

SLOVENSKÁ ASOCIÁCIA KONDIČNÝCH TRÉNEROV



Fakultou telesnej výchovy, športu a zdravia
Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici

Kyslík a krv v športovej príprave

Martin PUPIŠ - Zuzana PUPIŠOVÁ a kolektív

Vedecký recenzovaný zborník vydaný za podpory GÚ

VEGA 1/0707/22 Špecifiká variability hematologických ukazovateľov
sledovaných v biologickom pase športovca

VEGA 1/0547/22 Využitie hypoxie a hyperoxie v športovej príprave

2024

OBSAH

AKTUÁLNE POZNATKY SÚVISIACE S INTERPRETÁCIOU VÝSLEDKOV V BIOLOGICKOM PASE ŠPORTOVCA

Martin Pupiš - Zuzana Pupišová - Vladimír Franek - Dávid Líška - David Brünn
- Jozef Sýkora - Roman Švantner.....4-14

ANALÝZA VYBRANÝCH HEMATOLOGICKÝCH PARAMETROV REKREAČNÝCH ŠPORTOVÝŇ

Stanislava Straňavská - David Brünn.....15-21

ÚČINNOSŤ HYPOXIE A VYSOKOINTENZÍVNEHO INTERVALOVÉHO ZAŤAŽENIA NA VÝKON PLAVCOV

Zuzana Pupišová - Dávid Líška - Miroslava Rošková.....22-32

VARIABILITA HEMOGLOBÍNU A ERYTROCYTOV U REAKREAČNÉHO ŠPORTOVCA

Michal Hlávek - Kristián Bako - Vladimír Franek.....33-41

ZMENY VYBRANÝCH KRVNÝCH PARAMETROV U REKREAČNÉHO ŠPORTOVCA POČAS ROKA

Kristián Bako - Michal Hlávek - Marián Škorik.....42-51

VARIABILITA HEMOGLOBÍNU A RETIKULOCYTOV V PRIEBEHU ROKA

Martin Pupiš - Zuzana Pupišová - Vladimír Franek - David Brünn.....52-58

VPLYV HYPOXICKÉHO TRÉNINGU NA VÝKONNOSŤ V BEHU NA LYŽIACH

Vladimír Franek - Denis Tilesch - Jaroslav Kompán.....59-71

AKTIVITA DÝCHACÍCH SVALOV MLADÝCH PLAVCOV

Kristína Papcunová - Dávid Líška - Zuzana Pupišová.....72-82

VPLYV INTERMITENTNÉHO HYPOXICKÉHO TRÉNINGU NA UKAZOVATELE MONITOROVANÉ V BIOLOGICKOM PASE ŠPORTOVCA

Martin Pupiš - Zuzana Pupišová - Jozef Sýkora.....83-90

POROVNANIE VPLYVU INTERMITENTNEJ HYPOXIE A VODÍKA NA VÝKON V PLÁVANÍ

Zuzana Pupišová - Olívia Mudráková.....91-99

RECENZENTI:

prof. Aleksandar Raković , PhD.

PhDr. Kristýna Hubená, PhD.

Mgr. Ján Pavlík, PhD.

ISBN 978-80-974024-7-1

EAN 9788097402471

ÚVOD

Športová príprava je v rámci Vied o športe považovaná za azda najdynamickejšiu oblasť, preto sme radi, že sa nám podarilo v rámci riešenia grantových úloh VEGA 1/0707/22 (Špecifiká variability hematologických ukazovateľov sledovaných v biologickom pase športovca) a VEGA 1/0547/22 (Využitie hypoxie a hyperoxie v športovej príprave) spojiť niektoré súvisiace oblasti, vďaka čomu sme mohli efektívnejšie využívať prostriedky, ak aj personálne zázemie oboch projektov. Tento zborník približuje výskumy na ktorých participovali riešitelia oboch grantových úloh, pričom na niektorých participovali aj študenti, čo vytváralo vďaka obom grantom zázemie na zapájanie študentských vedeckých síl, doktorandov, ako aj prípravu potenciálnych doktorandov, ktorí by mohli v budúcnosti rozvíjať oblasť vied o športe. Príspevky publikované v tomto zborníku nielen rozširujú aktuálne poznatky o interpretácii výsledkov v biologickom pase športovca, ale prinášajú aj nové poznatky o efektivite využívania hypoxie a hyperoxie v športovej príprave. Veríme, že prezentované výsledky pomôžu pri objektívnejšej interpretácii dát v biologickom pase športovca, ako aj pri optimalizácii využitia hypoxie a hyperoxie športovcov. Toto je určite v záujem všetkých ľudí, ktorí sa podieľajú na výkonnostnom a vrcholovom športe v Slovenskej republike, lebo nielen v kontexte výsledkov našich športovcov na tohtoročných Olympijských hrách v Paríži, ale aj v záujem napredovania slovenského športu je, aby každý športový odborník prispel svojim kúskom k tomu, aby mohli mať naši športovci nielen dobré podmienky na športovú prípravu, ale aby mohli využívať aj najaktuálnejšie poznatky, ktoré vedy o športe, ale aj veda ako taká ponúkajú.

AKTUÁLNE POZNATKY SÚVISIACE S INTERPRETÁCIOU VÝSLEDKOV V BIOLOGICKOM PASE ŠPORTOVCA

Martin Pupiš - Zuzana Pupišová - Vladimír Franek - Dávid Líška -
David Brúnn - Jozef Sýkora - Roman Švantner
*Fakulta telesnej výchovy, športu a zdravia Univerzity Mateja Bela v
Banskej Bystrici, Slovenská republika*

ABSTRAKT

Cieľom príspevku bolo analyzovať a identifikovať potenciálne riziká, ktoré by mohli ovplyvniť dáta interpretované v biologickom pase športovca. Na základe zistení výskumov v rámci projektov VEGA 1/0707/22 a 1/0547/22 je nutné detailnejšie analyzovať vplyv biologických rytmov na ukazovatele monitorované v biologickom pase športovca; vplyv menštruačného cyklu na ukazovatele monitorované v biologickom pase športovca; vplyv rôznych metód hypoxickej prípravy na ukazovatele monitorované v biologickom pase športovca; vplyv hydratácie organizmu na ukazovatele monitorované v biologickom pase športovca; vplyv miesta odberu na ukazovatele monitorované v biologickom pase športovca ako aj vplyv ďalších faktorov, ktoré by mohli mať vplyv na ukazovatele monitorované v biologickom pase športovca.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: biologický pase športovca, hemoglobín, retikulocyty, OFF-score.

ABSTRACT

CURRENT FINDINGS RELATED TO THE INTERPRETATION OF RESULTS IN THE ATHLETE BIOLOGICAL PASSPORT

The aim of this study was to analyse and identify potential risks that could affect the data interpreted in the Athlete Biological Passport. Based on the findings of the research projects VEGA 1/0707/22 and 1/0547/22, it is necessary to analyze in more detail the impact of biological rhythms on the parameters monitored in the Athlete Biological Passport; the impact of the menstrual cycle on the parameters monitored in the Athlete Biological Passport; the impact of various methods of hypoxic training on the parameters monitored in the Athlete Biological Passport; the impact of hydration on the parameters monitored in the Athlete Biological Passport; the impact of

the blood sampling site on the parameters monitored in the Athlete Biological Passport; as well as the impact of other factors that could influence the parameters monitored in the Athlete Biological Passport.

KEY WORDS: Athlete Biological Passport, hemoglobin, OFF-score.

ÚVOD

V tomto príspevku sumarizujeme zistenia, ktoré sme získali v rámci projektu **VEGA 1/0707/22 - Špecifická variability hematologických ukazovateľov sledovaných v biologickom pase športovca**, vďaka ktorému sa nám podarilo identifikovať potenciálne riziká súvisiace s interpretáciou výsledkov v biologickom pase športovca. Biologický pas športovca (ABP) možno síce stále považovať za jeden z najinovatívnejších nástrojov ako identifikovať dopingových hriešnikov, avšak na druhej strane sa objavuje množstvo prípadov, ktoré vyvolávajú otázky o jeho spoľahlivosti (Pupiš et al., 2023). Viacero svetových výskumov napríklad potvrdzuje významný vplyv hypoxického tréningu, detréningu či diurnálnej variácie na hematologické parametre sledované v ABP (Alberty et al., 2021; Eastwood et al., 2012; Pupiš, 2021; Rusko et al., 2004; Wilber et al., 2007), avšak ako sa ukazuje, tieto fakty môžu byť občas pri interpretácii výsledkov opomenuté. Povšimnutiahodný je aj fakt, že mnohé výskumy (Banfi, 2011; Banfi et al., 2011; Lippi et al., 2010; Lippi & Plebani, 2011; Pupiš et al., 2023; Sanchis-Gomar et al., 2011) polemizujú o spoľahlivosti, či dokonca poukazujú na nedostatky pri interpretácii hodnôt pre potreby ABP. Na opačnej strane stojí paradox, že pri obvinení mnohých športovcov sa posudzovatelia výsledkov odvolávali na publikácie spochybňujúce vplyv hypoxickej prípravy, dehydratácie a diurnálnej variácie na hematologické ukazovatele sledované v ABP (Schumacher et al., 2010; 2012; 2015; Schumacher & d'Onofrio, 2012), čo vytvára potrebu ďalšieho skúmania v tejto oblasti. Pri výskumoch sa pomerne málo pozornosti venuje analytickým, fyziologickým či metodickým vplyvom pri interpretácii výsledkov v ABP. V rámci projektu VEGA 1/0707/22 sme sa zamerali na posúdenie potenciálneho vplyvu na výsledky dát v ABP. Náš výskum (Alberty et al., 2021) naznačuje, že za určitých okolností môže ovplyvniť interpretáciu dát v ABP aj čas odberu. Zaujímavé je, že pri dátach ABP sa nekladie veľká pozornosť na to, v akej fáze menštruačného cyklu sa nachádza testovaná športovkyňa, hoci naše

zistenia (Pupiš et al., 2024a) naznačujú možný zásadný vplyv menštruačného cyklu na dáta v ABP. Skôr už boli spomenuté pohľady na vplyv hypoxie, či hydratácie na ukazovatele monitorované v ABP. Ďalšou otázkou je, či môže ovplyvniť výsledok fakt, z ktorej paže bola odobraná vzorka krvi. Výskumy, ktoré realizovali Morris et al. (1999), Wiehl (1946), Killilea et al. (2022) naznačujú, že miesto (strana) odberu môžu mať vplyv na výsledok v prípade stanovenia hladiny hemoglobínu, avšak v zmysle interpretácie výsledkov pre ABP sme podobné úvahy nenašli. Samozrejme, existujú aj ďalšie potenciálne možné vplyvy, ktoré by mohli avizovať falošnú pozitivitu pri posudzovaní dát v ABP.

CIEĽ

Cieľom príspevku je analyzovať a identifikovať potenciálne riziká, ktoré by mohli ovplyvniť dáta interpretované v biologickom pase športovca.

METODIKA

V rámci výskumu boli analyzované vlastné výskumy, ktoré boli realizované v rámci grantových úloh VEGA 1/0707/22 ale aj 1/0547/22, ktorých cieľom bolo ozrejniť niektoré aspekty interpretácie výsledkov v ABP. Súčasťou výskumnej časti je okrem analýzy vlastných dát využitá aj diskusia s inými autormi, ktorí sa zaoberali problematiku ABP, resp. súvisiacimi témami.

VÝSLEDKY

Potenciálny vplyv biologických rytmov je oblasť, ktorú posudzovatelia ABP nepovažujú za veľmi dôležitý ukazovateľ. Naše zistenia (Alberty et al., 2021) však naznačujú možný vplyv, pričom nemusí ísť len o priamy vplyv v danom okamihu, ale nakoľko pri ABP ide o štatistické spracovania, ktoré dotvárajú predikciu ďalších dát, tak na základe týchto zistení môže čas odberu zohrať významnú úlohu. V kontexte toho je nutné sa zamýšľať aj nad potenciálnym vplyvom sezónnej variácie. Tu je nutné prihliadať aj na ďalšie možné potenciálne faktory, ktoré môžu znásobovať potenciálny vplyv.

Pozoruhodnou oblasťou je potenciálny vplyv menštruačného cyklu na dáta monitorované v ABP. V minulosti sme mali k dispozícii rôzne interpretácie, kde najjasnejšie interpretovali svoj výskum Mullen et al. (2020), ktorí naznačujú, že vplyv menštruačného cyklu na dáta v ABP

je zanedbateľný. V rámci grantovej úlohy sme sa zamerali na analýzu vplyvu menštruačného cyklu na dáta monitorované v ABP. V rámci nášho výskumu (Pupiš, 2024a) sme monitorovali štvoricu športovkýň, z ktorých 2 mali pravidelnú menštruáciu a 2 mali nepravidelnú menštruáciu, resp. ju v čase výskumu nemali. Z našich výsledkov výskumu vyplýva, že hematologická variácia je výraznejšia u športovkýň, ktoré majú menštruáciu. U týchto športovkýň sa prejavila aj vyššia hormonálna variácia. Na základe týchto zistení je nutné konštatovať, že menštruačný cyklus u športovkýň by mohol v niektorých prípadoch zásadne ovplyvniť výsledky v ABP a to až tak, že by to mohlo signalizovať falošnú pozitivitu.

Hypoxický tréning je často využívaná metóda v športovej príprave, pričom jej očakávané hematologické benefity môžu plývať na dáta v ABP. Mnohé výskumy (napr. Rusko et al., 2004; Wilber et al, 2007; Nummela et al., 2021), svojimi výsledkami naznačujú, že rôzne metódy hypoxického tréningu spôsobujú hematologické zmeny, ktoré z pohľadu interpretácie výsledkov v ABP môžu naznačovať porušenie antidopingových pravidiel. Protokol o vykonaní odberu vzorky pre ABP vníma ako významný faktor (ktorý má športovec uviesť) len pobyt vo výškach nad 1500 m.n.m, avšak niektoré výskumy (napr. Al-Sweedan – Alhaj, 2012; Singh et al., 2014) ukazujú, že už aj nadmorská výška 1000-1200 m.n.m. môže zásadne ovplyvniť ukazovatele monitorované v ABP. Okrem toho je nutné vnímať, že niektoré výskumy (Hamlin et al., 2015; Chapman et al., 1998; Lippi et al., 2006) poukazujú na výrazný rozdiel v adaptačnej odozve na hypoxiu, pričom niektorých jedincov označujú ako málo adaptabilných, resp. bez adaptačnej odozvy. Naše výsledky výskumu (Pupiš et al., 2024c) zrealizovaného na skupine siedmich športovcov potvrdzujú, že aj napriek zaužíwanej interpretácii (napr. pri protokole o odobraní vzorky pre ABP) môžu aj hypoxické podmienky v nadmorskej výške do 1400 m.n.m. významne ovplyvniť výsledky analyzované v biologickom pase športovca. Výsledky ukázali, že v priebehu hypoxickej expozície nižšej ako 1400 m.n.m došlo k poklesu hladiny hemoglobínu, opačný trend bol zaznamenaný pri retikulocytoch, pričom tento trend sa sumárne odzrkadlil pri OFF-score, pri ktorom došlo vo všetkých prípadoch k poklesu skóre. Získané dáta potvrdzujú vplyv hypoxických podmienok vo výške do 1350 m.n.m. na erytropoézu. Pre objektivizáciu dát boli sledované aj zmeny v hladine erythropoetínu, kde bol zaznamenaný

nárast u všetkých probandov. Z uvedených dôvodov pokladáme za nevyhnutné ďalej rozširovať poznatky o hypoxickej príprave, ako aj o dátach analyzovaných v biologickom pase športovca. Z pohľadu fair play pokladáme za ešte dôležitejšie zohľadňovať tento fakt pri interpretácii výsledkov v biologickom pase športovca, keďže nesprávna a nedôsledná interpretácia dát môže viesť v falošnému obvineniu nevinných športovcov, čo je nielen v rozpore s myšlienkami fair play, ale aj celkovou myšlienkou športu, ale najmä v rozpore s cieľom antidopingového systému, kde má byť cieľom dolapenie dopingových hriešnikov, nie vystavovať hrozbe trestu čestných športovcov.

V rámci grantovej úlohy sme realizovali výskum (Pupiš et al., 2024c) naznačujúci, že hydratácia, resp. dehydratácia môže mať zásadný vplyv na výsledky analyzované v biologickom pase športovca. Na základe výsledkov je nutné konštatovať, že v prípade hemoglobínu bol zaznamenaný nárast pri hyperhydratácii, čo je v rozpore so všeobecným očakávaním. V prípade retikulocytov nebol zaznamenaný jednoznačný trend, keďže u dvoch probandov podiel retikulocytov klesol a u jedného stúpol. V prípade OFF-score bol u všetkých probandov zaznamenaný mierny nárast. Na záver je nutné konštatovať, že možná interpretácia výsledkov tohto výskumu je limitovaná početnosťou skupiny, preto odporúčame zrealizovať takéto analýzy na väčšej skupine probandov. Na druhej strane je nutné prihliadať na fakt, že ABP je vyhodnocovaný metódou kazuistiky a teda aj prípad jedného atypického vývoja by mal byť vnímaný v kontexte posudzovania osobitostí v ABP (Pupiš et al., 2024c).

Jednou z otázok, ktorú sme riešili v rámci grantovej úlohy, bola aj otázka, či môže ovplyvniť výsledok v ABP fakt, z ktorej paže bola odobraná vzorka krvi. Výskumy, ktoré realizovali Morris et al. (1999), Wiehl (1946), Killilea et al. (2022) naznačujú, že miesto (strana) odberu môžu mať vplyv na výsledok v prípade stanovenia hladiny hemoglobínu, avšak v zmysle interpretácie výsledkov pre ABP sme podobné pohľady nenašli. Výsledky nášho výskumu (Pupiš et al., 2024d) naznačujú, že miesto odberu – teda fakt, z ktorej paže bola odobraná krv môže mať zásadný vplyv na dáta interpretované v ABP.

ZÁVERY A ODPORÚČANIA PRE PRAX

V súvislosti s aktuálnymi poznatkami odporúčame realizovať krvné analýzy, ktoré budú vykonávané v zmysle metodiky WADA (Athlete Biological Passport Operating Guidelines, 2023). Priebeh odberu vzorky musí byť realizovaný podľa metodiky WADA 2023 s dodržaním všetkým postupov a materiálov, následne musia byť vzorky analyzované v akreditovanom laboratóriu.

Analyzovať odporúčame:

- a. *Vplyv biologických rytmov na ukazovatele monitorované v biologickom pase športovca.* V rámci tejto časti je potrebné krvné analýzy realizovať podľa metodiky WADA pre ABP, pričom je potrebné monitorovať sezónne rytmy, denné rytmy v kombinácii s tréningovým zaťažením.

Vplyv sezónnych rytmov je potrebné analyzovať tak, že športovci absolvujú ranný pokojový odber krvi (kde musia byť monitorované parametre analyzované pre potreby ABP /hemoglobín, retikulocyty, OFF-score/) a to podľa ročných období (jar – apríl, leto - júl, jeseň - október, zima - január). Tieto parametre musia byť vyhodnotené tak, že na celom výskumnom súbore budú sledované sezónne trendy a individuálna variácia.

Okrem sezónnej variácie je potrebné zamerať sa aj na dennú variáciu v kombinácii so zaťažením. V nadväznosti na naše predchádzajúce výskumy (Alberty et al., 2021) odporúčame realizovať počas najmenej troch dní merania parametrov, ktoré sú analyzované pre potreby ABP (hemoglobín, retikulocyty, OFF-score) a to o 7:00 hod, 9:00 hod, 13:00 hod, 18:00 hod a 21:00 hod. Tieto merania je potrebné realizovať preto najmenej počas troch dní, lebo jeden deň by mal byť odpočinkový, ďalší deň by mal obsahovať jednu tréningovú jednotku a tretí deň mal obsahovať dve tréningové jednotky. Tieto parametre by mali byť vyhodnotené tak, že na celom výskumnom súbore budú sledované denné variácie, ich kombinácie s tréningovým zaťažením a individuálne variácie v závislosti od týchto vplyvov.

- b. *Vplyv menštruačného cyklu na ukazovatele monitorované v biologickom pase športovca.* Vplyv menštruačného cyklu žien pokladáme za nutné analyzovať tak, že športovkyne absolvujú ranný pokojový odber krvi počas ovulácie (cca 14 dní pred predpokladanou menštruáciou), následne bezprostredne pred menštruáciou (cca 1-2 dni pred predpokladanou menštruáciou),

v tretí deň menštruácie, bezprostredne po menštruácii (cca 1-2 dni po menštruácii) a následne počas ovulácie (cca 14 dní po menštruácii). Vyhodnocovať je potrebné parametre analyzované pre potreby ABP (hemoglobín, retikulocyty, OFF-score). Tieto parametre by mali byť vyhodnotené tak, že na celom výskumnom súbore budú sledované trendy a individuálna variácia.

