

S2. M1. Krv

Úvod

Celkový objem krvi v ľudskom tele je 5 až 6 litrov (70 - 80 ml na kg telesnej hmotnosti), čo predstavuje asi 8 % celkovej telesnej hmotnosti. Krv je červená nepriehľadná suspenzia, ktorá sa skladá z tekutej zložky - krvnej plazmy (55 %), z rôznych typov buniek (červené krvinky, biele krvinky, krvné doštičky) (44 %), a zvyšok (približne 1%) tvoria hormóny, rozpustené plyny, živiny a metabolity (napr. močovina a kyselina močová). Krvná plazma je vodný roztok (90% vody) tvorený proteínmi, soľami a nízkomolekulovými látkami.

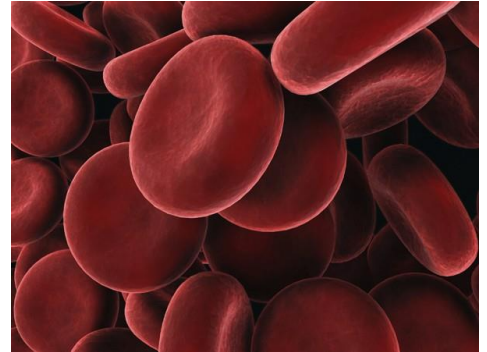
Krv sa nedostáva do priameho styku s tkanivami - prúdi v krvných cievach a sprostredkováva prenos látok a dýchacích plynov medzi vonkajším a vnútorným prostredím.

Krvotvorba

Hematopoéza, proces tvorby krvi prebieha u zdravých ľudí v kostnej dreni. U detí sa na hematopoéze podieľa kostná dreň všetkých kostí tela, zatiaľ čo u dospelých je krvotvorba obmedzená len na proximálne konce hornej časti ramennej a stehennej kosti.

Pluripotentné a unipotentné bunky

V súčasnom chápaní hematopoézy sa rôzne bunkové línie (granulocyty, erytrocyty, monocyty) vyvíjajú zo spoločnej pluripotentnej kmeňovej bunky pod kontrolou niekoľkých rastových faktorov. Pluripotentné bunky majú unikátnu schopnosť vyvinúť sa do iných bunkových typov (napríklad embryonálnych kmeňových buniek). Akonáhle takáto bunka vstúpi do špecifickej vývojovej cesty, stráca schopnosť vstúpiť do iných ciest vývoja; takáto bunka je potom označovaná ako unipotentná. Z hematopoetických kmeňových buniek kostnej drene môžu vzniknúť všetky krvné elementy.



Červené krvinky (erytrocyty) tvoria najväčší podiel korpuskulárnych krvných elementov. (Obrázok: iStock Photo / eraxion)

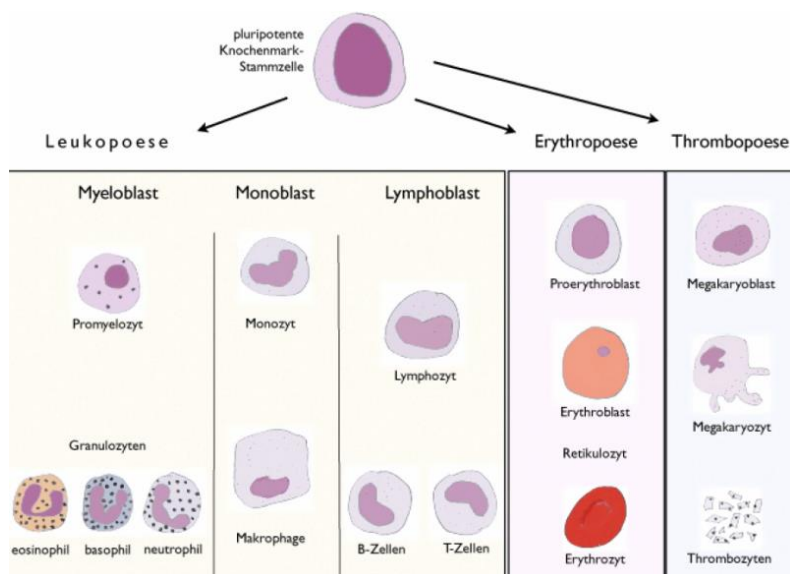
Vývoj červených krviniek (erytrocytov)

Unipotentné bunky kostnej drene, tzv "erythropoetín senzitivne bunky" (ERC) sa vyvíjajú do erytrocytov cez jednotlivé medzistupne:

1. proerythroblast
2. erythroblast
3. normoblast
4. retikulocyt

Tento vývoj prebieha v kostnej dreni a trvá päť až deväť dní, počas ktorých sa jadro bunky postupne zmenšuje, až sa úplne vylúči.

