

učební texty Univerzity Karlovy

FYZIOLOGIE KRVE A ZÁKLADY IMUNITY

Magdaléna Chottová Dvořáková
Eliška Mistrová

Fyziologie krve a základy imunity

Magdaléna Chottová Dvořáková

Eliška Mistrová

Recenzovali:

prof. MUDr. Pavel Sobotka, DrSc.

MUDr. Zdeňka Hajšmanová

Vydala Univerzita Karlova

Nakladatelství Karolinum

jako učební text pro Lékařskou fakultu UK v Plzni

Praha 2018

Redakce Jana Jindrová

Grafická úprava Jan Šerých

Sazba DTP Nakladatelství Karolinum

Vydání první

© Univerzita Karlova, 2018

Text © Magdaléna Chottová Dvořáková, Eliška Mistrová, 2018

Illustrations © Lenka Jetlebová, Jaroslava Hesová, Magdaléna Chottová Dvořáková,
Eliška Mistrová, 2018

ISBN 978-80-246-3833-1

ISBN 978-80-246-3864-5 (pdf)



Univerzita Karlova
Nakladatelství Karolinum

www.karolinum.cz
ebooks@karolinum.cz

OBSAH

PŘEDMLUVA	7
ÚVOD	9
1. FUNKCE A VLASTNOSTI KRVE (<i>M. Chottová Dvořáková</i>)	11
1.1 Funkce krve	11
1.2 Objem krve	12
1.3 Hematokrit	12
1.4 Viskozita krve	13
1.5 Rychlost sedimentace erytrocytů	15
2. KREVNÍ PLAZMA (<i>M. Chottová Dvořáková</i>)	16
2.1 Anorganické složky plazmy	16
2.2 Organické složky plazmy	19
2.2.1 Plazmatické bílkoviny	19
2.2.2 Nebílkovinný dusík	21
2.2.3 Glukóza	21
2.2.4 Lipidy	22
3. ČERVENÉ KRVINKY (<i>M. Chottová Dvořáková</i>)	24
3.1 Struktura a počet červených krvinek	24
3.2 Metabolismus červených krvinek	29
3.3 Tvorba červených krvinek	30
3.4 Zánik červených krvinek	36
3.5 Funkce červených krvinek	41
4. KREVNÍ DESTIČKY (<i>M. Chottová Dvořáková</i>)	43
4.1 Struktura a počet krevních destiček	43
4.2 Tvorba krevních destiček	45
4.3 Funkce krevních destiček	46
5. BÍLÉ KRVINKY (<i>M. Chottová Dvořáková, E. Mistrová</i>)	47
5.1 Struktura a počet bílých krvinek	47
5.2 Tvorba bílých krvinek	48
5.3 Funkce bílých krvinek	48
5.3.1 Neutrofilní granulocyty	48
5.3.2 Eozinofilní granulocyty	50
5.3.3 Bazofilní granulocyty	50
5.3.4 Lymfocyty	50
5.3.5 Monocyty	51

6. DALŠÍ BUŇKY (<i>M. Chottová Dvořáková, E. Mistrová</i>)	53
6.1 Žírné buňky	53
6.2 Endotelové buňky	53
6.2.1 Struktura endotelových buněk	54
6.2.2 Funkce endotelových buněk	54
7. KREVŇÍ SKUPINY (<i>M. Chottová Dvořáková</i>)	57
7.1 Antigeny krevních skupin	57
7.2 Skupinové systémy erytrocytů	59
7.2.1 Systém ABO	59
7.2.2 Systém Rh	62
7.2.3 Další skupinové systémy	64
7.3 Antigeny ostatních krevních elementů	64
7.4 Krevní transfuze	65
7.4.1 Stanovení krevních skupin	65
7.4.2 Screening nepravidelných antierytrocytových protilátek	67
7.4.3 Test kompatibility	68
7.4.4 Provedení vlastní transfuze	68
8. HEMOSTÁZA (<i>M. Chottová Dvořáková</i>)	70
8.1 Plazmatické faktory	70
8.1.1 Koagulační faktory	70
8.1.2 Přírodní inhibitory krevního srážení	74
8.1.3 Fibrinolytické faktory	75
8.2 Fáze hemostázy	75
8.2.1 Vazokonstrikce	75
8.2.2 Tvorba primární destičkové zátky	75
8.2.3 Hemokoagulace	79
8.2.4 Odstranění nepotřebného trombu	83
8.3 Procesy bránící vzniku či propagaci koagula	84
9. SLEZINA (<i>E. Mistrová, M. Chottová Dvořáková</i>)	86
10. LYMFATICKÝ SYSTÉM (<i>E. Mistrová</i>)	89
10.1 Lymfatická uzlina	90
10.2 Další lymfatické orgány	91
11. FYZIOLOGIE IMUNITNÍHO SYSTÉMU (<i>E. Mistrová</i>)	92
11.1 Nespecifická a specifická imunita	93
11.2 Imunokompetentní buňky	93
11.2.1 Fagocytóza	94
11.2.2 Oponizace	97
11.3 Molekuly imunitního systému	98
11.3.1 Cytokiny	98
11.3.2 Komplement	99
11.3.3 Protilátky	99
11.4 Aktivní a pasivní imunizace	102
11.5 Primární a sekundární imunitní odpověď	102
POUŽITÁ LITERATURA	104
SOUHRN NEJDŮLEŽITĚJŠÍCH LABORATORNÍCH HODNOT	105
SEZNAM ZKRATEK	107