- c. *Vplyv rôznych metód hypoxickej prípravy na ukazovatele monitorované v biologickom pase športovca.* Vplyv rôznych metód hypoxickej prípravy je nutné analyzovať tak, že športovci absolvujú ranný pokojový odber krvi (kde budú monitorované parametre analyzované pre potreby ABP /hemoglobín, retikulocyty, OFF-score/) pred zahájením hypoxickej prípravy. Pokiaľ to umožnia podmienky, rovnakú krvnú analýzu absolvujú v priebehu 5.- 6. ale aj 10.-12. dňa hypoxickej prípravy, následne 1. deň po jej ukončení a aj 14. deň po ukončení. Tieto parametre by mali byť vyhodnotené tak, že na celom výskumnom súbore budú sledované sezónne trendy a individuálnu variáciu. V rámci výskumu je vhodné využívať hypoxický tréning v rozdielnych nadmorských výškach, ale aj simulovanú hypoxiu v hypoxických miestnostiach, resp. intermitentný hypoxický tréning.
- d. *Vplyv hydratácie organizmu na ukazovatele monitorované v biologickom pase športovca* je potrebné monitorovať- počas dňa je potrebné analyzovať parametre monitorované pre potreby ABP (hemoglobín, retikulocyty, OFF-score) a to o 7:00 hod, 9:00 hod, 13:00 hod, 18:00 hod a 21:00 hod a to ako skrížený experiment. Každý člen výskumného súboru by mal absolvovať výskumný deň 2 krát a to tak, že jeden krát absolvuje po dopoludňajšom tréningu (9:00-11:00) regulovanú dehydratáciu (a to tak, že po tréningu bude môcť až do posledného odberu /ktorý bude o 21:00/ vypiť len do 1500 ml tekutín. Druhý krát by mali všetci absolvovať všetko rovnakým spôsobom s tým, že sa budú pokúšať o hyperhydratáciu a to tak, že v priebehu prvých 2 hodín po tréningu prijmu od 1500 do 2000 ml tekutín. V priebehu ďalších 8 hodín sa budú snažiť prijať každú hodinu 500 ml tekutín (piť budú izotonické a hypotonické nápoje). Tieto parametre by mali byť vyhodnotené tak, že na celom výskumnom súbore budú sledované trendy a individuálna variácia.

- e. *Vplyv miesta odberu na ukazovatele monitorované v biologickom pase športovca.* Na základe našich zistení (Pupiš et al., 2024b) odporúčame ďalej analyzovať potenciálny vplyv miesta odberu na výsledky dát v ABP, teda či môže ovplyvniť výsledok fakt, z ktorej paže bola odobraná vzorka krvi. Výskumy, ktoré realizovali Morris et al. (1999), Wiehl (1946), Killilea et al. (2022) naznačujú, že miesto (strana) odberu môže mať vplyv na výsledok v prípade stanovenia hladiny hemoglobínu, avšak v zmysle interpretácie výsledkov pre ABP sme podobné analýzy nenašli. Preto odporúčame, aby sa u väčšej skupiny športovcov zrealizovali opakované odbery z oboch paží súčasne (kde by boli analyzované parametre posudzované v ABP (hemoglobín, retikulocyty, OFF-score).
- f. *Vplyv ďalších faktorov* – odporúčame posudzovať individuálne v rôznych situáciách a to počas detréningu a počas liečby (mali by byť monitorované parametre analyzované pre potreby ABP /hemoglobín, retikulocyty, OFF-score/, ktoré môžu ovplyvniť výsledky v biologickom pase športovca).

Biologický pase športovca aj napriek uvedenému považujeme za vhodný, inovatívny a moderný nástroj pre boj proti dopingu, avšak na druhej strane je nutné prihliadať na jeho limity ako aj možné riziká súvisiace s faktom, že ide o nepriamu metódu odhaľovania dopingu, kde vstupuje subjektívny názor posudzovateľov. Ako najvýraznejšie riziko v kontexte tohto vnímame fakt, že by teoreticky mohol byť potrestaný športovec, ktorý neporušil antidopingové pravidlá, čo považujeme za neprijateľné. Súčasťou boja proti dopingu nemôže byť riziko potrestania nevinného športovca.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- ALBERTY, R. – PUPIŠ, M. - VACHALÍK, V. & BÁTOVSKÝ, M. 2021. Diurnal variation in red blood cell variables in athletes after single and repeated bouts of exercise. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. Vol. 61, no. 2 (2021), pp. 269-279.
- Al-Sweedan, S.A - Alhaj, M. 2012. The effect of low altitude on blood count parameters, *Hematology/Oncology and Stem Cell Therapy*, Volume 5, Issue 3, 2012, Pages 158-161.
- BANFI, G. 2011. Limits and pitfalls of Athlete's Biological Passport. *Clin Chem Lab Med* 49:1417–1421.

- BANFI, G. – LOMBARDI, G. – COLOMBINI, A. & LIPPI, G. 2011. Analytical variability in sport hematology: its importance in an antidoping setting. *Clin Chem Lab Med* 49:779–782.
- EASTWOOD, A. – BOUDRON, P.C. – SNOWDEN, K.R. & GORE, C.J. 2012. Detraining decreases Hb (mass) of triathletes. *Int J Sports Med*. 2012;33(4):253–257
- Hamlin, M.J. - Manimmanakorn, A. - Creasy, R.H. - Manimmanakorn, N. 2015. Live High-Train Low Altitude Training: Responders and Non-Responders. *J Athl Enhancement*
- Chapman, R.F., Stray-Gundersen, J., & Levine, B.D. 1998. Individual variation in response to altitude training. *Journal of Applied Physiology* Killilea DW., Kuypers FA., Larkin SK., & Schultz, K. 2022. Blood draw site and analytic device influence hemoglobin measurements. *PLoS ONE* 17(11): e0278350.
- LIPPI, G. - BANFI, G. & MAFFULLI, N. 2010. Preanalytical variability: the dark side of the moon in blood doping screening. *Eur J Appl Physiol* 109:1003–1005.
- Lippi, G. - Franchini, M. - Salvagno, G.L. – Guidi, G.C. 2006. Intermittent hypoxic training: doping or what? In: *European Journal of Applied Physiology*, Volume 108, Number 2, 411-412.
- LIPPI, G. & PLEBANI, M. 2011. Athlete's biological passport: to test or not to test? *Clin Chem Lab Med* 49:1393–1395.
- Morris, S.S. – Ruel, M.T. – Cohen, R.J. – Dewey, K.G. - de la Brière, B. – Hassan, M.N. 1999. Precision, accuracy, and reliability of hemoglobin assessment with use of capillary blood. *Am J Clin Nutr*. 1999 Jun;69(6):1243-8.
- MULLEN, J. – BAEKKEN, L. – BERGSTRÖM, H. - BJÖRKHEM BERGMAN, L. – ERICSSON, M. - EKSTRÖM, L. 2020. Fluctuations in hematological athlete biological passport biomarkers in relation to the menstrual cycle. *Drug Test Anal*. 2020 Sep;12(9):1229-1240. doi: 10.1002/dta.2873. Epub 2020 Jun 18. PMID: 32497419.
- NUMMELA, A. - ERONEN, T. - KOPONEN, A. - TIKKANEN, H. - PELTONEN, J.E. 2021. Variability in hemoglobin mass response to altitude training camps. *Scand J Med Sci Sports*. 2021;31:44–51
- PUPIŠ, M. 2021. Biologický pas športovca - benefity a riziká interpretácie výsledkov = Athlete biological passport - benefits and risks of the interpretation of the results In: *Česká kinantropologie*, Vol. 25, no. 3-4 (2021), pp. 97-105.

- Pupiš, M. - Pupišová, Z. - Franek, V.- Švantner, R. – Barthová. M. – Liška, D. - Brünn, D. & Sýkora, J. 2023. Biologický pas športovca a jeho potenciálne limity In: Kyslík, krv a šport : Banská Bystrica : SAKT, 2023. - ISBN 978-80-974024-3-3. - S. 5-13.
- PUPIŠ, M. – BURZALOVÁ, H. – PUIŠOVÁ, Z. & BAKO, K. 2024a. Infradiánne osobitosti hematologickej variácie športovkýň. In: *Studia Kinanthropologica* (v tlači).
- PUPIŠ, M. - BRÜNN, D. - PUIŠOVÁ, Z. - SÝKORA, J. & BAKO, K. 2024b. The impact of blood sampling location on results in the athlete's biological passport. In : *Gazzetta Medica Italiana - Archivio per le Scienze Mediche* (v tlači).
- Pupiš, M. & Franek, V. 2024c. Má hydratácia vplyv na hematologické zmeny vytrvalcov? In: *Atletika 2024, Kondičný tréning v roku 2024 a Plávanie 2024 : elektronický zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie*. - 1. vyd. - Banská Bystrica : Fakulta telesnej výchovy, športu a zdravia UMB v Banskej Bystrici, 2024. - ISBN 978-80-974024-6-4. - S. 15-20
- PUPIŠ, M. - PUIŠOVÁ, Z. & BAKO, K. 2024d. Is an altitude below 1400 meters above sea level sufficient to trigger an adaptive response?. In : *Gazzetta Medica Italiana - Archivio per le Scienze Mediche* (v tlači).
- RUSKO, H. K. TIKKANEN, H.O. & PELTONEN, J.E. 2004. Altitude and endurance training. *J Sports Sci* . 2004 Oct;22(10):928-44.
- SANCHIS-GOMAR, F. - MARTINEZ-BELLO, V.E. - GOMEZ-CABRERA, M.C. & VIÑA, J. 2011. Current limitations of the Athlete's Biological Passport use in sports. *Clin Chem Lab Med* 49:1413–1415.
- Singh, K. et al. 2014. Long-term stay at low altitude (1,200 m) promotes better hypoxia adaptation and performance. In: *Indian J Physiol Pharmacol*, 2014 Oct-Dec;58(4):376-80.
- SCHUMACHER, Y.O. et al. 2010. Diurnal and exercise-related variability of haemoglobin and reticulocytes in athletes. *Int J Sports Med*, 31, 225–230.
- SCHUMACHER, Y.O. & POTTGIESSER, T. 2011. The impact of acute gastroenteritis on haematological markers used for the athletes biological passport - report of 5 cases. *Int J Sports Med* 2011, 32:147-150.
- SCHUMACHER, Y.O. - KLODT, F. - NONIS, D. - POTTGIESSER, T. - ALSAYRAFI, M. - BOURDON, P.C. & VOSS, S.C. 2012. The impact

of long-haul air travel on variables of the athlete's biological passport. *Int. J. Lab. Hematol* 2012.

Schumacher, Y.O. - Garvican, L.A. - Christian, R. - Lobigs, L.M. - Qi, J. - Fan, R. - He, Y. - Wang, H. - Gore, C.J. & Ma, F. 2015. High altitude, prolonged exercise, and the athlete biological passport. *Drug test anal.* [online] Aspetar Orthopedic & Sports Medicine Hospital, Doha, Qatar.

WADA (Athlete Biological Passport Operating Guidelines). 2023.

WIEHL, D.G. 1946. Accuracy of Hemoglobin Determinations on Finger-Tip Blood. *The Milbank Memorial Fund Quarterly* Vol. 24, No. 1 (Jan., 1946), pp. 5-28

WILBER, R. L. - STRAY-GUNDERSEN, J. & LEVINE, B.D. 2007. Effect of hypoxic "dose" on physiological responses and sea-level performance. *Med Sci Sports Exerc* , 39, 1590–1599.

ANALÝZA VYBRANÝCH HEMATOLOGICKÝCH PARAMETROV REKREAČNÝCH ŠPORTOVKÝŇ

Stanislava Straňavská - David Brúnn

*Fakulta telesnej výchovy, športu a zdravia Univerzity Mateja Bela v
Banskej Bystrici, Slovenská republika*

ABSTRAKT

Cieľom výskumu bolo porovnať výsledky vybraných hematologických parametrov na základe miesta odberu u rekreačných športovkýň. Do nášho výskumu bolo zapojených 5 rekreačných športovkýň, ktoré sa venujú vo voľnom čase vytrvalostnej aktivite. Probandky, ktoré boli do výskumu zapojené sme vybrali zámerné. Boli to ženy vo veku od 40 – 50 rokov, ktoré sa minimálne 4x do týždňa venujú vytrvalostnej aktivite na rekreačnej úrovni. Všetky zapojené probandky absolvovali v akreditovanom laboratóriu nalačno v ranných hodinách medzi 7:00 – 8:00 hod. odber krvi z obidvoch paží. Spracovaním výsledkov sme zistili, že v hematologických parametroch medzi pravou pažou a ľavou pažou sú rozdiely. Z hematologických parametrov sme sa zamerali na hladinu hemoglobínu a podiel retikulocytov. Najvyšší rozdiel v hladine hemoglobínu medzi pravou a ľavou pažou, ktorý sme zaznamenali bol 7 g.l^{-1} a v podiele retikulocytov medzi pravou a ľavou pažou sme zaznamenali rozdiel 0,3 %. Napriek tomu, že v našom výskume sme nezaznamenali výrazné rozdiely u viacerých probandkách odporúčame preskúmať väčšiu skupinu rekreačných športovcov a porovnať výsledky hematologických parametrov medzi pravou a ľavou pažou.

Výskum bol riešený v rámci projektu **VEGA 1/0707/22 - Špecifiká variability hematologických ukazovateľov sledovaných v biologickom pase športovca.**

KLÍČOVÉ SLOVÁ: ľavá paža, pravá paža, rekreačný šport, športovkyne, vytrvalosť

ABSTRACT

ANALYSIS OF SELECTED HAEMATOLOGICAL PARAMETERS OF FEMALE RECREATIONAL ATHLETES

The aim of the research was to compare the results of selected hematological parameters based on the site of collection in female

recreational athletes. Five female recreational athletes who engage in endurance activity in their leisure time were included in our research. We deliberately selected the female probands who were involved in the research. They were women aged between 40 - 50 years old who engage in endurance activity at a recreational level at least 4 times a week. All participating probands underwent a fasting blood draw from both arms in an accredited laboratory in the morning between 7:00 - 8:00 am. By processing the results, we found that there were differences in hematological parameters between the right arm and the left arm. Among the hematological parameters, we focused on the hemoglobin level and the proportion of reticulocytes. The highest difference in haemoglobin level between the right and left arms that we observed was $7 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ and in the proportion of reticulocytes between the right and left arms we observed a difference of 0.3%. Although we did not observe significant differences in several probands in our study, we recommend to investigate a larger group of recreational athletes and compare the results of hematological parameters between the right and left arms. The research was conducted within the project VEGA1/0707/22 (Specifics of variability of haematological markers in Athlete Biological Passport).

KEY WORDS: left arm, right arm, recreational sports, female athletes, endurance.

ÚVOD

U športujúcich ľudí je dôležité poznať ich hematologické parametre, keďže okrem odhalenia krvného dopingu poskytujú aj informáciu odozvy na tréning a o celkovom zdraví jedinca (Malczewská-Lenczowska et al., 2019). Športovci patria medzi rizikovú skupinu v súvislosti s poruchami metabolizmu železa (Milic et al., 2011), pričom keď nie sú správne liečené môžu byť dôsledkom anémie. V porovnaní s mužmi sú ženy viac ohrozené rizikom nedostatku železa, keďže okrem nedostatočného príjmu železa dôsledkom rôznych diét (Hinton et al., 2004) na to vplyva aj menštruačný cyklus (Malcewska, Racsynski & Stupnicki, 2000). Viaceré štúdie (Schumacher et al., 2000; Banfi et al., 2006; Di Santolo et al., 2008) uvádzajú, že hematologické parametre sa vplyvom tréningu akým je aj vytrvalostný tréning môžu meniť. U žien, ktoré sa venujú vytrvalostným športom boli zistené najväčšie hodnoty hematologických parametrov, ktoré

poskytujú informáciu aj o množstve hemoglobínu (Dopsaj et al., 2008). Ako uvádza Malczewska et al. (2001) pravidelné cvičenie môže spôsobiť vyčerpanie zásob železa. Banfi & Del Fabbro (2007) uvádzajú, že v závislosti od druhu športu sa líši aj množstvo retikulocytov, pričom vplyvom tréningu väčšinou dochádza k ich poklesu. Množstvo retikulocytov je dôležitý ukazovateľ pri monitorovaní tréningu (Lombardi et al., 2013). Hematologické parametre u rekreačných vytrvalostných športovcov sledovali Diaz-Garzon et al. (2023), ktorí dospeli k záveru, že cvičenie a zdravotný stav športovcov nevyplýva na hodnoty väčšiny parametrov, keďže zistené hodnoty boli podobné s hodnotami bežnej populácie.

CIEĽ

Cieľom štúdie je porovnať vybrané hematologické parametre rekreačných športovkýň na základe miesta odberu.

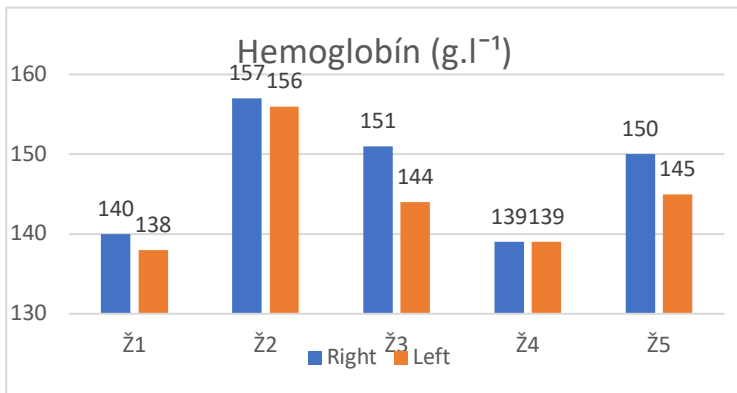
METODIKA

Do výskumu boli zapojené rekreačné športovkyne, ktoré sa venujú vo svojom voľnom čase vytrvalostnej aktivite. Celkovo bolo do výskumu zapojených 5 probandiek vo veku 40 – 50 rokov. Výskum prebiehal v mesiaci máj 2024, kedy sme zámerným výberom vybrali probandky, ktoré sme do nášho výskumu zapojili. Podmienkou k výberu probandiek bolo aby sa vytrvalostnej aktivite venovali minimálne 4x do týždňa. K získaniu údajov potrebných k výskumu, probandky absolvovali nalačno v ranných hodinách medzi 7:00 – 8:00 hod. v akreditovanom laboratóriu odber krvi z oboch paží.

VÝSLEDKY

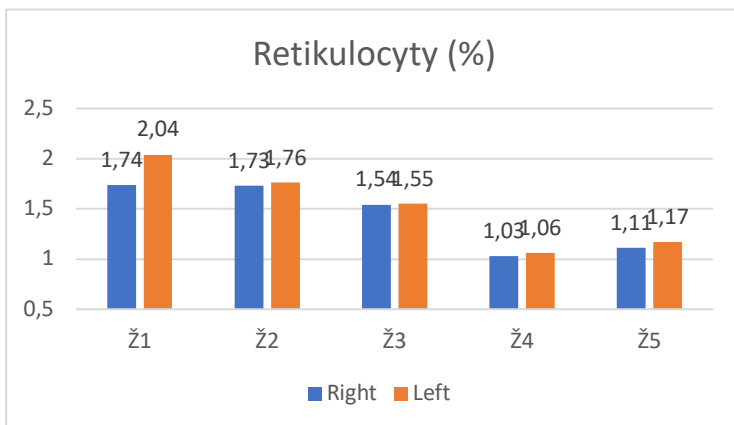
Na základe hematologických parametrov probandiek sme porovnali hodnoty hladín hemoglobínu a podielu retikulocytov medzi pravou a ľavou pažou. Môžeme konštatovať, že v hodnotách medzi pravou a ľavou pažou sme zaznamenali len malé rozdiely. V hodnote hemoglobínu sme najvyšší rozdiel medzi pravou a ľavou pažou zaznamenali u probandky Ž3, kde bol rozdiel 7 g.l^{-1} (right 151 g.l^{-1} , left 144 g.l^{-1}). U probandky Ž5 sme zaznamenali medzi pravou a ľavou pažou 5 g.l^{-1} (right 150 g.l^{-1} , left 145 g.l^{-1}). U ďalších troch probandiek sme zaznamenali nízke rozdiely hemoglobínu medzi

pravou a ľavou pažou. Rozdiely medzi pravou a ľavou pažou sa pohybovali na rozhraní medzi 0 – 2 g.l⁻¹. Pri pravej paži bola u probandiek priemerná hladina hemoglobínu 147,4 g.l⁻¹ a pri ľavej paži bol priemerná hladina hemoglobínu 144,4 g.l⁻¹ rozdiel medzi pažami bol 3 g.l⁻¹ (obr. 1). Viacerí autori, ktorí sa zaoberali podobnou problematikou uvádzajú, že poloha tela (sed, ľah, stoj) ovplyvňuje výsledky spojené s hladinou hemoglobínu (Lippi et al., 2015; Lima-Oliveira et al., 2017).