Ľudské červené krvinky majú priemernú životnosť 120 dní. Pre náhradu starnúcich erytrocytov musí organizmus každý deň vyprodukovať približne 200 miliárd nových červených krviniek. Ich tvorba je kontrolovaná enzýmom (renálny erythropoetický faktor - REF), ktorý sa pri znížení saturácie kyslíka v krvi uvoľňuje obličkami. Tento enzým katalyzuje štiepenie proteínu za vzniku hormónu erythropoetínu (EPO), ktorý stimuluje delenie erythropoetín senzitivnych buniek, čím podporuje tvorbu červených krviniek.



Jednotlivé štádiá tvorby krvných buniek. (Zdroj: Wikipedia)

Hematokrit

Erytrocyty tvoria najpočetnejšiu časť cca. 96% krvných elementov. Zvyšok tvoria biele krvinky (leukocyty) a krvné doštičky (trombocyty). Pomer krvných buniek k celkovému objemu krvi sa nazýva hematokrit. Pretože červených krviniek je najviac (krvných doštičiek a leukocytov je zanedbateľné množstvo), hodnota hematokritu závisí od množstva červených krviniek. Fyziologické hodnoty hematokritu sú u mužov $44 \pm 5 \%$ a u žien $39 \pm 4\%$.

Nebezpečenstvo zvýšenej hodnoty hematokritu

Krvný doping a použitie synteticky vyrobeného (rekombinantného) EPO zvyšuje počet červených krviniek. Umelé alebo prirodzené zvýšenie hodnoty hematokritu na 60% a viac je spojené s akútnymi zdravotnými rizikami. Prietokové vlastnosti krvi sa zhoršia, čím sa zvýši pravdepodobnosť vzniku trombóz (krvných zrazenín), embólií (obštrukcia krvnej cievy zrazeninou), a v najhoršom prípade môže dôjsť i k smrti. Nadmerná hladina hematokritu je u niektorých športovcov najpravdepodobnejšou príčinou neočakávanej smrti. Tá nastáva zvyčajne počas spánku, kedy srdce už nie je schopné čerpať stále viskóznejšiu krv.

Pozastavenie činnosti pre vysoký hematokrit

Kvôli horeuvedeným zdravotným rizikám sa v priebehu desaťročia (2000 - 2010) zaviedlo pozastavenie činnosti pre športovcov s vysokou hodnotou hematokritu. Športovci, ktorých hodnota hematokritu presiahla 50% u mužov a 47% u žien, dostali pozastavenie účasti na súťaži počas dvoch týždňov. Ak po skončení obdobia pozastavenia činnosti klesla ich hodnota hematokritu pod kritickú hranicu, mohli opäť súťažiť.



Na majstrovstvách sveta v bežeckom lyžovaní v roku 2009 dostalo zákaz činnosti z dôvodu nadmerných hodnôt hematokritu 21 mladých športovcov. (Obrázok: Getty Images / Bongarts / Alexander Hassenstein)

Biologický pas športovca vs. pozastavenie činnosti pre vysoký hematokrit

Systém pozastavenia činnosti pre vysoké hodnoty hematokritu chránil športovcov pred rizikom úmrtia v krátkodobom horizonte. V boji proti dopingom to malo len minimálny vplyv, keďže športovci s krvným dopingom po krátkej pauze pokračovali.

WADA zaviedla medzinárodné smernice pre biologický pas športovcov - dlhodobý profil krvi, ktorý umožňuje odhaliť aj malé nezrovnalosti. Mnohé medzinárodné športové federácie a národné antidopingové agentúry tieto smernice implementujú do svojich súčasných antidopingových programov.

Tréning vo vysokej nadmorskej výške

Vedecké štúdie o účinkoch tréningov vo vysokej nadmorskej výške priniesli nejednotné výsledky. Na túto tréningovú metódu reaguje zhruba dve tretiny ľudí.

Vo vyššej nadmorskej výške sa vzduch stáva "redším", čo znamená zníženie obsahu kyslíka.