PŘEDMLUVA

Předložená skripta jsou určena především studentům 2. ročníku Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Plzni. Text obsahuje základní informace o fyziologii krve a imunitního systému v rozsahu požadavků ke zkoušce z fyziologie. Navíc jsou do textu vloženy pasáže tištěné petitem, které detailněji vysvětlují konkrétní jev či popisují spojitost fyziologických procesů s procesy patologickými. Věříme, že tyto pasáže studentům pomohou některé jevy lépe pochopit a zároveň pocítit význam fyziologie pro klinické obory. U zkoušky však nebudou znalosti těchto částí textu vyžadovány.

Děkujeme MUDr. Zdeňce Hajšmanové z Ústavu klinické biochemie a hematologie Fakultní nemocnice v Plzni a prof. MUDr. Pavlu Sobotkovi, DrSc., z Ústavu patologické fyziologie Lékařské fakulty UK v Plzni za recenzi a velmi cenné rady při přípravě rukopisu. Dále bychom chtěly poděkovat také MUDr. Martinu Liškovi, Ph.D., z Ústavu imunologie a alergologie Lékařské fakulty UK v Plzni za odborné rady praktikujícího imunologa. Náš dík patří i studentce Lékařské fakulty UK v Plzni Tereze Šmrhové za cenné postřehy z pohledu uživatele.

ÚVOD

Krev je tekutá mezodermová tkáň tvořená plazmou a krevními elementy, mezi které řadíme červené krvinky (erytrocyty), bílé krvinky (leukocyty) a krevní destičky (trombocyty). Výsledná tekutina je červená, vazká a neprůhledná.

Krev proudí všemi orgány a tkáněmi v uzavřené soustavě cév a zajišťuje tak výživu a vzájemné spojení všech buněk organismu. Složení krve je relativně stálé díky dynamické rovnováze mezi přívodem a odvodem látek. Na udržení tohoto stavu se podílí řada orgánů, např. játra, plíce, ledviny, trávicí ústrojí, žlázy s vnitřní sekrecí, kostní dřeň.

1. FUNKCE A VLASTNOSTI KRVE

1.1 FUNKCE KRVE

V organismu plní krev několik funkcí, které lze rozdělit do tří kategorií – transportní, regulační a obranné.

Transportní funkce

- Přenos dýchacích plynů – kyslíku (O_2) a oxidu uhličitého (CO_2), a to fyzikálně rozpuštěných v plazmě a chemicky vázaných na hemoglobin (Hb) erytrocytů. Kyslík je transportován z plic do tkání a CO_2 z tkání do plic.
- Přenos živin z trávicího ústrojí nebo zásobních orgánů do cílových tkání. V trávicím traktu jsou kromě živin a vitamínů vstřebávány i další látky (např. léky, toxiny), které krev následně transportuje do jater a případně dál do organismu.
- Přenos odpadních produktů metabolismu buněk z tkání do jater a ledvin.
- Přenos hormonů z místa jejich vzniku, tj. žláz s vnitřní sekrecí, k cílovým buňkám.
- Přenos tepla z teplejších částí organismu do méně teplých, nejčastěji tedy z metabolicky aktivnějších orgánů dutiny břišní do kůže, odkud je teplo vydáváno do zevního prostředí.