Obrázok 1 Porovnanie hladiny hemoglobínu medzi pravou a ľavou pažou u probandiek

Pri porovnaní podielu retikulocytov sme u probandiek zaznamenali priemernú nameranú hodnotu z pravej paže 1,43 % a z ľavej paže 1,516 %, čo predstavuje rozdiel 0,086 %. Pri probandke Ž1 sme zaznamenali najvýraznejší rozdiel medzi pravou a ľavou pažou 0,3 %. Pri probandke Ž5 sme zaznamenali rozdiel podielu retikulocytov medzi pravou a ľavou pažou 0,06 %. U ďalších troch probandkách sa pohyboval rozdiel v podiele retikulocytov medzi 0,01 – 0,03 % (obr. 2).



Obrázok 2 Porovnanie podielu retikulyocytov medzi pravou a ľavou pažou u probandiek

ZÁVER

V našom výskume sme sa zamerali na to, či hematologické parametre, konkrétne hladinu hemoglobínu a podiel retikulyocytov môže ovplyvniť to, z ktorej paže je odobraná vzorka krvi. Dospeli sme k zisteniu, že medzi pravou a ľavou pažou sme zaznamenali rozdiely v hladine hemoglobínu a taktiež v podiele retikulyocytov, avšak zistené rozdiely neboli výrazne. Napriek tomu, že rozdiely medzi pravou a ľavou pažou v hladine hemoglobínu a taktiež v podiele retikulyocytov neboli výrazne odporúčame vzhľadom na limity tejto štúdie preskúmať väčšiu skupinu rekreačných športovcov a porovnať hematologické parametre na základe miesta odberu, teda výsledky z odberu pravej a ľavej paže.

ZHRNUTIE

V našom výskume sme sa zamerali na rekreačné športovkyne, ktoré sa vo svojom voľnom čase venujú vytrvalostnej aktivite. Probandky, ktoré boli zapojené do výskumu sa venujú rekreačnej vytrvalostnej aktivite minimálne 4x do týždňa. Do výskumu bolo zapojených 5 probandiek, ktoré boli vo veku medzi 40 – 50 rokov. Výskum sa uskutočnil v mesiaci máj 2024, kedy všetky probandky zapojené do výskumu absolvovali nalačno v ranných hodinách medzi 7:00 – 8:00 hod. v akreditovanom laboratóriu odber krvi z oboch paží. Na základe hematologických parametrov sme spracovali výsledky.

Z hematologických parametrov sme konkrétne porovnali hladinu hemoglobínu medzi pravou a ľavou pažou probandiek a taktiež podiel retikulocytov medzi pravou a ľavou pažou. Po spracovaní výsledkov môžeme konštatovať, že sme u probandiek zaznamenali rozdiely. U niektorých probandkách boli rozdiely výraznejšie a pri niektorých boli zanedbateľné. Najväčší rozdiel v hladine hemoglobínu medzi pravou a ľavou pažou bol u jednej probandky na úrovni 7 g.l^{-1} a u jednej probandky bol rozdiel 5 g.l^{-1} . U ďalších troch probandiek bol rozdiel medzi pravou a ľavou pažou v hladine hemoglobínu zanedbateľný. Pri podiele retikulocytov sme zaznamenali medzi výsledkami z pravej a ľavej paže taktiež rozdiely. Najväčší rozdiel v podiele retikulocytov medzi pravou a ľavou pažou predstavoval u jednej probandky 0,3 %. Menej výrazný rozdiel v podiele retikulocytov medzi pravou a ľavou pažou bol ešte u jednej probandky a to 0,06 %. Pri ďalších probandkách boli rozdiely v podiele retikulocytov medzi pravou a ľavou pažou nevýrazne. Na základe našich výsledkov odporúčame preskúmať väčšiu skupinu rekreačných vytrvalostných športovcov a porovnať hematologické parametre medzi pravou a ľavou pažou.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- BANFI, G., & DEL FABBRO, M. (2007). Behaviour of reticulocyte counts and immature reticulocyte fraction during a competitive season in elite athletes of four different sports. *International Journal of Laboratory Haematology*, 29, 127–131. doi: 10.1111/j.1751-553X.2006.00847
- BANFI G., MAURI, C., MORELLI, B., DI GAETANO, N., MALGERI, U., & MELEGATI, G. (2006). Reticulocyte count, mean reticulocyte volume, immature reticulocyte fraction, and mean spheroid cell volume in elite athletes: reference values and comparison with the general population. *Clin Chem Lab Med* 44:616–622
- DIAZ-GARZON, J., FERNANDEZ-CALLE, P., KAARSAND, A., SANDBERG, S., COSKUN, A., EQUEY, T., AIKIN, R., & BUNO SOTO, A. (2023). Long-term within – and Between-Subject Biological variation data of hematological parameters in recreational endurance athletes. *Clinical Chemistry*, Volume 69, Issue 5, pages 500-509.
- DI SANTOLO, M., STEL, G., BANFI, G., GONANO, F., & CAUCI, S. (2008). Anemia and iron status in young fertile non-professional female athletes. *Eur J Appl Physiol* 102:703–709

- DOPSAJ V, SUMARAC Z, NOVAKOVIC N, & DOPSAJ M (2008). Determination of parameters of iron status in evaluation of anemia in elite young Serbian water polo players. *Serb J Sports Sci* 2:91–100
- HINTON, PS., SANFORD, TC., DAVIDSON, MM., YAKUSHKO, OF., & BECK, NC. (2004). Nutrient intake and dietary behaviors of male and female collegiate athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 14:389–405.
- LIMA-OLIVEIRA, G., GUIDI, G.C., SALVAGNO, G.L., DANESE, E., MONTAGNANA, M. & LIPPI, G. (2017). Patient posture for blood collection by venipuncture: recall for standardization after 28 years. *Rev Bras Hematol Hemoter*. 39(2):127-132.
- LIPPI, G., SALVAGNO, G.L., LIMA-OLIVEIRA, G., BROCCO, G., DANESE, E. & GUIDI, G.C. (2015). Postural change during venous blood collection is a major source of bias in clinical chemistry testing. *Clin Chim Acta*. 440:164
- LOMBARDI, G., COLOMBINI, A., LANTERI, P., & BANFI, G. (2013). Reticulocytes in sports medicine: An update. *Advances in Clinical Chemistry*, 59, 125–153. PMID: 23461135
- MALCZEWSKA-LENCZOWSKA, J., SURAŁA, O., ORYSIAK, J., TUROWSKI, D., SZCZEPAŃSKA, B., & TOMASZEWSKI, P. (2019). Utility of novel hypochromia and microcythemia markers in classifying hematological and iron status in male athletes. *Nutrients*; 11:2767.
- MILIC, R., MARTINOVIC, J., DOPSAJ, M. & DOPSAJ, V. (2011). Haematological and iron-related parameters in male and female athletes according to different metabolic energy demands. Vol. 111, p. 449-458.
- MALCZEWSKA, J., RACZYNSKI, G., STUPNICKI, R. (2000). Iron status in female endurance athletes and in non-athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 109:260–276.
- MALCZEWSKA, J., SZCZEPANSKA, B., STUPNICKI, R., & SENDECKI, W. (2001). The assessment of frequency of iron deficiency in athletes from the transferrin receptor-ferritin index. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 11:42-52
- MILIC, R., MARTINOVIC, J., DOPSAJ, M. & DOPSAJ, V. (2011). Haematological and iron-related parameters in male and female athletes according to different metabolic energy demands. Vol. 111, p. 449-458.

ÚČINNOSŤ HYPOXIE A VYSOKOINTENZÍVNEHO INTERVALOVÉHO ZAŤAŽENIA NA VÝKON PLAVCOV

Zuzana Pupišová - Dávid Liška - Miroslava Rošková
*Fakulta telesnej výchovy, športu a zdravia Univerzity Mateja Bela v
Banskej Bystrici, Slovenská republika*

ABSTRAKT

Zámerom predloženej práce bolo zistiť a analyzovať účinnosť vplyvu 3 týždňového hypoxického resp. normoxického tréningu na výkon plavcov na 50VS, 400VS a na zmeny vo $VO_2\max$. Výskumný súbor tvorilo 10 vrcholových plavcov, ktorý pravidelne reprezentujú Slovenskú republiku na národných aj medzinárodných pretekoch. Priemerný vek probandov bol 20,6 roka ($\pm 2,4$), priemerná telesná výška bola 174 cm a priemerná telesná hmotnosť 68,6 kg. Výskumný súbor absolvoval vstupné testovanie v disciplínach 50VS a 400VS, pričom sme zisťovali aj hodnoty $VO_2\max$ a hemoglobínu. Následne bol aplikovaný 3 týždňový tréningový podnet v normoxických podmienkach, priebežné merania boli realizované 3 dni po ukončení obdobia, následne bol aplikovaný 6 týždňový hypoxický tréning a výstupné merania boli opäť realizované 3 dni po ukončení. Výsledky poukazujú na priemerné zmeny vplyvom HIIT v disciplíne 50VS o 0,11sek, v disciplíne 400VS o 0,83 sek, v hodnotách $VO_2\max$ o 0,9 ml.kg⁻¹.min⁻¹ a v hodnotách hemoglobínu o 0,6 g/l. Vplyvom hypoxie sme zaznamenali zmeny v 50VS o 0,67sek., v disciplíne 400VS o 0,3 sek, v hodnotách $VO_2\max$ o 3,7 ml.kg⁻¹.min⁻¹ a v hodnotách hemoglobínu o 5,9 g/l. Na základe uvedeného nemôžeme jednoznačne potvrdiť vplyv niektorého z podnetov ako efektívnejší skôr vidíme zmeny ako vysokoindividuálne.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: hypoxia, normoxia, plavecký výkon.

ABSTRACT

EFFECTIVENESS OF HYPOXIA AND HIGH-INTERVAL LOADING ON SWIMMERS' PERFORMANCE

The aim of the present study was to investigate and analyze the effectiveness of the effect of 3 weeks of hypoxic and normoxic training on the performance of swimmers at 50VS, 400VS and changes in

VO₂max, respectively. The research population consisted of 10 top swimmers who regularly represent the Slovak Republic at national and international competitions. The mean age of the probands was 20.6 years (± 2.4), mean body height was 174 cm and mean body weight was 68.6 kg. The research population underwent initial testing in the 50VS and 400VS disciplines, and VO₂max and haemoglobin values were also collected. Subsequently, a 3-week training stimulus was applied under normoxic conditions, continuous measurements were taken 3 days after the end of the period, followed by a 6-week hypoxic training stimulus, and exit measurements were again taken 3 days after termination. The results showed mean changes due to HIIT of 0.11 sec in the 50VS discipline, 0.83 sec in the 400VS discipline, 0.9 ml.kg⁻¹.min⁻¹ in VO₂max and 0.6 g/l in haemoglobin values. Due to hypoxia, we observed changes in 50VS by 0.67 sec, in 400VS discipline by 0.3 sec, in VO₂max values by 3.7 ml.kg⁻¹.min⁻¹ and in haemoglobin values by 5.9 g/l. Based on the above, we cannot clearly confirm the impact of any of the stimuli as more effective rather we see the changes as highly individual.

KEYWORDS: hypoxia, normoxia, swimming performance.

ÚVOD

Hypoxický tréning je v posledných rokoch vo svete často využívanou praxou plavcov, trénerov ale aj vedcov, ktorí sa snažia prísť na výhody hypoxických podmienok na výkon jednotlivých športovcov. Medzi najčastejšie využívané formy patrí tréning vo vysokej nadmorskej výške alebo pobyt vo vysokej nadmorskej výške a tréning v nižšej nadmorskej výške (Morris et al., 2000; Peltonen, 2001; Wilber, 2004, Kay et al., 2008; Suchý et al., 2008). Často sa však stretávame aj s využívaním simulovaných hypobarických a normobarických hypoxických podmienok. Hypobarická hypoxia je charakterizovaná zníženým tlakom vzduchu, normálnou koncentráciou kyslíka, pričom sa využíva hypobarická komora, kde sa simuluje vysoká nadmorská výška. Je vhodnejšia pre simuláciu vysokohorských podmienok. Normobarická hypoxia je charakterizovaná normálnym tlakom vzduchu, zníženou koncentráciou kyslíka a realizáciou v normobarickej komore alebo pomocou hypoxických masiek. Jej účinky sú odlišné od vysokohorského prostredia, avšak ľahšie aplikovateľná a bezpečnejšia v bežných podmienkach. Môže ovplyvniť

najmä saturáciu kyslíka v krvi bez ďalších objasnených účinkov vzniknutými zmenami tlaku.

Štúdie autorov Yamyji-Shephard (1985); Murphy (1986), Robbins et al.(1992), Nishimura et al. (2010) a Scott et al. (2014) popisujú nejasný vplyv hypoxie na stredný a vytrvalostný výkon. V našom výskume (Pupišová et al., 2024) výsledky poukazujú na pozitívny vplyv hypoxických podmienok na opakované zaťaženie a tak sme sa rozhodli, že zistíme úroveň vplyvu na jednorázový výkon na 400 metrov. Plavci v priebehu tréningov absolvujú zväčša veľký vysokointenzívny objem, pomocou ktorého zvyšujú silu a vytrvalosť (Hibbert et al., 2016). Zistenie, či môže byť hypoxia jednou z možností ako efektívne zlepšiť tieto schopnosti považujeme za vysoko aktuálne a prínosné.

Rovnako za prínosné považujeme sledovať aj zmeny v hodnotách hemoglobínu, kde v súlade s grantovou úlohou **VEGA 1/0707/22 - Špecifiká variability hematologických ukazovateľov sledovaných v biologickom pase športovca** sme sa zamerali aj na tieto vybrané parametre, ktoré dokresľujú vplyv na odozvu organizmu vplyvom hypoxického intermitentného tréningu príp. vysokointenzívneho intervalového tréningu.

V našich podmienkach je zaujímavé využívanie intermitentného hypoxického tréningu, nakoľko zaberá kratší čas a trvanie. Navyše športovec nemusí nikam cestovať a tráviť čas transportom. Zvyčajne sa aplikácia využíva menej ako 3 hodiny a 2 – 5 krát týždenne v rozsahu 2 až 6 týždňov (Millet et al., 2014; Pupiš et al., 2014; Hamlin et al., 2017). Aj pri tomto type tréningu je však potrebné v prvé dni aplikácie znížiť tréningový objem a intenzitu, aby nebol športovec pretrénovaný.

V našom výskume sme sa rozhodli v súlade s grantovou úlohou **VEGA 1/0547/22 (Využitie hypoxie a hyperoxie v športovej príprave)** zistiť vplyv IHT, zahŕňajúci krátke inhalácie hypoxického vzduchu prerušované krátkymi inhaláciami normoxického vzduchu po dobu 6 týždňov. Vplyv IHT budeme porovnávať s vplyvom vysokointenzívneho intervalového tréningu v rovnakej dĺžke aplikácie.

CIEĽ

Cieľom nášho výskumu bolo kvantifikovať vplyv intermitentného hypoxického tréningu a vysokointenzívneho intervalového tréningu na výkon plavca.

METODIKA

Výskumný súbor tvorilo $n = 10$ vrcholových plavcov (7 mužov a 3 ženy), ktorý pravidelne reprezentujú Slovenskú republiku na národných aj medzinárodných pretekoch. Priemerný vek probandov bol 20,6 roka ($\pm 2,4$), priemerná telesná výška bola 174 cm a priemerná telesná hmotnosť 68,6 kg.

Výskumný súbor absolvoval najprv vstupné testovanie (VT1), pričom sme v ranných hodinách zisťovali hodnoty $VO_2\max$ a hemoglobínu a následne v poobedných hodinách sme zisťovali čas v plaveckých disciplínach 50VS a 400VS. Následný deň bol aplikovaný 3 týždňový vysokointenzívny intervalový tréningový podnet v normoxických podmienkach. Následne sme 3 dni po ukončení 3 týždňového tréningového zaťaženia realizovali priebežné testovanie (VT2). Následný deň bol aplikovaný 3 týždňový hypoxický tréning a výstupné testovanie (VT3) boli opäť realizované 3 dni po ukončení výskumu.

Testovanie plaveckých disciplín 50VS (T1) a 400VS (T2) sme realizovali na plavárni s 25 metrových bazénom.

Inhaláciu s koncentrátom kyslíka sme vykonali s prístrojom New Life Intensity 2x10 l, (ktorý produkuje kyslíkový koncentrát 90 % \pm 3 pri prietoku 10 l.min⁻¹ a výstupných tlakom kyslíku na úrovni 138kPa), pričom sme postupovali podľa pokynov výrobcu.

Klasický tréningový podnet bol aplikovaný v ranných hodinách pri oboch sledovaných obdobiach, v poobedných hodinách bol realizovaný vysokointenzívny intervalový tréning resp. aplikovaný intermitentný hypoxický tréning (oba realizované 3 x týždenne).

Vzhľadom k početnosti výskumného súboru sme sa zamerali na vyhodnotenie výsledkov pomocou základných matematicko-štatistických a deskriptívnych metód. Sme názoru, že vplyv intermitentného hypoxického tréningu je nutné posudzovať individuálne hlavne pokiaľ sa jedná o vrcholových a výkonnostných športovcov.

Vysokointenzívny intervalový tréning pozostával:

Rozohriate: 5min ťahanie odporových gúm a roller

Rozplávanie: 400 metrov voľne, v nízkej intenzite

Hlavná časť: 4 x 50m nohy (fartlek) striedať plavecké spôsoby, IO 30sek., 4 x 50m prsiarske paže (fartlek) IO 30sek., pyramída 100VS mierna intenzita+75m vysoká intenzita+50max rýchlosť+25m šprint s odpočinkom 30sek medzi úsekmi, IO 3min medzi sériou a opakovať v opačnom poradí, následne sériu zopakovať, 50m vyplávať, 200m znak strednou intenzitou, 300 ľubovoľne nohy strednou intenzitou, 200m kraulom nízkou intenzitou a nádychom 5-7 záber, 250 prsia na dlhý záber. Spolu: 2,8km

Intermitentný hypoxický tréning pozostával:

Simulovali sme výšku 4500 m.n.m., pričom dĺžka aplikácie bola 5 min inhalácia a 5min normoxia v rozsahu 90min. Kontrolovali sme saturáciu kyslíka, ktorú sme sa snažili držať v rozmedzí medzi 75 - 80%.

VÝSLEDKY

V tabuľke 1 uvádzame výsledky zistené v našom výskume. Zamerali sme sa zisťovanie zmien v hodnotách $VO_2\text{max}$ a hemoglobínu, v bazéne zase na plavecké disciplíny 50VS a 400VS.

Vo výsledkoch uvádzame výsledky vstupného testovania (VT1), priebežného testovania (VT2) a výstupného testovania (VT3). medzi vstupným (VT1) a priebežným testovaním (VT2) bol realizovaný vysokointenzívny intervalový plavecký tréning a medzi priebežným (VT2) a výstupným testovaním (TV3) bol aplikovaný intermitentný hypoxický tréning. Obe obdobia trvali 3-týždne a testovanie (priebežné a výstupné) bolo realizované 3 dni po ukončení aplikácie.

Tabuľka 1 Výsledky testovania vplyvu vysokointervalového tréningu resp. hypoxie

Proband	50VS (sek.)			400VS (sek.)			VO ₂ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)		
	VT1	VT2	VT3	VT1	VT2	VT3	VT1	VT2	VT3
1.	30,5	30,1	29,6	248,7	247,5	246,2	55,1	56,5	60,3
2.	30,9	30,7	30,1	253,7	252,4	251,8	53,7	55,4	58,7
3.	29,8	29,6	29,1	240,8	240,1	240,0	56,3	57,9	60,3
4.	31,4	31,0	30,3	265,3	264,4	263,1	52,9	54,3	58,6
5.	28,8	29,5	28,0	238,6	237,7	238,2	57,4	58,9	61,0
6.	30,0	29,6	28,9	242,2	241,4	242,5	54,9	56,4	59,8
7.	29,7	29,5	28,8	241,8	240,7	240,5	58,1	59,2	61,6
8.	29,2	29,0	28,7	240,5	240,0	240,9	55,8	57,4	60,8
9.	28,9	29,3	28,5	239,7	239,5	239,1	56,2	57,7	60,7
10.	30,1	29,9	29,5	246,5	245,8	244,2	52,8	53,7	57,4
priemer	29,9 3	29,8 2	29,1 5	245,7 8	244,9 5	244,6 5	55,3 2	56,7 4	59,9 2
SD	0,80	0,59	0,68	7,89	7,76	7,24	1,71	1,75	1,24
min	28,8	29,0	28,0	238,6	237,7	238,2	52,8	53,7	57,4
max	31,4	31,0	30,3	265,3	264,4	263,1	58,1	59,2	61,6

Výsledky uvádzané v tabuľke 1 poukazujú na úroveň vplyvu vysokointenzívneho intervalového plaveckého tréningu v priemere o 0,11sek (SD 0,80 vs 0,59). Vplyvom hypoxického tréningu nastalo priemerné zlepšenie o 0,67sek. (SD 0,59 vs 0,68). V hodnotách najlepších výkonov nastalo priemerné zhoršenie po vysokointenzívnom intervalovom tréningu o 0,2 sek. no v max časoch zlepšenie o 0,4sek. Po hypoxickom tréningu nastalo v najlepších výkonoch zlepšenie o 1 sek. a v max o 0,7sek. Na základe výsledkov

z testu 50VS hodnotíme vplyv hypoxického tréningu ako efektívnejšieho na zlepšenie v najkratšej pretekárskej disciplíne.

