: Kompletní obstrukce močových cest povede k úplné zástavě glomerulární filtrace. Ta se při krevním rozboru projeví nárůstem kreatininu, urey, draslíku, neprchavých kyselin a dalších látek vylučovaných převážně močí. Problém působí i retence vody.

Hyperkalémie

Ledviny jsou hlavním orgánem zodpovědných za vylučování draslíku přijatého potravou. Zatímco intracelulární koncentrace K+ je vysoká, 150 mmol/l, extracelulární koncentrace je podstatně nižší 3.8 – 5.4 mmol/l. Koncentrační gradient draslíku napříč plazmatickou membránou buněk je základem klidového membránového napětí. Je tomu tak proto, že je pro něj membrána většiny buněk zdaleka nejvíce propustná oproti ostatním iontům.



Popis obrázku:

ad1: Koncentrační gradient vede k toku kaliových iontů ven z buňky. Opustí-li kladná částice IC prostor, zbyde po ní relativní minus. Vznikne tak elektrická síla, která brání přestupu dalšího K+ do ECT. Této síle se říká elektrický gradient. Tok iontů K+ se zastaví, když je velikost chemického a elektrického gradientu stejná. Velikost elektrické síly se rovná velikosti membránového napětí, které bychom na membráně naměřily. Vezmeme-li v úvahu všechny ionty, které mohou výsledné napětí na membráně ovlivnit, hovoříme o klidovém membránovém potenciálu

Změna napětí na membráně při vzestupu koncentrace K+ v extracelulární tekutině. ICT/ECT: intra/extra-celulární tekutina, CH: chemický gradient, E: elektrický gradient, KMP: klidový membránový potenciál

ad2: Zvýšením koncentrace K+ v ECT dojde ke snížení chemického gradientu pro K+, menší chemická síla bude zastavena menší elektrickou silou, proto výsledný KMP bud blíže k nule.

Důsledky této změny mohou být enormní zejména u buněk, jejichž funkce závisí na správné hodnotě membránového napětí. To se týká zejména generátorů srdečního rytmu. Během hyperkalémie můžeme očekávat nejrůznější poruchy rytmu, typicky však bradykardii až srdeční zástavu, viz další studium.