Regulační funkce

- Udržování pH tělesných tekutin na konstantní úrovni – **izohydrie**, k čemuž dochází díky přítomnosti nárazníkových systémů neboli pufrů. Nejvýznamnějším nárazníkovým systémem krve je bikarbonát, který kryje asi 53 % nárazníkové kapacity krve. Dále tuto funkci plní plazmatické proteiny, fosfáty a hemoglobin. Fyziologicky se pH arteriální krve pohybuje v rozmezí $7,4 \pm 0,04$. Pokud je pH nižší, jedná se o **acidémii**, vyšší hodnoty naopak znamenají **alkalémii**. Ve venózní krvi je hodnota pH obvykle nižší než v krvi arteriální. Hlavním důvodem je vyšší obsah CO_2 . Venózní krev v pravé srdeční komoře má pH okolo 7,35. Pokles hodnoty pH krve pod 6,8 nebo vzestup nad 8 je ve většině případů neslučitelný se životem. Pro udržení stálé hodnoty pH v organismu je zásadní i činnost ledvin a plic. Všechny tyto mechanismy, tj. nárazníkový systém krve, činnost ledvin a činnost plic, se navzájem doplňují. Stálé pH je nezbytné například pro správné fungování bílkovin tvořících enzymy. I malé změny pH mohou vést k významným změnám aktivity většiny enzymů, což následně negativně ovlivní průběh fyziologických funkcí organismu.
- Udržování stálého iontového složení – **izotonie**.
- Udržování stálého osmotického tlaku vnitřního prostředí – **izoosmie**.

Výše popsané procesy jsou nezbytné k udržení relativní stálosti vnitřního prostředí, proto se označují jako **homeostatické**.

Obranná funkce

- Ochrana organismu proti cizorodým látkám zprostředkovaná bílými krvinkami a řadou látek přítomných v krvi, které se podílejí na nespecifických i specifických reakcích imunitního systému.
- Ochrana organismu před vykrvácením při porušení celistvosti cévní stěny za pomoci trombocytů a srážecích faktorů. Tyto procesy se označují jako **hemostatické**.

1.2 OBJEM KRVE

Celkový objem krve u zdravého dospělého člověka činí přibližně 7–8 % tělesné hmotnosti a označuje se jako **normovolémie**. Zdravý muž o hmotnosti 70 kg má tedy asi 5,5 litru krve, u ženy stejné hmotnosti je tato hodnota o 10 % nižší. Objem krve větší než fyziologický se nazývá **hypervolémie** a menší **hypovolémie**. Fyziologicky se objem krve zvyšuje u lidí žijících dlouhodobě ve vyšších nadmořských výškách, u aktivních sportovců a v druhé polovině těhotenství. Dočasně se tento objem zvýší i po jednorázovém vypití většího množství tekutin nebo po transfuzi krve či plazmy. K přechodnému poklesu objemu cirkulující tekutiny dochází po větší krevní ztrátě nebo při **dehydrataci**. Ta může být způsobena některými onemocněními spojenými s průjmy či zvracením, ale vzniká také např. po popálení.

Objem cirkulující tekutiny lze změřit například pomocí Evansovy modři. Látka se injikuje do žíly a po uplynutí doby potřebné k rovnoměrné distribuci v krvi se odebere vzorek krve. Na základě změřené koncentrace v tomto vzorku vypočítáme objem plazmy. Pokud zároveň stanovíme hematokrit, můžeme vypočítat i objem krve.

1.3 HEMATOKRIT

Hematokrit je podíl objemu červených krvinek v celkovém objemu krve a stanovuje se pomocí průtokové cytometrie nebo zcentrifugováním vzorku nesrážlivé krve v zatavené skleněné kapiláře (obr. 1.1). Na rozhraní erytrocytů a plazmy může být patrný světle žlutý prstenec tvořený bílými krvinkami a krevními destičkami, které zaujímají dohromady méně než 1 % objemu krve. Hematokrit se vyjadřuje v procentech nebo jako poměrné číslo. Fyziologická hodnota hematokritu činí u muže $44 \pm 5 \%$ (popř. $0,44 \pm 0,05$) a u ženy $39 \pm 4 \%$ ($0,39 \pm 0,04$). Novorozenci mají hematokrit vyšší asi o 10 %. Hodnota hematokritu závisí na velikosti a množství červených krvinek a spolu s počtem červených krvinek a množstvím hemoglobinu v litru krve je nezbytná pro výpočet barevné hodnoty erytrocytu, koncentrace hemoglobinu v červené krvince a středního objemu erytrocytu.

Jedinci dlouhodobě pobývajících ve vyšší nadmořské výšce mají hematokrit fyziologicky zvýšený. Naopak snížený hematokrit můžeme zaznamenat u jedinců s nižším počtem či objemem erytrocytů (např. u pacientů s některými typy **anémie**) nebo při zvýšeném objemu plazmy.