V teste na 400 metrov voľným spôsobom sme zaznamenali zmiešané a nejednoznačné výsledky. V priemerných hodnotách sme zaznamenali vplyvom vysokointenzívneho intervalového tréningu zlepšenie o 0,83 sek, vplyvom hypoxie o 0,3 sek. Na základe priemerných hodnôt považujeme vysokointenzívny intervalový tréning ako vhodnejší pre plavcov špecializujúcich sa na strednú vytrvalosť. V min hodnotách sme dokonca vplyvom hypoxie zaznamenali mierny pokles výkonnosti. V max hodnotách však bolo zistené zlepšenie vplyvom oboch období (1,1 sek vs 1,3 sek.).

V hodnotách $VO_2\text{max}$ sme zaznamenali priemerné zmeny na úrovni nárastu vplyvom vysokointenzívneho intervalového tréningu o 0,9 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ a vplyvom hypoxie o 3,7 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.

V hodnotách hemoglobínu sme zaznamenali nerovnomerné nárasty resp. aj zníženia hodnôt, pričom v priemerných hodnotách sa probandi vplyvom vysokointenzívneho intervalového tréningu zlepšili o 0,6 g/l a vplyvom hypoxie o 5,9 g/l. Na základe uvedeného nemôžeme jednoznačne potvrdiť vplyv niektorého z podnetov ako efektívnejší skôr vidíme zmeny vysokoindividuálne. I keď na základe hodnôt zmien v hodnotách hemoglobínu môžeme uvažovať o vhodnejšom využívaní hypoxického tréningu.

DISKUSIA

Naše výsledky potvrdzujú aj autori Czuba et al. (2011), ktorí poukazujú, že účinnosť systému prenosu kyslíka sa najčastejšie hodnotí pomocou $VO_2\text{max}$, kde teoreticky môže hypoxický tréning metódou IHT zvýšiť aeróbnu pohybovú kapacitu a vytrvalostný výkon prostredníctvom viacerých biochemických a štrukturálnych adaptačných zmien (Faiss et al., 2013; Geiser et al., 2001; Hamlin et al., 2010). Výsledky výskumu o IHT ako účinnom protokole na zvýšenie aeróbnej cvičebnej kapacity a športovej výkonnosti v normoxickom stave však nie sú podľa autorov jednoznačné čo sa potvrdilo aj v našom výskume. Na základe individuálnych zmien v hodnotách $VO_2\text{max}$ a hemoglobínu sa domnievame, že je k týmto hodnotám nutné pristupovať vysokoindividuálne aj pri následkoch spojených s parametrami hodnotenými v biologickom pase športovca.

Vo všeobecnosti plavci plávajú denne vzdialenosti približne 5- 8 km za tréning a kumulujú veľký objem tréningu s tréningom vysokej intenzity, aby získali aeróbnu pohybovú kapacitu, anaeróbný výkon, svalovú silu a výkon (Hibberd et al. 2016). Okrem toho plavci realizujú na tréningoch a aj pretekoch takmer všetky disciplíny (šprinty, stredné aj dlhé trate), ktoré si okrem iného vyžadujú aeróbnu pohybovú kapacitu, anaeróbnu silu a vytrvalosť horných končatín. Na základe toho sme sa rozhodli porovnať vplyv normoxického vysokointenzívneho intervalového tréningového podnetu v porovnaní s intermitentnou hypoxiou, no na základe výsledkov v testoch plaveckej výkonnosti na 50 m a 400 m však nebol zistený významný efekt i keď v disciplíne 50 metrov sa javí vhodnejší vplyv hypoxického tréningu.

V minulosti sa ukázalo, že hypoxický tréning dokáže zlepšiť aeróbnu výkonnosť. V poslednom čase však vzrástol záujem o účinky hypoxického tréningu na anaeróbný výkon (Galvin et al., 2013; Hamlin et al., 2010, Park - Lim, 2017), kde sme sa využitie snažili zistiť aj u plavcov, ktorí sa špecializujú na 50 metrové plavecké vzdialenosti. Zlepšenie anaeróbného systému zásobovania energiou si vyžaduje vysokointenzívne opakované alebo intervalové tréningové režimy v hypoxických podmienkach (Brocherie et al., 2017). Niektorí autori však naznačujú, že vysoká intenzita IHT môže zlepšiť anaeróbný výkon (Bonetti et al., 2006; Faiss et al., 2013; Hendriksen - Meeuwsen, 2003). Na základe toho by bolo vhodné v ďalších výskumoch overiť súčasnú účinnosť IHT a vysokointenzívneho intervalového tréningu na výkon v plávaní.

ZÁVERY

Na základe výsledkov výskumu môžeme posudzovať, že vplyv vysokointenzívneho intervalového tréningu je vhodnejší pre plavcov špecializujúcich sa na strednú vytrvalosť. Naopak, pre šprintérov sa javí vhodnejšie do prípravy zaradiť intermitentný hypoxický tréning. Na základe výsledkov z hodnôt VO_{2max} nemôžeme vyvodit' jednoznačné závery najmä pri pohľade na priemerné hodnoty. Rovnako ako pri hodnotách hemoglobínu považujeme za nutné prihliadať na individualitu každého športovca, nakoľko u niektorých nastali pozitívne zmeny vplyvom HIIT podnetu a u niektorých nie. Naopak, vplyvom HIIT sme zaznamenali v hodnotách hemoglobínu pokles, kde ako jeden z dôvodov vidíme zvýšenú únavu po zaťažení. Pre zvýšenie

hodnôt hemoglobínu sa javí podstatne vhodnejšie využívanie intermitentného hypoxického tréningu.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

BONETTI D.L., HOPKINS W.G., KILDING A.E. (2006) High-intensity kayak performance after adaptation to intermittent hypoxia. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 1, 246-260.

CZUBA M., WASKIEWICZ Z., ZAJAC A., POPRZECKI S., CHOLEWA J., ROCZNIOK R. (2011) The effects of intermittent hypoxic training on aerobic capacity and endurance performance in cyclists. *Journal of Sports Science & Medicine* 10, 175-183.

FAISS R., GIRARD O., MILLET G.P. (2013) Advancing hypoxic training in team sports: from intermittent hypoxic training to repeated sprint training in hypoxia. *British Journal of Sports Medicine* 47, i45-i50.

GEISER J., VOGT M., BILLETER R., ZULEGER C., BELFORTI F., HOPPELER H. (2001) Training high-living low: changes of aerobic performance and muscle structure with training at simulated altitude. *International Journal of Sports Medicine* 22, 579-585.

HAMLIN M.J., MARSHALL H.C., HELLEMANS J., AINSLIE P.N., ANGLEM N. (2010) Effect of intermittent hypoxic training on 20 km time trial and 30 s anaerobic performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20, 651-661.

HAMLIN M.J., OLSEN P.D., MARSHALL H.C., LIZAMORE C.A., ELLIOT C.A. (2017) Hypoxic repeat sprint training improves rugby player's repeated sprint but not endurance performance. *Frontiers in Physiology* 8, 24.

HENDRIKSEN I.J., MEEUWSEN T. (2003) The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea-level exercise: a cross-over study in humans. *European Journal of Applied Physiology* 88, 396-403.

HIBBERD E.E., LAUDNER K.G., KUCERA K.L., BERKOFF D.J., YU B., MYERS J.B. (2016) Effect of swim training on the physical characteristics of competitive adolescent swimmers. *The American Journal of Sports Medicine* 44, 2813-2819.

KAY, B., STANNARD, S.R., & MORTON, H. (2008). Hyperoxia during recovery improve speak power during repeated Wingate cycle performance. *Brasil Biomot.*, 2, 92-100.

- MILLET G., BENTLEY D.J., ROELS B., MC NAUGHTON L.R., MERCIER J., CAMERON-SMITH D. (2014) Effects of intermittent training on anaerobic performance and MCT transporters in athletes. *PloS one* 9, e95092.
- MORRIS, D.M., KEARNEY, J.T., BURKE, E.R. (2000). The effects of breathing supplement a/oxygen medicine altitude training on cycling performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3 (2), 165-175.
- MURPHY C.L. (1986). Pure oxygen doesn't help athletes' recovery. *Physic. Sportsmed.* 14:28-31
- NISHIMURA A., SUGITA M., KATO K., FUKUDA A., SUDO A., UCHIDA A. (2010) Hypoxia increases muscle hypertrophy induced by resistance training. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 5, 497-508.
- PARK, H.J., LIM, K. (2017). Effects of Hypoxic Training versus Normoxic Training on Exercise Performance in Competitive Swimmers. *J Sports Sci Med.* 2017 Dec 1;16(4):480-488.
- PELTONEN, J., TIKKANEN, H., & RUSKO, H. (2001). Cardio respiratory responses to exercise in acute hypoxia, hyperoxia, and normoxia. *European Journal of Applied Physiology*, 85, 82-88.
- PUPIŠ, M., PUPIŠOVÁ, Z., PAVLOVIĆ, R. (2016) Influence of oxygen concentrate inhalation on performance in swimming underwater. *Sport Science* 9 (2016) 1:70-73.
- PUPIŠOVÁ Z, PUPIŠ M, & SCHNEIDEROVÁ N. (2024). Vplyv akútnej a intermitentnej hypoxie na výkon plavcov. *Studia Kinanthropologica.* 2024;25(2):81-89. doi: 10.32725/sk.2024.015.
- ROBBINS, M.K., GLEESON, K., & ZWILLICH, C.W. (1992). Effects of oxygen breathing following submaxima and maxima exercise on recovery and performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(6), 720- 725.
- SCOTT B.R., SLATTERY K.M., SCULLEY D.V., DASCOMBE B.J. (2014) Hypoxia and resistance exercise: a comparison of localized and systemic methods. *Sports Medicine* 44, 1037-1054.
- SUCHÝ, J., HELLER, J., VODIČKA, P. - PECHA, J. (2008). Vliv inhalace 99,5% kyslíku na opakovaný krátkodobý výkon maximální intenzity. *Česká kinanthropologie.* 12 (2), 15-25.
- WILBER, R.L. (2004). Effect of FIO₂ on oxidative stress during interval training at moderate altitude. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 36(11), 1888-1894

YAMAJI, K., & SHEPHARD, R.J. (1985). Effect of physical working capacity of breathing 100 percent O₂ during rest or exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 25(4), 238-242.

VARIABILITA HEMOGLOBÍNU A ERYTROCYTOV U REAKREAČNÉHO ŠPORTOVCA

Michal Hlávek - Kristián Bako - Vladimír Franek
*Fakulta telesnej výchovy, športu a zdravia Univerzity Mateja Bela v
Banskej Bystrici, Slovenská republika*

ABSTRAKT

Pochopenie vzájomného vzťahu erytrocytov a hemoglobínu je dôležité z pohľadu zdravia rovnako ako z pohľadu vied o športe. Cieľom tejto štúdie je analyzovať namerané dáta hladiny hemoglobínu a počtu erytrocytov a hľadať medzi nimi vzťah. Výskumu sa zúčastnil zdravý 45-ročný muž, rekreačný športovec, venujúci sa športovej aktivite 4 až 6-krát do týždňa. Subjekt mal na začiatku štúdie telesnú hmotnosť 72 kg a telesnú výšku 175 cm. Merania boli realizované v období od októbra 2023 do novembra 2024. Spolu bolo vyhotovených 8 odberov. Merania prebehli v Banskej Bystrici, vo výške 368 metrov nad morom. Odbery boli realizované o 8:00 hodín \pm 30min nalačno. Pre vyhotovenie odberov boli využité vysoko spoľahlivé analyzátory Mindray BC 6200, resp. Mindray 6000. Pre vyhodnotenie získaných dát bola využitá metóda kazuistiky, spolu s analýzou. Namerané dáta poukázali na objektívne hodnoty hemoglobínu a počet erytrocytov, pričom ich vývin medzi jednotlivými meraniami sa vyvíjal takmer identicky. Po kazuistickom spracovaní bol preukázaný úzky vzťah hladiny hemoglobínu a počtu erytrocytov.

Táto štúdia prebehla v rámci grantu **VEGA1/0707/22 (Špecifiká variability hematologických ukazovateľov sledovaných v biologickom pase športovca)**.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: erytrocyty, hemoglobín, počet erytrocytov, hladina hemoglobínu

ABSTRACT

HEMOGLOBIN AND ERYTHROCYTE VARIABILITY IN THE RECOVERING ATHLETE

Understanding the mutual relationship between erythrocytes and hemoglobin is crucial for both health and sports science. The aim of this study is to analyze the measured data of haemoglobin level and erythrocyte count and to find a relationship between them. The study

participant was a healthy 45-year-old male who engaged in recreational sports activities 4-6 times per week. The participant, a healthy 45-year-old male, had a baseline body weight of 72 kg and a height of 175 cm. A total of 8 samples were collected over the measurement period, which spanned from October 2023 to November 2024. The blood tests took place in Banská Bystrica, at an altitude of 368 m above sea level. Blood samples were collected at 8:00 AM \pm 30 minutes after an overnight fast. Highly reliable Mindray BC 6200 and Mindray 6000 analysers were used for sampling. A case study method, combined with analysis, was used to evaluate the obtained data. The measured data showed objective values for hemoglobin and erythrocyte count, with their development between measurements being almost identical. The case study revealed a strong relation between hemoglobin levels and erythrocyte count.

This study was conducted within the framework of the grant VEGA1/0707/22 (Specificity of variability of haematological parameters monitored in the biological passport of an athlete).

KEYWORDS: erythrocytes, hemoglobin, erythrocyte count, hemoglobin level.

ÚVOD

Meranie erytrocytov a hemoglobínu je zaradené u verejnosti medzi najčastejšie laboratórne vyšetrenia, kedy sa používajú na monitorovanie a diagnostiku spektra stavov podvýživy, zápalu, rakoviny a hematologických porúch ako je napríklad anémia (Barrios, 2017; Malka et al., 2014; Pita et al., 2021). Vysoké a nízke hladiny hematokritu a hemoglobínu sú spájané aj s rizikom rôznych kardiovaskulárnych ochorení (Kishimoto et al., 2020). Znížená úroveň erytrocytov spolu s hemoglobínom je často úzko spojená s problémom nie len zníženej hodnoty železa ale aj kyseliny listovej a vitamínu B12 (Sermini, Acevedo, a Arredondo, 2017). Pochopenie významu vzájomného vzťahu medzi erytrocytmi a hemoglobínom je rovnako opodstatnené aj v športovej tematike najmä z pohľadu tréningovej adaptácie a športového výkonu. Práve v týchto smeroch je podstatný parameter efektivity transportu kyslíka, čo sa výrazne sleduje napríklad vo vytrvalostnom športe. Prípadné abnormálne hodnoty erytrocytov a hemoglobínu môžu smerovať ku identifikácii nie len odchýlky od úplného zdravotného stavu ale môžu nasmerovať športovca

a športových odborníkov ku nastaveniu vhodnej individuálnej výživy a tréningového procesu.

Medzi početné aspekty, ktoré ovplyvňujú schopnosť organizmu zásobiť tkanivá kyslíkom, patrí úroveň počtu erytrocytov a množstvo hemoglobínu, ktorý je v ňom obsiahnutý. Na zabezpečenie primeraného okysličenia tkanív je potrebné udržať dostatočnú hladinu hemoglobínu, ktorá sa udáva v gramoch na deciliter (d/dl), niekedy interpretovaná aj v gramoch na liter (g/l). Normálna hladina hemoglobínu u mužov sa pohybuje v rozmedzí od 14 do 18 g/dl a u žien v rozmedzí od 12 do 16 g/dl (Billett, 1990), kým novšia literatúra uvádza presnejšie rozmedzie od 13,2 do 16,6 g/dl pre mužov a pre ženy od 11,6 do 15 g/dl (World Health Organization, 2008). Pre druhý sledovaný parameter červených krviniek sú pre mužov označené za normálne hodnoty na kubický mikroliter krvi 4,5 – 6,5 milióna, kým u žien o niečo menej 3,9 – 5,6 milióna (Thurnham a Northrop-Clewes, 2013). Hodnoty hematologických parametrov sa však môžu líšiť aj u zdravých jedincov na základe viacerých faktorov než pohlavie ako napr. etnický pôvod, vek, telesná stavba alebo nadmorská výška, v ktorej žijú (Ayyanna a Yandamuri, 2013; Karazawa a Jamra, 1989).

Úroveň hemoglobínu sa však v erytrocytoch dynamicky vyvíja v závislosti od štádia zrelosti, v ktorej sa práve erytrocyt nachádza. Danú dynamiku sledovali napr. Malka et al. (2014) a Franco et al. (2013), ktorí popísali úbytok objemu a hmotnosti hemoglobínu v erytrocytoch v porovnaní s retikulocytmi. Cieľom našej štúdie je však porovnať úroveň hemoglobínu s počtom erytrocytov u zdravého jedinca a zistiť ich vzájomný vzťah.

CIEĽ

Cieľom štúdie bolo analyzovať hladinu hemoglobínu a množstva erytrocytov, medzi ktorými sa hľadal vzájomný vzťah.

METODIKA

Merania obsiahnuté v tejto štúdii boli realizované v období od októbra 2023 do novembra 2024, pričom prvé meranie prebehlo 17.10. 2023 a posledné meranie 7.11.2024. Spolu bolo vyhotovených 8 odberov z ktorých boli zaznamenané hodnoty množstva erytrocytov a množstva hemoglobínu. Medzi jednotlivými odbermi nebola

vytvorená pravidelnosť. Merania prebehli v Banskej Bystrici, vo výške 368 metrov nad morom. Odbery boli realizované o 8:00 hodín \pm 30min nalačno. Pre vyhotovenie odberov boli využité vysoko spoľahlivé analyzátory Mindray BC 6200, resp. Mindray 6000.

Sledovaným subjektom bol muž, rekreačný športovec, venujúci sa športovej aktivite 4-6 x do týždňa. Na začiatku štúdie mal subjekt 45 rokov. Jeho telesná výška bola 175 cm a telesná hmotnosť 72 kg. Pre vyhodnotenie získaných dát bola využitá metóda kazuistiky, spolu s analýzou.

VÝSLEDKY

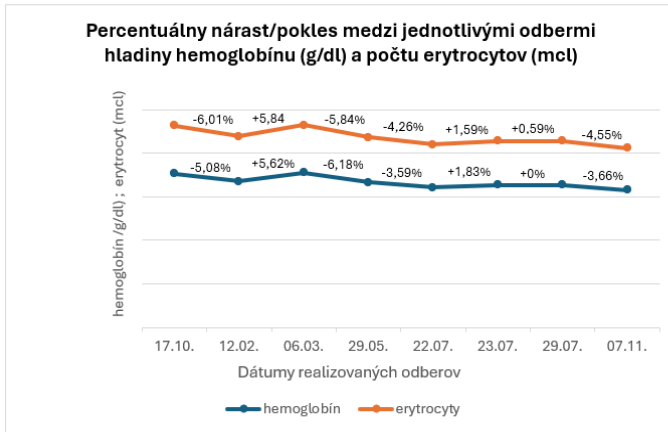
Vo výsledkoch predloženej štúdie uvádzame chronologicky namerané dáta z ôsmich realizovaných odberov hladiny hemoglobínu a množstva erytrocytov. Následne sú získané dáta analyzované a snažíme sa nájsť vzťah medzi dvomi sledovanými parametrami.

Tabuľka 1 Namerané hodnoty odberov hladiny hemoglobínu (g/dl) a počtu erytrocytov (mcl)

Dátum	17.1 0.23	12.0 2.24	06.0 3.24	29.0 5.24	22.0 7.24	23.0 7.24	29.0 7.24	07.1 1.24
Hemoglobin	17,7	16,8	17,8	16,7	16,1	16,4	16,4	15,8
Erytrocyty	5,49	5,16	5,48	5,16	4,94	5,02	5,05	4,82

Pri pohľade na dátumy odberov v tabuľke 1 vidíme, že boli realizované nepravidelne, čo nám prináša náhodný chronologický pohľad na monitorovanie hladiny oboch sledovaných parametrov. Najvyššia nameraná hodnota hladiny hemoglobínu bola 17,8 g/dl v dátume 6.3.2024, kedy bola nameraná druhá najvyššia hodnota počtu erytrocytov na úrovni 5,48 mcl. Najvyššia nameraná hodnota erytrocytov bola v odbere z dátumu 17.10.2023, kedy mala hodnotu 5,49 mcl. V rovnakom odbere bola nameraná druhá najvyššia hodnota hladiny hemoglobínu na úrovni 17,7 g/dl.

Najnižšia nameraná hodnota úrovne hladiny hemoglobínu u sledovaného subjektu bola 15,8 g/dl nameraná 7.11.2024. V rovnaký dátum bola zároveň nameraná najnižšia hodnota počtu erytrocytov na úrovni 4,82 mcl.