Vplyv na fyzický výkon:

- Počas tréningov vo vysokej nadmorskej výške sa fyzický výkon spočiatku znižuje. Telo na túto situáciu reaguje zvýšením uvoľňovania EPO z obličiek, čo spôsobí zvýšenie produkcie červených krviniek v kostnej dreni.
- Zvýšené množstvo červených krviniek tak pomáha kompenzovať nižší obsah kyslíka vo vzduchu. V dôsledku toho sa fyzický výkon vráti na normálnu úroveň.



Spánok vo vysokej nadmorskej výške sa simuluje v takýchto výškových komorách (hypoxické stany). (Obrázok: Getty Images / Marc Serota)

Trvalé účinky po návrate do nízkej nadmorskej výšky

Výsledkom zvýšenia počtu červených krviniek, ktorých množstvo pretrváva aj po návrate do nižšej nadmorskej výšky je zlepšenie transportu kyslíka v krvi, a teda zvýšenie výkonnosti. Tento efekt vykazuje veľké množstvo individuálnych variácií a vo všeobecnosti pretrváva len niekoľko dní. V konečnom dôsledku má tréning vo vysokej nadmorskej výške podobné účinky ako zakázaná metóda krvného dopingu alebo podávanie syntetického EPO.

Simulácia vysokej nadmorskej výšky

Niektorí profesionálni vytrvalostní športovci veria v efektívnosť tréningu vo vysokej nadmorskej výške a preto trénujú v nadmorskej výške najmenej 1 700 metrov nad morom. Športovci, ktorí chcú simulovať účinky výškového tréningu doma, môžu využiť výškovú komoru (hypoxický stan). To viedlo k teoretickým stratégiám ako je metóda LH TL (live high-train low), kedy športovec spí v simulovanej vysokej nadmorskej výške a intenzívne trénuje v nižších nadmorských výškach.

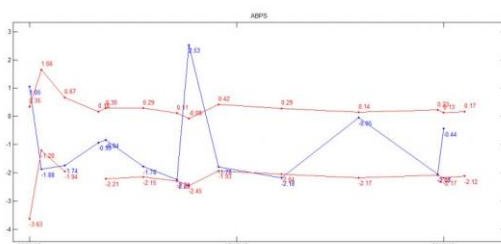
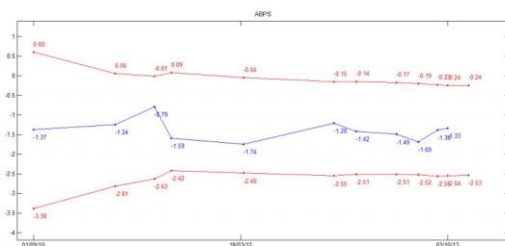
Krvný profil

Nakoľko je od roku 2000 syntetické EPO v moči detegovateľné, športovci sa stále viac vracajú k zakázanej metóde krvného dopingu. Doping cudzou krvou je zistiteľný od roku 2004, no stále neexistuje priama metóda na detekciu dopingu vlastnou krvou. V súčasnosti sa preto vo vytrvalostných disciplínach čoraz viac využívajú dlhodobé krvné profily (biologické pasy). Na základe usmernení WADA týkajúcich sa "biologických pasov športovcov" odborníci určili celkovo jedenásť krvných parametrov (napr. hematokrit, hemoglobín a retikulyocyty a ďalšie), ktoré môžu vykazovať zmeny hladín po zneužití EPO alebo krvných transfúzií.

Nepriama detekcia dopingu

Ak jeden alebo viacero z určených krvných parametrov športovca prekročí stanovený rozsah, ide dôkazy poukazujúce na manipuláciu s krvou. Dôležité je však vylúčiť dedičné poruchy alebo iné príčiny, ktoré môžu vysvetliť zistené zmeny.

Podozrivé krvné profily môžu slúžiť ako nepriamy dôkaz dopingu zakázanými látkami alebo metódami. Pomocou údajov z krvného profilu Stéphane Jolyho zozbieraných medzi 14. októbrom 2010 až 16. marcom 2012 Švajčiarska antidopingová agentúra dokázala použitie zakázanej metódy. Disciplinárna komisia pre dopingové prípady Švajčiarskeho olympijského výboru mu na jar v roku 2013 uložila dvojročný zákaz činnosti.



Horný obrázok zobrazuje profil krvi s normálnymi hodnotami a dolný obrázok profil krvi s abnormálnymi hodnotami.