Obrázok 1 Percentuálny nárast/pokles medzi jednotlivými odbermi hladiny hemoglobínu (g/dl) a počtu erytrocytov (mcl)

Bez ohľadu na rôzny časový odstup medzi dátumami jednotlivých odberov môžeme vidieť na znázornenom grafe obrázku 1 rovnomerné súčasné zmeny medzi parametrami hladiny hemoglobínu a počtu erytrocytov. Ani v jednom prípade sa medzi jednotlivými odbermi nestalo, aby v prípade jedného parametru prišlo ku zníženiu jeho hladiny a pri druhom parametru prišlo ku zvýšeniu. Len v prípade medzi 6. a 7. odberom neprišlo v parametru hemoglobínu ku zmene jeho úrovne, avšak v rovnakom čase v parametru počtu erytrocytov prišlo len ku minimálnemu nárastu (+0,59 %), čo pri tak nízkom náraste nie je protichodný nárast v porovnaní s nulovým prírastkom v prípade hemoglobínu.

Napriek tomu, že ani jeden rozdiel medzi jednotlivými odbermi medzi hladinou hemoglobínu a počtom erytrocytov nie je zhodný, percentuálne poklesy, či nárasty nie sú od seba výrazne odlišné. Pri pohľade na krivky grafu znázorňujúce namerané hodnoty hladiny hemoglobínu a počtu erytrocytov môžeme vidieť, že sa vzájomné opisujú a v závislosti od zmeny počtu erytrocytov sa rovnako zmení aj hladina hemoglobínu.

DISKUSIA

Hemoglobín sa obvykle využíva ako ukazovateľ stupňa anémie v rámci jeho súčasti kompletného krvného obrazu. Jeho vyššia úroveň však môže indikovať vážne zdravotné problémy. Okrem toho však štúdie preukázali, že pokles hodnôt hemoglobínu môže poukázať na zníženie fyziologických funkcií ako napríklad znížená imunitná odpoveď, podváživá alebo nízka odolnosť voči vonkajšej invázii (Zhai et al. 2021). Pri interpretácii zmenenej hodnoty hemoglobínu je potrebné vychádzať z celkového krvného obrazu a momentálneho stavu jedinca. Ku zvýšeniu hemoglobínu môže dôjsť aj v prípade silnej dehydratácie jedinca, alebo v opačnom prípade ku jeho zníženiu, ak príde ku nadmernému zvýšeniu príjmu tekutín. Zvýšenie hladiny hemoglobínu môže však súvisieť aj s vážnejšími dôvodmi, ako je polycytémia, ktorá pri absencii liečby môže viesť ku vzniku zrazenín, infarktu až mŕtvice (Billett 1990; Pillai et al. 2025). Dôvod erytrocytózy býva buď hemokoncentrácia alebo spomínaná zvýšená dehydratácia alebo zvýšená produkcia červených krviniek, ktorý obvykle vyplýva z myeloproliferatívnej patológie alebo sekundárnecyanotickým ochorením srdca, respiračným ochorením, vysokou nadmorskou výškou, renálnou patológiou, fajčením alebo nádormi, ktoré by vylučovali erytropeotín (El Brihi a Pathak 2025). U sledovaného rekreačného športovca sa však nenachádzali žiadne zo spomínaných patologických javov, pričom žil v pomerne nízkej nadmorskej výške a hodnoty hladiny hemoglobínu, rovnako ako aj počet erytrocytov bol podľa dostupnej literatúry a vyhlásenia WHO v norme. Môžeme teda tvrdiť, že kazuistické zistenia z nameraných dát objektívne poukazujú na úzky vzťah medzi úrovňou hemoglobínu a počtom erytrocytov. To by mohlo prispieť ku komplexnejšej diagnostike a jednoduchšej interpretácii výsledkov nameraných dát parametrov hemoglobínu a erytrocytov jednotlivu alebo v rámci hematokrytu, či kompletného krvného obrazu pri podozrení na prítomnosť patologických javov zistiteľných z krvných ukazovateľov. Obdobné zistenia boli dosiahnuté aj v prípade štúdie A. Tirada (2023), kde na vzorke 1250 ľudí (700 žien, 550 mužov) potvrdil okrem vysokej korelácie medzi hemoglobínom a hematokritom aj koreláciu medzi hemoglobínom a počtom červených krviniek. Autor uvádza, že aj keď sa očakávala existencia vyššej korelácie, než akú dosiahli, v prípade medzi hemoglobínom a počtom erytrocytov, rôzne typy hemoglobínu (methemoglobín,

karboxyhemoglobín, glykovaný hemoglobín a iné) vlastniace rôznu afinitu ku kyslíku alebo oxidu uhličitému, mohli mierne znížiť štatistickú koreláciu. Zistenia Tirada (2023) tak isto ukázali vysokú koreláciu u všetkých dospelých jedincov zúčastnených na výskume rovnako ako u oboch pohlaví; u žien pod 18 rokov a chlapcov mladších ako 11 rokov všal „len“ strednú koreláciu.

ZÁVERY

Zistenia z našej štúdie zhodujúce sa s štúdiou podobného zamerania označujú hodnoty hladiny hemoglobínu a počtu erytrocytov za zhodujúce sa, čo naznačuje vylúčenie nevyhnutnosti simultáneho testovania oboch parametrov v rámci skriningových meraní. Napriek podporení našich výsledkov štúdiou s nadrozmerným súborom, najväčším limitom tejto práce zostáva fakt, že odbery boli realizované na jednom rekreačnom športovcovi, hoci do pozitívnej stránky realizácie výskumu zaraďujeme časovú dĺžku, počas ktorej boli odbery vykonané.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- AYYANNA, DR, A NARAYUDU YANDAMURI. (2013). "Survey on Haemoglobin level in the different age groups of male and female human beings living in the rural and urban area". *International Journal of Pharmaceutical Science* 30–38.
- BARRIOS, MF. (2017). "Diagnóstico de la deficiencia de hierro: aspectos esenciales. Rev Cuba Hematol Inmunol Hemoter". *Diagnóstico de la deficiencia de hierro: aspectos esenciales. Rev Cuba Hematol Inmunol Hemoter* 33(2).
- BILLETT, HENNY H. (1990). "Hemoglobin and Hematocrit". v *Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations*, zostavil H. K. Walker, W. D. Hall, a J. W. Hurst. Boston: Butterworths.
- El Brihi, Jason, a Surabhi Pathak. 2025. "Normal and Abnormal Complete Blood Count With Differential". v *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- EYIOL, AZMI, HATICE EYIOL, A AHMET SAHIN. (2024). "Evaluation of HRR (Hemoglobin/Red Blood Cell Distribution Width Ratio) and RAR (Red Blood Cell Distribution Width/Albumin Ratio) in Myocarditis Patients: Associations with Various Clinical Parameters". *International*

- Journal of General Medicine* Volume 17:5085–93. doi: 10.2147/IJGM.S490203.
- FRANCO, ROBERT S., M. ESTELA PUCHULU-CAMPANELLA, LATORYA A. BARBER, MARY B. PALASCAK, CLINTON H. JOINER, PHILIP S. LOW, A ROBERT M. COHEN. (2013). "Changes in the Properties of Normal Human Red Blood Cells during in Vivo Aging". *American Journal of Hematology* 88(1):44–51. doi: 10.1002/ajh.23344.
- GUEVARA TIRADO, ALBERTO. N.D. "Hemoglobin as a predictor of hematocrit and red blood cell count according to age and sex in a population of Villa El Salvador, Lima, Peru." *Hemoglobin as a predictor of hematocrit and red blood cell count according to age and sex in a population of Villa El Salvador, Lima, Peru.*
- KARAZAWA, EDNA HIDE MI IGUMA, A MICHEL JAMRA. (1989). "Parâmetros hematológicos normais". *Revista de Saúde Pública* 23(1):58–66. doi: 10.1590/S0034-89101989000100008.
- KISHIMOTO, SHINJI, et al.(2020). "Hematocrit, Hemoglobin and Red Blood Cells Are Associated with Vascular Function and Vascular Structure in Men". *Scientific Reports* 10(1):11467. doi: 10.1038/s41598-020-68319-1.
- MAILLIEZ, AURÉLIE, AXEL GUILBAUD, FRANÇOIS PUISIEUX, LUC DAUCHET, A ÉRIC BOULANGER. (2020). "Circulating Biomarkers Characterizing Physical Frailty: CRP, Hemoglobin, Albumin, 25OHD and Free Testosterone as Best Biomarkers. Results of a Meta-Analysis". *Experimental Gerontology* 139:111014. doi: 10.1016/j.exger.2020.111014.
- MALKA, ROY, FRANCISCO FEIJÓ DELGADO, SCOTT R. MANALIS, A JOHN M. HIGGINS. (2014). "In Vivo Volume and Hemoglobin Dynamics of Human Red Blood Cells" zostavil D. A. Beard. *PLoS Computational Biology* 10(10):e1003839. doi: 10.1371/journal.pcbi.1003839.
- PILLAI, ASHWIN A., SALMAN FAZAL, SHIVA KUMAR R. MUKKAMALLA, A HANI M. BABIKER. (2025). "Polycythemia". v *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- PIRES CORONA, LIGIANA, F. C. DRUMOND ANDRADE, Y. A. DE OLIVEIRA DUARTE, A M. L. LEBRAO. (2015). "The Relationship between Anemia, Hemoglobin Concentration and Frailty in Brazilian Older Adults". *The Journal of Nutrition, Health and Aging* 19(9):935–40. doi: 10.1007/s12603-015-0502-3.

PITA, AMS, YH REGO, EH RAMOS, VM SUÁREZ, YT MARRERO, MCR ZAMORA, A et al. (2021). "Caracterización del hemograma completo en adultos mayores cubanos tratados con Biomodulina". *Caracterización del hemograma completo en adultos mayores cubanos tratados con Biomodulina*.

SERMINI, CARMEN GLORIA, MARÍA JOSÉ ACEVEDO, A MIGUEL ARREDONDO. (2017). "Biomarcadores del metabolismo y nutrición de hierro". *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 34(4):690. doi: 10.17843/rpmesp.2017.344.3182.

THURNHAM, DAVID, A CHRISTINA NORTHROP-CLEWES. (2013). "Biomarkers for the Differentiation of Anemia and Their Clinical Usefulness". *Journal of Blood Medicine* 11. doi: 10.2147/JBM.S29212.

WANG, HONG, YAO LUO, TANGJUAN ZHANG, QING LV, LIU YANG, XINYA JIA, YAN ZHOU, RENJIE LI, XINGQIANG ZHU, RUYI LEI, A CHAO LAN. (2023). "Prognostic Value of the Ratio of Hemoglobin to Red Blood Cell Distribution Width in Patients with Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Retrospective Study". *Intensive Care Research* 3(3):229–36. doi: 10.1007/s44231-023-00046-3.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2008). "Worldwide Prevalence of Anaemia 1993-2005: WHO Global Database on Anaemia. / Edited by Bruno de Benoist, Erin McLean, Ines Egli and Mary Cogswell". 40.

WU, FANGFANG, SHAOXING YANG, XIUHUA TANG, WENJING LIU, HAORAN CHEN, A HONGJUN GAO. (2020). "Prognostic Value of Baseline Hemoglobin-to-red Blood Cell Distribution Width Ratio in Small Cell Lung Cancer: A Retrospective Analysis". *Thoracic Cancer* 11(4):888–97. doi: 10.1111/1759-7714.13330.

ZHAI, ZHAO, JIALIANG GAO, ZIYU ZHU, XILIANG CONG, SHENGHAN LOU, BANGLING HAN, XIN YIN, YU ZHANG, A YINGWEI XUE. (2021). "The Ratio of the Hemoglobin to Red Cell Distribution Width Combined with the Ratio of Platelets to Lymphocytes Can Predict the Survival of Patients with Gastric Cancer Liver Metastasis" zostavil K. Siemianowicz. *BioMed Research International* 2021(1):8729869. doi: 10.1155/2021/8729869.

ZHU, MENGPEI, CHAO WEI, XIONGJUN YANG, YUMEI HUANG, YUSHUANG XU, A ZHIFAN XIONG. (2023). "Lower haemoglobin-to-red blood cell distribution width ratio is independently associated with frailty in community-dwelling older adults: a cross-sectional study". *BMJ Open* 13(7):e069141. doi: 10.1136/bmjopen-2022-069141.

ZMENY VYBRANÝCH KRVNÝCH PARAMETROV U REKREAČNÉHO ŠPORTOVCA POČAS ROKA

Kristián Bako - Michal Hlávek - Marián Škorik

*Fakulta telesnej výchovy, športu a zdravia Univerzity Mateja Bela v
Banskej Bystrici, Slovenská republika*

ABSTRAKT

Nezvyčajné zmeny v hematologických ukazovateľoch je možné dokázať prostredníctvom rôznych prístupov a diagnostických nástrojov, ktoré sú založené na individuálnom a longitudinálnom monitorovaní v určitom časovom období. Cieľom tejto štúdie je komparovať zmeny hladiny erytropoetínu, testosterónu, retikulocytov, hemoglobínu a hľadať ich možný vzájomný vzťah v období jedného roka. Vo výskume bol zahrnutý 45-ročný rekreačný športovec, venujúci sa športovej aktivite 4 až 6-krát do týždňa. Proband mal na začiatku štúdie telesnú hmotnosť 72 kg a telesnú výšku 175 cm. Odbery boli realizované v Unilabs v Banskej Bystrici o 8:00 hod. ± 30 min nalačno. Využitie boli vysoko spoľahlivé analyzátory Mindray BC 6200, resp. Mindray BC 6000. Pre vyhodnotenie získaných dát bola využitá metóda kazuistiky spolu s analýzou. Namerané dáta poukázali na objektívne hodnoty erytropoetínu (IU/l), hemoglobínu (g/l), retikulocytov (index) a testosterónu (nmol/l), pričom ich vývin medzi jednotlivými meraniami sa nevyvíjal identicky. Po kazuistickom spracovaní hodnôt nebol preukázaný vzťah medzi jednotlivými nameranými hodnotami.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: biologický pas, erytropoetín, hemoglobín, retikulocyty, testosterón

ÚVOD

Krvné testy boli pôvodne zavedené zo zdravotných dôvodov a na obmedzenie nesprávneho používania rekombinantného ľudského erytropoetínu (rHuEPO) (Robinson et al., 2006). Rekombinantný ľudský erytropoetín sa klinicky používa na zlepšenie hladín cirkulujúcich erytrocytov (Trinh et al., 2020). Ľudský erytropoetín (EPO) sa tvorí v obličkách a stimuluje prežívanie, proliferáciu a diferenciáciu erytroblastov (Jelkmann, 2010; Lappin, 2003). Metaanalýza 10 štúdií od Trinh et al. (2020) poukazuje na to, že

existujú dôkazy o nízkej až strednej kvalite, ktoré naznačujú, že nezávisle od dávky môže byť rHuEPO prospešnejší ako placebo pri zlepšovaní hematologických, pľúcnych meraní, maximálneho výkonu a času do vyčerpania. Tieto zlepšenia sú takmer výlučne viditeľné pri maximálnej intenzite cvičenia (Robinson et al., 2006). Podľa štúdie od Beverborga et al. (2015) hodnoty erythropoetínu vo veku od 40 do 50 rokov ($n = 839$) sa pohybujú v rozmedzí od 3,1 do 14,7 IU/l.

Pravidelné krvné testy umožňovali zabrániť športovcom s hladinami hematokritu výrazne nad normálom a potenciálne nebezpečným pre ich zdravie, aby súťažili v športe. Športové orgány by mali byť oboznámené s niektorými obmedzeniami a najmä schopnosťou krvných testov vykonaných pred súťažou účinne bojovať proti nesprávnemu použitiu rHuEPO, krvnej transfúzie a umelého hemoglobínu (Robinson et al., 2006). Biologický pas športovca (Athlete Biological Passport – ďalej len ABP) je jedna z ďalších pomôcok, ktorá slúži v boji s dopingom a o jej možných dohadoch o vine/nevine športovcov (Pupiš, 2021; Zorzoli, 2011). ABP slúži na monitorovanie individuálnych hematologických markerov v určitom časovom období, ktoré môžu byť ovplyvnené látkami so zámerom zlepšiť výkon športovca (Saugy et al., 2014; Ashenden et al., 2011). V rámci hematologického modulu v ABP podľa Zorzolihu (2011), dokážeme získať informáciu o hemoglobíne (HGB), absolútnom počte retikulocytov (RET#) a percente retikulocytov (RET %).

Erythropoetín je hlavný hormón regulujúci tvorbu červených krviniek (RBC) (Salamin et al., 2017). Červené krvinky obsahujú proteín nazývaný hemoglobín, ktorý prenáša kyslík z pľúc do všetkých častí tela. Akútne zníženie koncentrácie hemoglobínu v krvi, aj keď je zachovaný objem cirkulujúcej krvi, vedie k zníženiu $VO_2\max$ a vytrvalostný výkon v dôsledku zníženia kapacity krvi pre prenos kyslíka (Calbet et al., 2006). Štúdia Cesari et al. (2004) ukazuje, že hladiny hemoglobínu sú spojené s parametrami zloženia tela získanými pomocou periférnej kvantitatívnej počítačovej tomografie (pQCT) a zníženie svalovej sily sa vyskytuje v prítomnosti anémie. Hladina hemoglobínu môže klesnúť len na asi 70 alebo 80 g/l namiesto normálnej hladiny asi 140-160 g/l pri znížení hladiny erythropoetínu (Lappin, 2003). WHO (World Health Organization) udáva dolnú hranicu u mužov 130 g/l a u žien 120 g/l, pri ktorých sa definuje anémia (Beutler & Waalen, 2005; Zakai et al., 2005). Zvýšenie hladín

hemoglobínu pomocou rekombinantného ľudského erytropoetínu (r-HuEPO, epoetín alfa) viedlo k lepším výsledkom po rádioterapii, chemoterapii a kombinovanej liečbe u pacientov s rakovinou, ktorí majú nízke hodnoty hemoglobínu (Littlewood, 2001).

Počet retikulocytov môže byť jediným nedostatočne využívaným a možno nedoceneným laboratórnym testom, pričom jeho počet je jeden z indexov regenerácie krvi (Lichtman, 2021; Friedlander 1929). Retikulocyty sú to erytroidné bunky (nezrelé červené krvinky) v periférnej krvi, ktoré sú v oddelenej, predposlednej fáze dozrievania. Slúžia pri hodnotení erytropoézy a funkcie kostnej drene a ponúkajú pohľad na rôzne hematologické stavy (Sah & Rao, 2024; Walker et al., 1990). Keď je kostná dreň normálna, retikulocyty sú asi o 8 % väčšie ako červené krvinky. Nízke percento alebo počet retikulocytov odráža kostnú dreň neschopnú kompenzovať anémiu. Vysoké percento alebo počet retikulocytov odráža kostnú dreň, ktorá sa pokúša kompenzovať deštrukciu červených krviniek alebo sa zotavuje z anémie (Walker et al., 1990). Stupeň anémie je nepriamym odhadom výšky koncentrácie erytropoetínu, ktorá riadi predčasné uvoľňovanie retikulocytov. Použitím faktora 1,5 až 3 na základe závažnosti anémie na rozdelenie na pomer absolútneho počtu retikulocytov k normálnemu počtu retikulocytov sa dostane k indexu retikulocytov, pomeru, ktorý je normálne približne 1,0 (Lichtman, 2021).

Nedostatok testosterónu postihuje približne 30 % mužov vo veku 40-79 rokov, pričom nárast prevalencie je silne spojený so starnutím a bežnými zdravotnými problémami vrátane obezity, cukrovky a hypertenzie (Traish et al., 2011). Testosterón je 19-uhlíkový steroid so silnými androgénnymi a anabolickými účinkami (McGrath & Cowan, 2008). Popularita testosterónu medzi užívateľmi drog je spôsobená jeho silnými účinkami na svalovú silu a hmotu. Dlhodobé aj krátkodobé užívanie steroidov zvyčajne zvyšuje stupeň hypertrofiu vlákien v ľudskom kostrovom svalu zvýšením syntézy bielkovín (Kadi, 2008; McGrath & Cowan, 2008). Rozsah hodnôt testosterónu u zdravých mužov je od 7,7 až 29,4 nmol/l a 0 až 1,7 nmol/l u zdravých žien. Kritériom vhodnosti pre ženské atletické podujatia by mala byť koncentrácia cirkulujúceho testosterónu nižšia ako 5,0 nmol/l (Handelsman et al., 2018).

Táto práca bola podporená grantom **VEGA1/0707/22 (Špecifiká variability hematologických ukazovateľov sledovaných v biologickom pase športovca)**.

METODIKA

Sledovaným probandom bol muž, rekreačný športovec, venujúci sa športovej aktivite 4 až 6-krát do týždňa. Na začiatku štúdie mal proband 45 rokov. Jeho telesná výška bola 175 cm a telesná hmotnosť 72 kg. Krvné odbery v tejto štúdii prebiehali od 17. 10. 2023 do 07. 11. 2024, čo predstavuje obdobie jedného roka. Proband absolvoval spolu 8 odberov z ktorých boli zaznamenané hodnoty množstva erytropoetínu, testosterónu, retikulocytov a hemoglobínu. Medzi jednotlivými odbermi nebola vytvorená pravidelnosť. Merania prebehli v Unilabs v Banskej Bystrici. Odbery boli realizované o 8:00 hodín \pm 30 min nalačno. Pre vyhotovenie odberov boli využité vysoko spoľahlivé analyzátory Mindray BC 6200, resp. Mindray 6000.

Pre vyhodnotenie získaných dát bola využitá metóda kazuistiky, spolu s analýzou.

CIEĽ

Cieľom tejto štúdie bolo komparovať zmeny hladiny erytropoetínu, testosterónu, retikulocytov, hemoglobínu a hľadať ich možný vzájomný vzťah v období jedného roka.

VÝSLEDKY

Vo výsledkoch štúdie prezentujeme namerané dáta z ôsmich realizovaných odberov hladiny erytropoetínu, hemoglobínu, retikulocytov a testosterónu. Tieto dáta boli realizované nepravidelne, čo nám prináša náhodný chronologický pohľad na monitorovanie hladiny sledovaných parametrov.

Nadobudnuté dáta analyzujeme s cieľom nájsť vzťah medzi jednotlivými sledovanými hodnotami.

Tabuľka 1 Namerané hodnoty odberov hladiny erytropoetínu (IU/l), hemoglobínu (g/l), retikulocytov (index) a testosterónu (nmol/l)

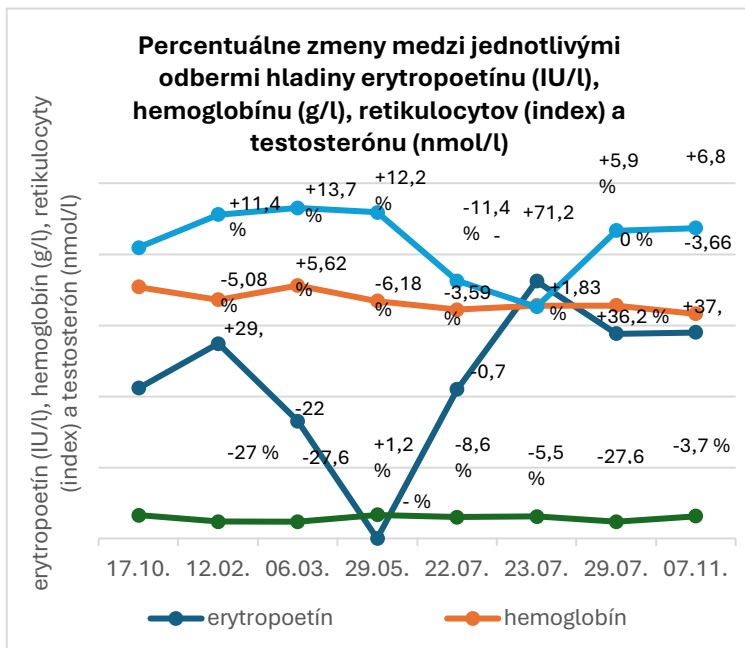
	17.10	12.02	06.03	29.05	22.07	23.07	29.07	07.11
	.23	.24	.24	.24	.24	.24	.24	.24
EPO	10,57	13,71	8,25	-	10,50	18,10	14,40	14,50
HGB	177	168	178	167	161	164	164	158
RTC	1,63	1,19	1,18	1,65	1,49	1,54	1,18	1,57
TST	20,46	22,79	23,26	22,95	18,13	16,30	21,67	21,85

V tabuľke 1 môžeme vidieť, že proband v priebehu jedného roku dosiahol najvyššiu hodnotu erytropoetínu 18,10 IU/l, a to 23. 07. 2024 a najnižšie hodnoty erytropoetínu dosiahol proband 06. 03. 2024, a to 8,25 IU/l. Priemer hodnôt erytropoetínu počas jedného roka bola na úrovni $12,9 \pm 3,05$ IU/l. V prípade erytropoetínu nastalo aj zlyhanie v meraní keď 29. 05. 2024 nebol nameraný údaj.

Hladina hemoglobínu dosiahla priemerné hodnoty počas roka na úrovni $167,13 \pm 6,68$ g/l, pričom najnižšia hodnota 158 g/l bola 07. 11. 2024 a najvyššia dňa 06. 03. 2024 bola na úrovni 178 g/l.

Priemerná ročná úroveň retikulocytov u probanda dosiahla index $1,43 \pm 0,2$, pričom najvyššie hodnoty dosiahol proband 29. 05. 2024 a to 1,65 a najnižšie hodnoty v dvoch dátumoch, a to 06. 03. 2024 a 29. 07. 2024.

Úroveň testosterónu sa behom roka u probanda menila. Najvyššiu hodnotu dosiahol 06. 03. 2024, a to 23,26 nmol/l a najnižšiu dosiahol dňa 23. 07. 2024. Priemerné hodnoty testosterónu boli na úrovni $20,93 \pm 2,34$ nmol/l.



Obrázok 1 Percentuálne zmeny medzi jednotlivými odbermi hladiny erytropoetínu (IU/l), hemoglobínu (g/l), retikulocytov (index) a testosterónu (nmol/l)

Obrázok 1 prezentuje 8 odberov krvi, ktoré absolvoval proband v rámci jedného roka. Ako môžeme vidieť, je pomerne náročné nájsť nejakú vzájomnú zhodu, resp. závislosť medzi jednotlivými hodnotami.

Pri druhom meraní 12. 02. 2024 vidíme pokles retikulocytov a hemoglobínu, ale hneď pri ďalšom meraní dochádza k protichodným hodnotám, kde hemoglobín zaznamenal 06. 03. 2024 navýšenie o 5,62 % a retikulocyty zase pokles o -27,6 %. Taktiež % pokles u oboch hodnôt nastal 22. 07. 2024 Na základe toho je náročné predikovať súvislosť medzi hodnotami retikulocytov a hemoglobínu, keďže podobná zmena nastala iba v 2 odberoch z 8.

Z pohľadu erytropoetínu a hemoglobínu môžeme vidieť najviac vyskytujúcu zhodu. V posledných 4 meraniach znázorňuje krivka na

grafe v rovnakých obdobiach pokles alebo nárast u oboch hodnôt, ale nie na rovnakej úrovni z hľadiska %.

Porovnanie zmien hladiny testosterónu a hemoglobínu môžeme vidieť, že % nárast hodnôt dosiahli 06. 03. 2024 a % pokles hodnôt 22. 07. 2024, čo predstavuje totožné hodnoty 2 odberov krvi z 8.

V prípade erytropoetínu a testosterónu došlo k dvom zhodám a to % nárast dňa 12. 02. 2024 a % pokles 22. 07. 2024.

Pri komparácií retikulocytov a testosterónu došlo k podobnej zhode v období 29. 05. 2024 a 22. 07. 2024.

Porovnanie zmien hodnôt retikulocytov a erytropoetínu nám ukázal, že obdobné zmeny nastali 06. 03. 2024 a 22. 07. 2024, kedy nastal v oboch prípadoch % pokles.

Pri sumarizácií hodnôt nastal pokles vo všetkých 4 hodnotách dňa 22. 07. 2024. Je ťažké predpokladať či tieto hodnoty spolu súvisia, keďže táto zhoda nastala iba v 1 prípade z 8.

DISKUSIA A ZÁVER

Krvné testy boli pôvodne zavedené zo zdravotných dôvodov s cieľom monitorovať hematologické ukazovatele v určitom časovom období (Robinson et al., 2006). V našom prípade sme monitorovali zmeny hladiny erytropoetínu, testosterónu, retikulocytov, hemoglobínu a hľadali ich možný vzájomný vzťah v období jedného roka.

Pri porovnaní priemerných hodnôt erytropoetínu nášho probanda ($12,9 \pm 3,05$ IU/l) so štúdiou Beverborga et al. (2015) sa hodnoty erytropoetínu pohybujú v rozmedzí od 3,1 do 14,7 IU/l pre vekovú kategóriu od 40 do 50 rokov ($n = 839$). Tieto výsledky ukazujú, že proband podľa v štúdií dosiahol optimálne hodnoty v priebehu jedného roka.

Hladina hemoglobínu dosiahla u testovaného priemerné hodnoty počas roka na úrovni $167,13 \pm 6,68$ g/l, čo je vyššia v porovnaní s Lappinom (2003), ktorý uvádza normálnu hladinu 140 až 160 g/l. Dôvodom vyšších hodnôt môže byť aj fakt, že ide o rekreačného športovca, ktorý trénuje 4 až 6-krát do týždňa.

Vysoké percento alebo počet retikulocytov odráža kostnú dreň, ktorá sa pokúša kompenzovať deštrukciu červených krviniek alebo sa zotavuje z anémie (Walker et al., 1990). Použitím faktora podľa Lichtmana (2021) zistíme absolútny počet retikulocytov k normálnemu počtu retikulocytov a dostaneme sa k indexu retikulocytov, pomeru,

ktorý je normálne približne 1,0. Pri porovnaní týchto štúdií s našimi odbermi, môžeme vidieť, že proband dosiahol priemernú ročnú úroveň retikulocytov na úrovni $1,43 \pm 0,2$, čo sa javí ako normálny počet retikulocytov.

Rozsah hodnôt testosterónu u zdravých mužov je od 7,7 až 29,4 nmol/l (Handelsman et al., 2018). Priemerné hodnoty testosterónu u probanda boli na úrovni $20,93 \pm 2,34$ nmol/l.

Pri komparácií hodnôt z výsledkov nie je možné predpokladať či hodnoty erytropoetínu (IU/l), hemoglobínu (g/l), retikulocytov (index) a testosterónu (nmol/l) spolu súvisia, keďže pokles vo všetkých 4 hodnotách nastal iba pri 1 odbere krvi z 8, a to dňa 22. 07. 2024. Po kazuistickom spracovaní hodnôt nebol preukázaný vzťah medzi jednotlivými nameranými hodnotami.

Hlavným limitom tejto štúdie je celková početnosť probandov, keďže odbery boli realizované na jednom rekreačnom športovcovi, preto odporúčame širšie skúmanie danej problematiky. Pozitívnym faktorom je celková doba realizácie výskumu, počas ktorej boli odbery vykonané.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- ASHENDEN, M., GOUGH, C. E., GARNHAM, A., GORE, C. J., & SHARPE, K. (2011). Current markers of the Athlete Blood Passport do not flag microdose EPO doping. *European Journal of Applied Physiology*, 111(9), 2307–2314. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1867-6>
- BEVERBORG, N. G., et al. (2015). Erythropoietin in the general population: reference ranges and clinical, biochemical and genetic correlates. *PLoS ONE*, 10(4), e0125215. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125215>
- BEUTLER, E., & WAALEN, J. (2005). The definition of anemia: what is the lower limit of normal of the blood hemoglobin concentration? *Blood*, 107(5), 1747–1750. <https://doi.org/10.1182/blood-2005-07-3046>
- CALBET, J. A., LUNDBY, C., KOSKOLOU, M., & BOUSHEL, R. (2006). Importance of hemoglobin concentration to exercise: Acute manipulations. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 151(2–3), 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2006.01.014>

- CESARI, M., PENNINX, B. W. J. H., LAURETANI, F., RUSSO, C. R., CARTER, C., BANDINELLI, S., ATKINSON, H., ONDER, G., PAHOR, M., & FERRUCCI, L. (2004). Hemoglobin levels and skeletal muscle: results from the InCHIANTI study. *The Journals of Gerontology Series A*, 59(3), M249–M254. <https://doi.org/10.1093/gerona/59.3.m249>
- FRIEDLANDER, A. (1929). THE RETICULOCYTE COUNT IN NORMAL AND IN ABNORMAL CONDITIONS. *Archives of Internal Medicine*, 44(2), 209. <https://doi.org/10.1001/archinte.1929.00140020057004>
- HANDELSMAN, D. J., HIRSCHBERG, A. L., & BERMON, S. (2018). Circulating testosterone as the hormonal basis of sex differences in athletic performance. *Endocrine Reviews*, 39(5), 803–829. <https://doi.org/10.1210/er.2018-00020>
- JELKMANN, W. (2010). Regulation of erythropoietin production. *The Journal of Physiology*, 589(6), 1251–1258. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.195057>
- KADI, F. (2008). Cellular and molecular mechanisms responsible for the action of testosterone on human skeletal muscle. A basis for illegal performance enhancement. *British Journal of Pharmacology*, 154(3), 522–528. <https://doi.org/10.1038/bjp.2008.118>
- LAPPIN, T. (2003). The Cellular Biology of erythropoietin receptors. *The Oncologist*, 8(S1), 15–18. https://doi.org/10.1634/theoncologist.8-suppl_1-15
- LICHTMAN, M. A. (2021). Reflections on the reticulocyte count: the importance of a “Complete” blood count. *The Hematologist*, 18(6). <https://doi.org/10.1182/hem.v18.6.2021612>
- LITTLEWOOD, T. (2001). The impact of hemoglobin levels on treatment outcomes in patients with cancer. *Seminars in Oncology*, 28, 49–53. [https://doi.org/10.1016/s0093-7754\(01\)90213-1](https://doi.org/10.1016/s0093-7754(01)90213-1)
- MCGRATH, J. C., & COWAN, D. A. (2008). Drugs in sport. *British Journal of Pharmacology*, 154(3), 493–495. <https://doi.org/10.1038/bjp.2008.171>
- PUPIŠ, M. (2021). Biologický pas športovca – benefity a riziká interpretácie výsledkov. In *Česká kinantropologie*. ISSN 1211-9261, 2021, vol. 25, no. 3–4, str. 97–105.
- ROBINSON, N., GIRAUD, S., SAUDAN, C., BAUME, N., AVOIS, L., MANGIN, P., & SAUGY, M. (2006). Erythropoietin and blood

- doping. *British Journal of Sports Medicine*, 40(suppl 1), i30–i34. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.027532>
- SAH, A. K., & RAO, D. S. (2024). Clinical significance of reticulocytes. In *IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1006826>
- SALAMIN, O., KUURANNE, T., SAUGY, M., & LEUENBERGER, N. (2017). Erythropoietin as a performance-enhancing drug: Its mechanistic basis, detection, and potential adverse effects. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 464, 75–87. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.01.033>
- SAUGY, M., LUNDBY, C., & ROBINSON, N. (2014). Monitoring of biological markers indicative of doping: the athlete biological passport. *British Journal of Sports Medicine*, 48(10), 827–832. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093512>
- TRAISH, A. M., MINER, M. M., MORGENTALER, A., & ZITZMANN, M. (2011). Testosterone deficiency. *The American Journal of Medicine*, 124(7), 578–587. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2010.12.027>
- TRINH, K. V., DIEP, D., CHEN, K. J. Q., HUANG, L., & GULENKO, O. (2020). Effect of erythropoietin on athletic performance: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 6(1), e000716. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000716>
- WALKER, H. K., HALL, W. D., & HURST, J. W. (1990). Clinical methods: the history, physical, and laboratory examinations. *Annals of Internal Medicine*, 113(7), 563. https://doi.org/10.7326/0003-4819-113-7-563_2
- ZAKAI, N. A., KATZ, R., HIRSCH, C., SHLIPAK, M. G., CHAVES, P. H. M., NEWMAN, A. B., & CUSHMAN, M. (2005). A prospective study of anemia status, hemoglobin concentration, and mortality in an elderly cohort. *Archives of Internal Medicine*, 165(19), 2214. <https://doi.org/10.1001/archinte.165.19.2214>
- ZORZOLI, M. (2011). Biological passport parameters. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6(2 (Suppl.)), 205–217. <https://doi.org/10.4100/jhse.2011.62.02>

VARIABILITA HEMOGLOBÍNU A RETIKULOCYTOV V PRIEBEHU ROKA

Martin Pupiš - Zuzana Pupišová - Vladimír Franek - David Brúnn
*Fakulta telesnej výchovy, športu a zdravia Univerzity Mateja Bela v
Banskej Bystrici, Slovenská republika*

ABSTRAKT

Výskumu bol realizovaný ako kazuistika, na 20-25 ročnom vrcholovom vytrvalostnom športovcovi, u ktorého boli v priebehu piatich, resp. šiestich rokov analyzované hladina hemoglobínu a podiel retikulocytov. V sledovanom období bol rozptyl hladiny hemoglobínu 29 g.l^{-1} a to od 148 g.l^{-1} (v roku 2017) po 177 g.l^{-1} (v roku 2021) pričom počas jedného roku bol zaznamenaný maximálny rozdiel na úrovni 24 g.l^{-1} (v rozpätí 153 g.l^{-1} po 177 g.l^{-1}) počas roku 2021. Podobný priebeh bol zaznamenaný aj pri retikulocytoch. Minimálna hodnota (0,7 %) bola zaznamenaná v roku 2018 a najvyššia hodnota (1,9 %) bola zaznamenaná v roku 2020. Teda rozptyl dosahoval úroveň 1,2 percentuálneho bodu. V prípade retikulocytov bol maximálny rozdiel počas jedného roka v roku 2020, na úrovni 0,96 percentuálneho bodu (od 0,94 po 1,9 %). Na základe výsledkov však možno konštatovať, že aj napriek relatívne vysokej variácii hemoglobínu ako aj retikulocytov nebol zaznamenaný v priebehu kalendárneho roka jednoznačný trend. Tieto výsledky naznačujú nutnosť precíznejšieho vnímania výsledkov v biologickom pase športovca z pohľadu interpretácie ako možného ukazovateľa previnenia sa športovca proti antidopingovým pravidlám s dôrazom na individuálne osobitosti.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: hemoglobín, retikulocyty, sezónna variácia.

ABSTRACT

HEMOGLOBIN AND RETICULOCYTE VARIABILITY THROUGHOUT A YEAR

The research was carried out as a case report on a 20-25 year old top endurance athlete. The hemoglobin level and the proportion of reticulocytes were analyzed over five or six years. The variance of hemoglobin level was 29 g.l^{-1} , from 148 g.l^{-1} (in 2017) to 177 g.l^{-1} (in 2021), with a maximum difference of 24 g.l^{-1} (in the range of 153 g.l^{-1} to 177 g.l^{-1}) in the reference period during 2021. A similar course was

observed in reticulocytes. The minimum value (0.7%) was recorded in 2018 and the highest value (1.9%) was recorded in 2020. Thus, the variance reached the level of 1.2 percentage points. The maximum difference over one year in 2020 was 0.96 percentage points (from 0.94 to 1.9%) for reticulocytes. However, based on the results, it can be concluded that despite the relatively high variation in hemoglobin as well as reticulocytes, there was no clear trend during the calendar year. These results indicate the need for a more precise perception of the results in the athlete's biological passport from the point of view of interpretation as a possible indicator of the athlete's wrongdoing against anti-doping rules, with an emphasis on individual peculiarities.

KEY WORDS: hemoglobin, reticulocytes, seasonal variation.

ÚVOD

Športovci sú na rozdiel od bežnej populácie mimoriadne zaťažovaní, čo si vyžaduje mimoriadny prístup. Jednou zo súčastí posúdenia stavu vnútorného prostredia sú krvné analýzy. Ako uvádzajú Pupiš et al. (2024) hladina hemoglobínu je dôležitým indikátorom, ktorý charakterizuje potenciál organizmu naviazať kyslík, aj keď je nutné vnímať, že štandardné analýzy definujú množstvo hemoglobínu na liter krvi, pričom na celkový objem krvi vplýva viacero faktorov, preto by bolo objektívnejšie analyzovať celkové množstvo hemoglobínu v organizme. Na druhej strane, významným ukazovateľom krvotvorby je podiel retikulocytov, ktorý vo výraznej miere dokresľuje krvotvorbu. Samozrejme, tieto poznatky vedú často k nekvalitným praktikám v športe a tak sa môžu športovci pokúšať ovplyvniť tieto ukazovatele v rozpore s pravidlami – dopingom (Pupiš et al. 2024). Porušovanie antidopingových pravidiel patrí dlhodobo medzi najzávažnejšie negatíva, ktoré ovplyvňujú šport, preto svetová antidopingová agentúra (WADA) neustále zdokonaľuje metódy na odhalenie dopingov a súčasťou tohto zámeru je aj biologický pas športovca. Tento nástroj kreovali experti tak, aby zodpovedal potrebám efektívneho boja proti dopingov (Pupiš, 2022), čoho výsledkom bolo formálne usmernenie a presné štandardy známe ako Athlete Biological Passport – teda už spomenutý biologický pas športovca (ďalej ABP), ktorý bol prvýkrát komplexne prezentovaný v roku 2009 a obsahoval výlučne hematologický modul (WADA, 2017). Posudzovanie krvných komponentov je predmetom záujmu pri identifikácii dopingov už viac

ako dve dekády, keď sa v minulosti experti pokúšali zadefinovať „bezpečnú“ hladinu hemoglobínu, či hematokritu, ale tieto postupy následne ukázali závažné aplikačné limity. Preto experti ďalej pokračovali a aplikačne zaviedli biologický pas športovca, ktorý možno považovať za veľmi sofistikovaný nástroj boja proti dopingu, avšak ako uvádzajú Pupiš et al. (2024) pri posudzovaní výsledkov by mal významnú úlohu zohrávať aj fakt, že aj viaceré výskumy (Alberty et al., 2021; Banfi, 2011, Banfi et al., 2011; Lippi et al., 2010, Lippi & Plebani, 2011; Pupiš, 2021; Sanchis-Gomar et al., 2011) polemizujú o spoľahlivosti, či dokonca poukazujú na nedostatky pri interpretácii hodnôt pre potreby ABP. Výskumy Alberty et al. (2021), či Pupiša (2021), ktoré interpretujú problematiku biorytmov z pohľadu ukazovateľov monitorovaných v ABP, naznačujú ich potenciálny vplyv na výsledky v ABP, preto sme sa v rámci projektu **VEGA1/0707/22 - Špecifická variability hematologických ukazovateľov sledovaných v biologickom pase športovca**, rozhodli zamerať na analýzu variability hemoglobínu a retikulocytov u vrcholového športovca počas 6, resp. 5 rokov po sebe.

CIEL'

Cieľom výskumu je zistiť, či je možné zadefinovať trend variability hladiny hemoglobínu a podielu retikulocytov v priebehu piatich, resp. šiestich rokov nasledujúcich po sebe.

METODIKA

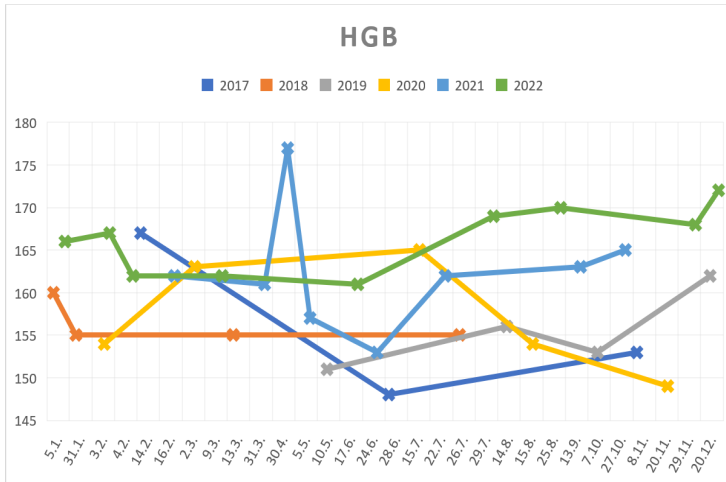
Objektom výskumu bol v čase výskumu 20-25 ročný vrcholový vytrvalostný športovec, u ktorého bola metódou kazuistiky v priebehu šiestich rokov analyzovaná hladina hemoglobínu a počas piatich rokov bol analyzovaný podiel retikulocytov. Všetky odbery boli realizované ráno približne o 7:00 nalačno v akreditovanom laboratóriu, pričom pri odbere boli dodržané pravidlá využívané pre odbery do biologického pasu športovca.

VÝSLEDKY

Športová prax ukazuje, že väčšinu monitorovaných ukazovateľov elitných športovcov je nutné vyhodnocovať individuálne, lebo s nadhľadom by sa dalo povedať, že vrcholový športovec je štatistická chyba. V kontexte toho je nutné vnímať, že podobný postup je volený

pri posudzovaní výsledkov v ABP, hoci s náznakom možnej miery zovšeobecnenia.

Ako vidíme na obrázku 1, už na prvý pohľad je viditeľné, že hladina hemoglobínu je v niektorých obdobiach relatívne stabilná, inokedy je medzi meraniami nasledujúcimi po sebe výrazný rozdiel.

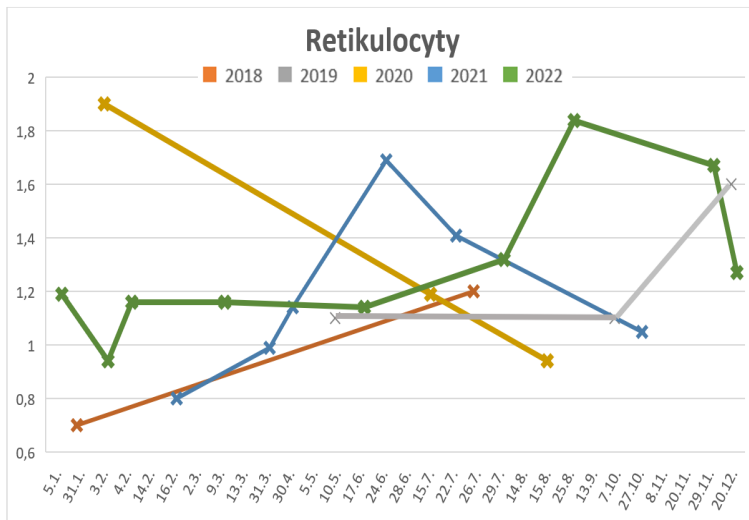


Obrázok 1 Variabilita hemoglobínu (g.l^{-1}) v období šiestich rokov

V celom sledovanom období bol rozptyl hladiny hemoglobínu 29 g.l^{-1} a to od 148 g.l^{-1} (v roku 2017) po 177 g.l^{-1} (v roku 2021) pričom počas jedného roku bol zaznamenaný maximálny rozdiel na úrovni 24 g.l^{-1} (v rozpätí 153 g.l^{-1} po 177 g.l^{-1}) počas roku 2021. Z uvedeného obrázku možno jednoznačne konštatovať, že u tohto športovca nie je možné zaznamenať jednoznačný trend variability hladiny hemoglobínu počas roka.

Podobný priebeh bol zaznamenaný aj pri retikulocytoch. Minimálna hodnota ($0,7 \%$) bola zaznamenaná v roku 2018 a najvyššia hodnota ($1,9 \%$) bola zaznamenaná v roku 2020. Teda rozptyl dosahoval úroveň $1,2$ percentuálneho bodu. Paradoxom je, že obe tieto hodnoty boli zaznamenané na prelome mesiacov január a február. V prípade retikulocytov bol maximálny rozdiel počas jedného roka a to v roku 2020 na úrovni $0,96$ percentuálneho bodu (od $0,94$ po $1,9 \%$) Ako

vidíme na obrázku 2, ani pri retikulocytoch nie je pozorovateľný jednoznačný trend.



Obrázok 2 Variabilita retikulocytov (%) v období piatich rokov

Na základe niekoľkoročného pozorovania je možné konštatovať, že v prípade hemoglobínu a retikulocytov nie je u sledovaného športovca možné zadefinovať jednoznačný sezónny trend počas kalendárneho roka. Z pohľadu interpretácie výsledkov pre ABP je však nutné poukázať na fakt, že bola zaznamenaná variabilita hemoglobínu na úrovni 29 g.l^{-1} , čo je z pohľadu hemoglobínu maximálny možný rozptyl, avšak z pohľadu ABP je nutné prihliadať, že ide o maximálny rozptyl, pričom posudzované hodnoty sa neodvíjajú vždy od stredy, teda už len posun predikčnej hodnoty o 1 g.l^{-1} smerom hore alebo dole, by mohol signalizovať falošnú pozitivitu. Podobne aj v prípade retikulocytov je zaznamenaný maximálny rozdiel 1,2 percentuálneho bodu na hranici toho, čo ABP interpretuje ako maximálny prípustný rozdiel. Tu však treba rovnako prihliadať na fakt, že posudzované hodnoty sa neodvíjajú vždy od stredy, teda už len posun predikčnej hodnoty o 0,01 percentuálneho bodu smerom hore alebo dole by mohol signalizovať falošnú pozitivitu.

V zmysle toho pokladáme za nutné poukázať na fakt že pri posudzovaní výsledkov v ABP nie je kladený dôraz na ďalšie potenciálne vplyvy a to napr. akú dlhú dobu po sebe boli merania vykonané (či je to jeden deň, či jeden rok), podobne ani to, v ktorej časti dňa bol odber vykonaný atď.

ZÁVERY

Výsledky výskumu naznačujú, že nie je možné u sledovaného pretekára identifikovať jednoznačný trend vo variabilite hladiny hemoglobínu, ani pri variabilite podielu retikulocytov. Z pohľadu športovej praxe pokladáme za dôležité prihliadať na fakt, že vrcholoví vytrvalci sú počas roka opakovane vystavení hypoxickej expozícii, ktorá pri aplikácii rôznych metód hypoxickej prípravy môže vyvolať rozdielnu odozvu. Ďalšou dôležitou premennou z pohľadu variability hematologických ukazovateľov môže byť rozdielna štruktúra ročného tréningového cyklu športovca, nakoľko vrcholné podujatia sa môžu uskutočňovať v rôznych obdobiach roku. Okrem týchto, najčastejšie vyskytujúcich sa vplyvov odporúčame pracovať s možnosťou, že u športovcov sa môžu vyskytovať rôzne zdravotné komplikácie, ktoré v spojitosti detréningu a liečby môžu zvyrazňovať hematologickú odozvu. Na základe zrealizovanej kazuistiky odporúčame analyzovať trendy v hematologickej variabilite na väčšej skupine vrcholových vytrvalostných športovcov a to s dôrazom na sledovanie sekundárnych vplyvov (hypoxia, zranenie, choroba, liečba, štruktúra RTC atď).

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- ALBERTY, R., PUPÍŠ, M., VACHALÍK, V. & BÁTOVSKÝ, M. (2021). Diurnal variation in red blood cell variables in athletes after single and repeated bouts of exercise. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. Vol. 61, no. 2 (2021), pp. 269-279
- BANFI, G. (2011) Limits and pitfalls of Athlete's Biological Passport. *Clin Chem Lab Med* 49:1417–1421.
- BANFI, G., LOMBARDI, G., COLOMBINI, A. & LIPPI, G. (2011) Analytical variability in sport hematology: its importance in an antidoping setting. *Clin Chem Lab Med* 49:779–782.
- LIPPI, G., BANFI, G. & MAFFULLI, N. (2010) Preanalytical variability: the dark side of the moon in blood doping screening. *Eur J Appl Physiol* 109:1003–1005.

LIPPI, G. & PLEBANI, M. (2011) Athlete's biological passport: to test or not to test? *Clin Chem Lab Med* 49:1393–1395

PUPIŠ, M. (2021). Biologický pas športovca - benefity a riziká interpretácie výsledkov = Athlete biological passport - benefits and risks of the interpretation of the results In: Česká kinantropologie, Vol. 25, no. 3-4 (2021), pp. 97-105.

PUPIŠ, M., FRANEK, V., ŠVANTNER, R., LÍŠKA, D. & BARTHOVÁ, M. (2024). Sezónna variácia hemoglobínu a retikulocytov športovca. In: *Vedecký pohľad na telesnú výchovu, šport a zdravie v roku 2024* S. 64-69.

World Anti Doping Agency. (2017). Athlete Biological passport operating guidelines. [online] dostupné na internete: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/guidelines_abp_v6_2017_jan_en_final.pdf

VPLYV HYPOXICKÉHO TRÉNINGU NA VÝKONNOSŤ V BEHU NA LYŽIACH

Vladimír Franek - Denis Tilesch - Jaroslav Kompán
*Fakulta telesnej výchovy, športu a zdravia Univerzity Mateja Bela v
Banskej Bystrici, Slovenská republika*

ABSTRAKT

Cieľom tejto štúdie bolo preskúmať vplyv hypoxického tréningu na výkon vrcholového bežca na lyžiach, ktorý sa zúčastnil dvoch hypoxických pobytov vo výškach 1 820 m.n.m. (Livigno) a 1 360 m.n.m. (Štrbské Pleso). Počas 10–15 dní v hypoxickom prostredí proband absolvoval tréningy zamerané na zlepšenie vytrvalosti a techniky. Výsledky ukázali zlepšenie hematologických parametrov, ako je zvýšenie hladiny hemoglobínu, erytrocytov a retikulocytov, čo naznačuje zlepšenie krvných parametrov vplyvom hypoxie. Spiroergometrické testy preukázali zlepšenie VO_2 max a spotreby kyslíka pri anaeróbnom prahu, čo naznačuje pozitívny vplyv na aeróbnu a anaeróbnú kapacitu športovca. Tieto výsledky potvrdzujú účinnosť hypoxického tréningu ako súčasť prípravy pre vytrvalostné disciplíny, konkrétne pre bežcov na lyžiach, a naznačujú, že tréning vo výške môže zlepšiť fyziologické parametre a výkon pri pretekoch.

KĹÚČOVÉ SLOVÁ: beh na lyžiach, hypoxia, hemoglobín.

ABSTRACT

THE EFFECT OF HYPOXIC TRAINING ON CROSS-COUNTRY SKIING PERFORMANCE

The aim of this study is to examine the impact of hypoxic training on the performance of a top cross-country skier who participated in two hypoxic stays at altitudes of 1,820 m (Livigno) and 1,360 m (Štrbské Pleso). The athlete underwent training focused on improving endurance and technique during 10 – 15 days in a hypoxic environment. The results show an improvement in hematological parameters such as an increase in hemoglobin, erythrocytes and reticulocytes, indicating an improvement in blood parameters due to hypoxia. Spiroergometric tests have shown improvements in VO_2 max and oxygen consumption at the anaerobic threshold, indicating a positive effect on an athlete's aerobic and anaerobic capacity. These

results confirm the effectiveness of hypoxic training as part of the preparation for endurance disciplines, specifically for cross-country skiers, and suggest that training at a height can improve physiological parameters and race performance.

KEY WORDS: cross-country skiing, hypoxia, hemoglobin

ÚVOD

Účinky tréningu v miernej nadmorskej výške na následný výkon vo vysokej nadmorskej výške a v blízkosti hladiny mora sa stali dôležitými počas Olympijských hier v Mexiku v roku 1968 (cca 2300 m.n.m.) a odvtedy sa intenzívne skúmajú. Dnes je bežnou praxou, že elitní vytrvalostní športovci naprieč rôznymi športmi využívajú tréning vo vysokej nadmorskej výške na zlepšenie výkonu pri hladine mora. Prevládajúci model adaptácie na hypoxiu spočíva v tom, že nižší parciálny tlak kyslíka spojený s miernou nadmorskou výškou stimuluje produkciu erythropoetínu (EPO) v obličkách, čo následne podporuje tvorbu červených krviniek v kostnej dreni. To umožňuje zvýšenie maximálneho príjmu kyslíka ($\dot{V}O_2\text{max}$) a potenciálne zlepšuje vytrvalostný výkon (Levine & Stray-Gundersen, 1997; Saunders et al., 2013; Stray-Gundersen et al., 2001). Keďže $VO_2\text{max}$ závisí od srdcového výdaja a arteriovenózneho rozdielu kyslíka (O_2), všetky faktory, ktoré ovplyvňujú tieto fyziologické kapacity, môžu obmedziť vytrvalostný výkon (Saunders et al., 2010; Wagner, 1993). Najdôležitejším faktorom súvisiacim s prívodom krvi je celkový objem krvi, ktorý môže obmedzovať žilový návrat a tým aj objem, ako aj hmotnosť hemoglobínu (Hbmass). Hmotnosť hemoglobínu spolu so schopnosťou svalov extrahovať a využívať kyslík určuje kapacitu transportu kyslíka a tým aj arteriovenózny rozdiel kyslíka (Schmidt et al., 2002).

Hoci niektorí autori priamo spájali zmenu výkonu pri hladine mora po tréningovom kempe vo vysokej nadmorskej výške (hypoxická intervencia) so zmenou hladiny sérového EPO vo výške, korelácia medzi zmenou $VO_2\text{max}$ a objemom červených krviniek ukázala hodnotu $r^2 = 0,14$. (Levine & Stray-Gundersen, 1997; Stray-Gundersen et al., 2001) To znamená, že 86 % variability vo $VO_2\text{max}$ možno pripísať faktorom iným ako zmene Hbmass. Je dôležité uvedomiť si, že $VO_2\text{max}$ nie je jediným určujúcim faktorom výkonu. U elitných športovcov sú ďalšími dôležitými faktormi, ako sú efektívnosť pohybu a

frakčná využitelnosť $VO_2\text{max}$, kľúčové determinanty vytrvalostného výkonu (Saunders et al., 2013). Okrem zvýšenia Hbmass a následného zvýšenia $VO_2\text{max}$ pri hladine mora môže tréning vo vysokej nadmorskej výške zlepšiť svalovú efektivitu, pravdepodobne na mitochondriálnej úrovni, a zmeniť svalové proteíny zapojené do kontroly acidobázickej rovnováhy. Môže tiež zvýšiť schopnosť presunu laktátu, hydrogénkarbonátu a vodíkových iónov zo svalov do krvi, čo môže byť spojené s lepším výkonom u vytrvalostných a tímových športovcov (Billaut et al., 2012; Gore et al., 2007). Podrobný prehľad nehematologických adaptácií na hypoxiu, ktoré môžu zlepšiť vytrvalostný výkon pri hladine mora, bol už publikovaný (Gore et al., 2007). Pri adekvátnej dávke hypoxie (dostatočne vysokej, trvajúcej dostatočne dlho a počas dostatočného počtu hodín denne) (Wilber, 2001) dochádza k zvýšeniu Hbmass, $VO_2\text{max}$ a potenciálne aj výkonu (Gore et al., 2007). Existujú však dôkazy, že aj keď tréning vo výške zvyšuje Hbmass, môže paralelne dochádzať k zníženiu srdcového výdaja, vaskulárnej regulácie alebo iným mechanizmom, ktoré môžu obmedzovať zvýšenie $VO_2\text{max}$ (Favret et al., 2001; Reboul et al., 2005).

Pri hodnotení zvýšenia Hbmass a $VO_2\text{max}$ v dôsledku tréningu vo vysokej nadmorskej výške je potrebné zohľadniť faktory, ako sú vek, pohlavie, tréningový stav a typ športu. Mnohé výskumné štúdie využívali malé vzorky, pričom hlavnou prednosťou štúdie je spojenie údajov z viacerých výskumov, čo umožňuje zvýšiť veľkosť vzorky a zahŕňať rôzne merania naprieč športovcami s rôznymi charakteristikami (Saunders et al., 2013). V poslednom čase sa objavili kontroverzie o tom, či je tréning vo výške, konkrétne metóda „ži vysoko – trénuj nízko“ (LHTL), účinný pri zlepšovaní Hbmass, $VO_2\text{max}$ a vytrvalostného výkonu (Siebenmann et al., 2012). Preto bolo cieľom tejto štúdie preskúmať (v rámci grantov VEGA 1/0707/22 - Špecifická variability hematologických ukazovateľov sledovaných v biologickom pase športovca a VEGA 1/0547/22 - Využitie hypoxie a hyperoxie v športovej príprave) účinnosť pobytu a tréningu v hypoxickom prostredí na výkon a zmeny v sledovaných krvných parametroch na vrcholovom bežcovi na lyžiach.

METODIKA

Sledovaný proband na overenie vplyvu tréningu vo vysokej nadmorskej výške bol vrcholový bežec na lyžiach, narodený v roku 2002 - člen Mestského klubu lyžiarov Kremnica, aktívny reprezentant v behu na lyžiach, účastník Mládežníckeho európskeho olympijského festivalu (EYOF), mládežníckych olympijských hier (YOG) majstrovstiev sveta juniorov v rokoch 2019, 2021, 2022 a svetových univerzitných hier v roku 2023.

Výskum skúmal stav probanda pred a po hypoxickej príprave, zameraný na dve skupiny parametrov: kvalitatívne zmeny krvi (zvýšenie počtu erytrocytov, hemoglobínu a hematokritu) a stav trénovanosti prostredníctvom spiroergometrie. Tá merala parametre ako $VO_2\max$, spotrebu kyslíka pri aeróbnom a anaeróbnom prahu, $RER=1$ a srdcovú frekvenciu.

Pred hypoxickým tréningom absolvoval proband krvné testy a spiroergometriu na bežiacom páse po celoročnej príprave v domácom prostredí bez hypoxie. Hypoxický tréning prebehol 15.–30. 11. 2023 v talianskom Livignu (1 820 m.n.m.), kde počas 10 tréningových dní odtrénoval 40,5 hodín. Tréningový proces zahŕňal nízku intenzitu, po týždňovej aklimatizácii krátke šprinty (10–20 sekúnd) a neskôr intervalový tréning na hranici anaeróbného prahu.

Hypoxická príprava bola ukončená odberom krvi po návrate domov a kontrolnými vzorkami o dva týždne neskôr. Proband následne absolvoval spiroergometrické vyšetrenie po týždni voľnejšieho programu.

O dva mesiace neskôr prebehol ďalší hypoxický pobyt na Štrbskom Plese (1 360 m.n.m.), trvajúci 10 dní (21.–30. 1. 2024). Tréning zameraný na pretekovú formu a techniku zahŕňal 23 hodín a 20 minút. Výskum sledoval vplyv nižšej nadmorskej výšky na zmeny v krvi. Po pobyte nasledovali Majstrovstvá sveta do 23 rokov v Planici. Krvné vzorky boli odobraté pred pobytom a po siedmich dňoch, no kvôli pretekom nebolo možné vykonať záverečné kontrolné testy. Analyzované budú dostupné výsledky.

Výskum zahŕňal testovanie probanda na konci prípravného obdobia a v predpretekovej sezóne, pričom sa použili odbery krvi a spiroergometrické testy.

Odbery krvi realizované v Laboratóriu klinickej biochémie Banská Bystrica (Unilabs Slovensko) na skúmanie hemoglobínu, hematokritu,

erytrocytov, ich veľkosti, retikulocytov a erytropoetínu. Odbery prebiehali pred a po hypoxickom pobyte v Livignu a Štrbskom Plese. Spiroergometrické testy prebiehali v ambulancii FTVŠaZ UMB, najskôr spirometria (meranie FVC, FEV1, Tiffeneauov index), následne spiroergometria na bežiacom páse. Závažový test začal rozcvičením, postupne sa zvyšovala rýchlosť o 0,9 km/h každú minútu. Po teste nasledovala zotavovacia fáza.

Skúmané parametre:

VO₂max, spotreba kyslíka pri anaeróbnom a aeróbnom prahu

RER=1 (rovnosť vydýchnutého CO₂ a vdýchnutého O₂)

Srdcová frekvencia na aeróbnom a anaeróbnom prahu

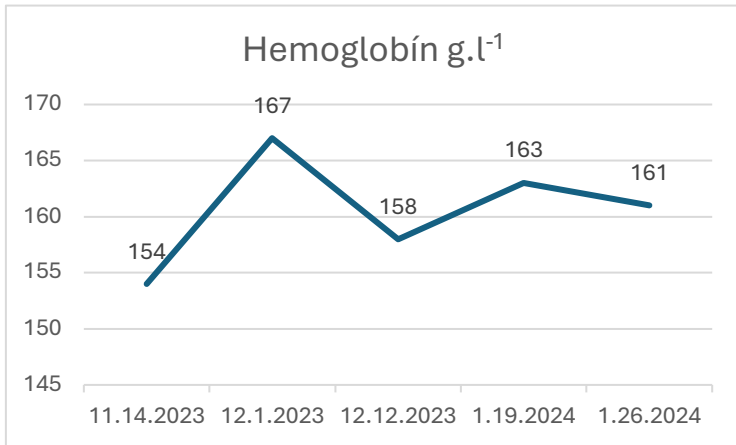
VÝSLEDKY

Ako môžeme sledovať v tabuľke 1, vo všetkých sledovaných krvných parametroch došlo k zmenám vplyvom hypoxického prostredia.

Tabuľka 1 Hodnoty sledovaných krvných parametrov a dátumy odberov krvi

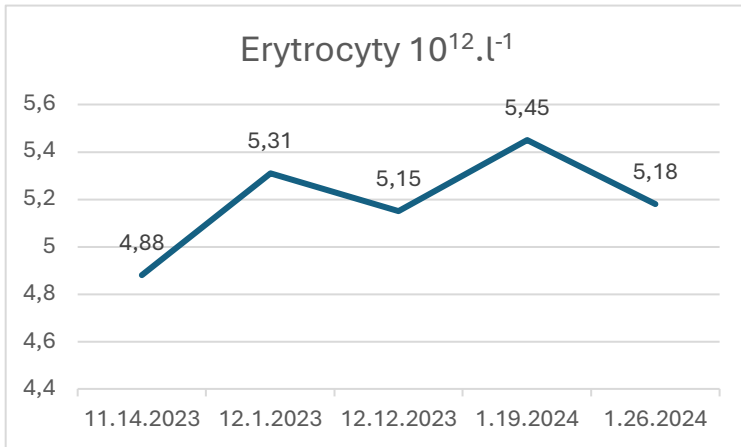
	14.11.2023	1.12.2023	12.12.2023	19.1.2024	26.1.2024
Hemoglobín	154	167	158	163	161
Erytrocyty	4,88	5,31	5,15	5,45	5,18
Retikulocity	1,57	1,63	1,19	1,35	1,47
Stredný objem erytrocytov	92,9	93	89,6	92,8	95,4
Hematokrit	0,454	0,494	0,461	0,505	0,494

Hodnoty hemoglobínu sledujeme na obrázku 1. Najnižšiu hodnotu 154 sme u probanda namerali pred odchodom na prvý hypoxický pobyt. Po návrate z neho bola zaznamenaná najvyššia hodnota 167, tento náraz predstavuje vyše 8 %. Kontrolné meranie na dvanásty deň po návrate ukázalo zníženie hodnoty, avšak oproti pôvodnej hodnote to bolo o 2,5 % viac. Vyšetrenie parametra pred nástupom na druhý hypoxický pobyt odhalilo nárast, na siedmy deň sme zaznamenali pokles, avšak oproti pôvodnej hodnote bola táto vyššia o 4,5 % oproti odberu po tréningu v normoxii.



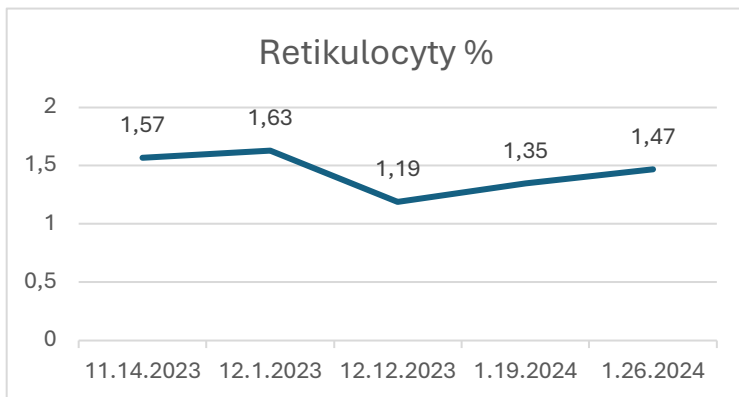
Obrázok 1 Priebeh zmien hladiny hemoglobínu

Vo všetkých sledovaných parametroch krvi došlo k zmenám, navýšeniu. Počet erytrocytov sa zo vstupnej hodnoty 4,88 zvýšil na hodnotu 5,31 pri meraní po návrate z prvého hypoxického pobytu. Je to nárast o 9 %. Kontrolné meranie na dvanásť deň po návrate ukázalo mierne zníženie, avšak nie pod úroveň vstupnej hodnoty, oproti pôvodnej hodnote bola táto hodnota o 6 % vyššia. Pred nástupom na druhý hypoxický pobyt sme u probanda zaznamenali zvýšenie, bol to najvyšší sledovaný údaj zo všetkých meraní, kontrolný odber na siedmy deň druhého hypoxického pobytu ukázal pokles, avšak hodnota parametra opäť neklesla pod pôvodnú úroveň.



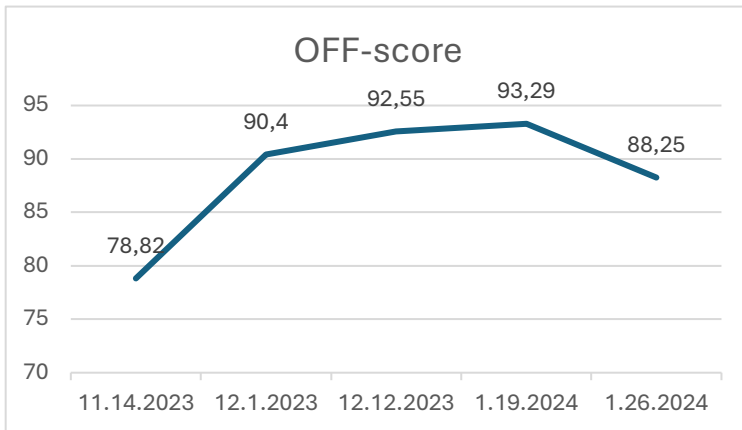
Obrázok 2 Priebeh zmien hodnôt erytrocytov

Obrázok 3 znázorňuje percentuálne zmeny retikulocytov v priebehu času, čo odráža dynamiku tvorby červených krviniek a reakciu organizmu na tréningové a hypoxické podmienky. Dňa 14.11.2023 bola hodnota retikulocytov 1,57 %, pričom do 1.12.2023 stúpila na 1,63 %, čo naznačuje zvýšenú produkciu erytrocytov v dôsledku adaptácie na hypoxický tréning. Následne, po ukončení hypoxického pobytu, došlo k výraznému poklesu na 1,19 % dňa 12.12.2023, čo môže súvisieť s adaptačnými procesmi organizmu po návrate do normoxického prostredia. Dňa 19.1.2024 sa hodnota opäť zvýšila na 1,35 %, pravdepodobne ako odozva na nový tréningový stimul. Tento nárast pokračoval až na 1,47 % dňa 26.1.2024, čo naznačuje pokračujúcu regeneráciu a adaptáciu organizmu na zaťaženie a hypoxické podmienky.



Obrázok 3 Priebeh zmien podielu retikulocytov

Obrázok 4 znázorňuje zmeny OFF-skóre, ktoré slúži ako indikátor rovnováhy medzi hladinami hemoglobínu a retikulocytov, a odráža reakciu organizmu na tréningové a hypoxické podmienky. Dňa 14.11.2023 bola hodnota OFF-skóre 78,82. Do 1.12.2023 nastal výrazný nárast na 90,4, čo predstavuje zvýšenie o 14,7 %. Tento nárast možno pripísať adaptácii na hypoxické prostredie, ktorá zvýšila hladinu hemoglobínu. Dňa 12.12.2023 hodnota ďalej vzrástla na 92,55, čo je zvýšenie o ďalšie 2,4 % oproti predošlému meraniu. Táto hodnota dosiahla vrchol dňa 19.1.2024, kedy OFF-skóre stúplo na 93,29, čo predstavuje mierny nárast o 0,8 % oproti decembrovému meraniu. Po ukončení hypoxického tréningu nastal pokles na 88,25 dňa 26.1.2024, čo je zníženie o 5,4 % v porovnaní s maximálnou hodnotou. Tento pokles môže signalizovať návrat organizmu k rovnováhe po tréningovom a hypoxickom zaťažení. Celkovo OFF-skóre vykazuje vzostupný trend počas hypoxickej prípravy s následným poklesom po jej ukončení.



Obrázok 4 Priebeh zmien hodnôt OFF-score

Porovnanie výsledkov (tabuľka 2) z dvoch meraní záťažovej spiroergometrie, uskutočnených 13. novembra 2023 a 11. decembra 2023, ukazuje výrazné zlepšenie fyzickej kondície a kardiovaskulárnej výkonnosti. V prvom meraní bola maximálna spotreba kyslíka (VO_2 max) na úrovni 57,1 ml/kg/min, zatiaľ čo v druhom meraní sa zvýšila na 64,6 ml/kg/min, čo predstavuje nárast o 7,5 ml/kg/min. Tento pokrok naznačuje zlepšenie schopnosti organizmu efektívne využívať kyslík počas záťaže, čo je charakteristickým znakom lepšej aeróbnej kondície. Podobne aj spotreba kyslíka pri anaeróbnom prahu (VO_2 ANP) sa zvýšila z 42,2 ml/kg/min na 45,6 ml/kg/min, čo predstavuje nárast o 3,4 ml/kg/min. Tento nárast indikuje, že organizmus lepšie zvláda intenzívnejšiu záťaž pred dosiahnutím anaeróbnej fázy. Spotreba kyslíka pri anaeróbnom prahu (VO_2 AP) vzrástla zo 36,1 ml/kg/min na 41,8 ml/kg/min, čo naznačuje, že anaeróbný prah sa posunul, a teda je možné vykonávať fyzickú aktivitu pri vyššej intenzite. Zaujímavé zlepšenie nastalo aj v prípade respiračného kvocientu pri hodnote 1 (VO_2 RER), ktorý sa zvýšil z 41,4 ml/kg/min na 60,4 ml/kg/min. Tento nárast naznačuje, že organizmus bol schopný lepšie spracovávať sacharidy pri vyššej intenzite výkonu. V oblasti srdcovej frekvencie došlo k poklesu pri dosahovaní anaeróbného prahu (SF ANP) zo 150 bpm na 144 bpm, čo poukazuje na zlepšenú kardiovaskulárnu kondíciu a efektívnejšiu prácu srdca pri nižšej

frekvencii. Na druhej strane, srdcová frekvencia pri anaeróbnom prahu (SF AP) vzrástla z 129 bpm na 141 bpm, čo môže indikovať vyššiu záťaž, ktorú organizmus vydržal, a zároveň zvýšenú intenzitu záťaže počas druhého testu.

Tabuľka 2 Zmeny v parametroch sledovaných záťažovou spiroergometriou

SPIROERGOMETRIA	13.11.2023	11.12.2023
VO _{2max} (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	57,1	64,6
VO2ANP (ml.kg-1.min-1)	42,2	45,6
VO2AP (ml.kg-1.min-1)	36,1	41,8
VO2RER=1 (ml.kg-1.min-1)	41,4	60,4
SF ANP	150	144
SF AP	129	141

DISKUSIA

Tréning vo vyšších nadmorských výškach sa považuje za efektívny spôsob zlepšenia fyziologických parametrov a výkonu športovcov, najmä v prípade vytrvalostných disciplín. Náš proband absolvoval hypoxickú prípravu v talianskom Livigne (1 830 m.n.m.), kde sa zúčastňoval prípravy v zimnom aj letnom období. Autori v štúdiu potvrdzujú účinnosť takejto prípravy a odporúčajú miesta ako Livigno a Štrbské pleso. Pobyt vo vysokohorskom prostredí trvajúci 10–14 dní a tréningový režim s tromi tréningovými dňami a jedným voľným dňom sú bežné. Po 15 dňoch v hypoxii došlo k pozitívnemu vplyvu na hematologické parametre probanda, s nárastom erytrocytov a hemoglobínu, čo naznačuje zlepšenie krvného obrazu. Výsledky sa zhodovali s predchádzajúcimi štúdiami o vplyve hypoxie na krvné parametre. Spirometrické a spiroergometrické testy ukázali zlepšenie aeróbnej výkonnosti, hoci výsledky VO_{2max} sa nezlepšili na úroveň špičkových športovcov, hodnoty stále boli nadpriemerné v porovnaní s bežnou populáciou. Zistené hodnoty srdcovej frekvencie neboli úplne presné, čo ovplyvnilo merania. Pobyt v hypoxii mal tiež pozitívny vplyv na výkon probanda, čo sa potvrdilo v pretekoch, kde dosiahol výborné výsledky. Hypoxická príprava je preto vhodná súčasť prípravy pre

bežcov na lyžiach, a vzhľadom na vysoké náklady na cestovanie sa odporúča zväžiť aj alternatívy hypoxických podmienok. (Chrástková & Suchý, 2011; Pupiš et al., 2007, 2012)

ZÁVERY

Výsledky štúdie naznačujú, že hypoxický tréning v miernej nadmorskej výške (ako Livigno a Štrbské pleso) môže mať pozitívny vplyv na zlepšenie hematologických parametrov a aeróbnej výkonnosti vrcholového bežca na lyžiach. Po absolvovaní hypoxického tréningu sa u probanda pozoroval nárast hodnoty hemoglobínu, erytrocytov a hematokritu, čo indikuje zvýšenú produkciu červených krviniek, ako aj zlepšenie kapacity transportu kyslíka v krvi. Tieto zmeny súvisia s adaptáciou organizmu na podmienky nízkeho parciálneho tlaku kyslíka.

Z výsledkov spiroergometrických testov vyplýva, že aj keď došlo k zlepšeniu aeróbnej kapacity (zvýšenie $VO_2\text{max}$ a spotreby kyslíka pri anaeróbnom prahu), hodnoty neprekročili úroveň špičkových športovcov. Napriek tomu boli výsledky stále nadpriemerné v porovnaní s bežnou populáciou, čo naznačuje efektívnosť hypoxického tréningu v zlepšení kardiovaskulárnej výkonnosti a aeróbnej kondície.

Pozitívne efekty hypoxického tréningu sa ďalej potvrdili aj vo výkonoch počas pretekov, kde proband dosiahol vynikajúce výsledky. Na základe týchto zistení možno hypoxický tréning odporučiť ako efektívnu súčasť prípravy pre vytrvalostných športovcov, najmä v disciplínach ako beh na lyžiach. Vzhľadom na náklady spojené s cestovaním do vysokohorských lokalít by však športovci mali zväžiť aj alternatívy, ako sú tréning v simulovaných hypoxických podmienkach.

Celkový vplyv hypoxického tréningu na výkon v behu na lyžiach potvrdzuje jeho prínos v zlepšení fyziologických parametrov, čo môže viesť k lepším výkonom na hladine mora a v pretekoch na vysokých nadmorských výškach.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

BILLAUT, F., GORE, C. J., & AUGHEY, R. J. (2012). Enhancing Team-Sport Athlete Performance. *Sports Medicine*, 42(9), 751–767. <https://doi.org/10.1007/BF03262293>

- FAVRET, F., RICHALET, J.-P., HENDERSON, K. K., GERMACK, R., & GONZALEZ, N. C. (2001). Myocardial adrenergic and cholinergic receptor function in hypoxia: Correlation with O₂ transport in exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 280(3), R730–R738. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.2001.280.3.R730>
- GORE, C. J., CLARK, S. A., & SAUNDERS, P. U. (2007). Nonhematological mechanisms of improved sea-level performance after hypoxic exposure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(9), 1600–1609. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180de49d3>
- CHRÁSTKOVÁ, M., & SUCHÝ, J. (2011). Názory trenérů lyžařů běžců na přípravu ve vyšší nadmořské výšce. *Studia sportiva*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.5817/StS2011-1-16>
- LEVINE, B. D., & STRAY-GUNDERSEN, J. (1997). "Living high-training low": Effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of Applied Physiology*, 83(1), 102–112. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.83.1.102>
- PUPIŠ, M., ČILLÍK, I., KORČOK, P., PUPIŠ, M., ČILLÍK, I., & KORČOK, P. (2007). Odozva organizmu športovca na prerušovaný hypoxický tréning. *Atletika 2007*, 162–167. https://library.sk/arl-umb/sk/detail-umb_un_cat-0051440-Odozva-organizmu-sportovca-na-prerusovany-hypoxicky-trening/
- PUPIŠ, M., ČILLÍK, I., PUPIŠ, M., & ČILLÍK, I. (2012). Rôzne alternatívy hypoxickej prípravy a ich využitie v športe. *Atletika 2012*, 14–23. https://www.library.sk/arl-umb/en/detail-umb_un_cat-0174740-Rozne-alternativy-hypoxickej-pripravy-a-ich-vyuzitie-v-sporte/
- REBOUL, C., TANGUY, S., DAUZAT, M., & OBERT, P. (2005). Altitude negates the benefits of aerobic training on the vascular adaptations in rats. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(6), 979–985.
- SAUNDERS, P. U., AHLGRIM, C., VALLANCE, B., GREEN, D. J., ROBERTSON, E. Y., CLARK, S. A., SCHUMACHER, Y. O., & GORE, C. J. (2010). An attempt to quantify the placebo effect from a three-week simulated altitude training camp in elite race walkers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(4), 521–534. <https://doi.org/10.1123/ijspp.5.4.521>
- SAUNDERS, P. U., GARVICAN-LEWIS, L. A., SCHMIDT, W. F., & GORE, C. J. (2013). Relationship between changes in haemoglobin

mass and maximal oxygen uptake after hypoxic exposure. *British Journal of Sports Medicine*, 47(Suppl 1), i26–i30. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092841>

SCHMIDT, W., HEINICKE, K., ROJAS, J., MANUEL GOMEZ, J., SERRATO, M., MORA, M., WOLFARTH, B., SCHMID, A., & KEUL, J. (2002). Blood volume and hemoglobin mass in endurance athletes from moderate altitude: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(12), 1934–1940. <https://doi.org/10.1097/00005768-200212000-00012>

SIEBENMANN, C., ROBACH, P., JACOBS, R. A., RASMUSSEN, P., NORDSBORG, N., DIAZ, V., CHRIST, A., OLSEN, N. V., MAGGIORINI, M., & LUNDBY, C. (2012). “Live high–train low” using normobaric hypoxia: A double-blinded, placebo-controlled study. *Journal of Applied Physiology*, 112(1), 106–117. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00388.2011>

STRAY-GUNDERSEN, J., CHAPMAN, R. F., & LEVINE, B. D. (2001). “Living high–training low” altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 91(3), 1113–1120. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.3.1113>

WAGNER, P. D. (1993). Algebraic analysis of the determinants of $\dot{V}O_{2,max}$. *Respiration Physiology*, 93(2), 221–237. [https://doi.org/10.1016/0034-5687\(93\)90007-W](https://doi.org/10.1016/0034-5687(93)90007-W)

WILBER, R. L. (2001). Current trends in altitude training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(4), 249–265. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131040-00002>

AKTIVITA DÝCHACÍCH SVALOV MLADÝCH PLAVCOV

Kristína Papcunová - Dávid Líška - Zuzana Pupišová
*Fakulta telesnej výchovy, športu a zdravia Univerzity Mateja Bela v
Banskej Bystrici, Slovenská republika*

ABSTRAKT

Cieľom výskumu bolo zistiť úroveň aktivity dýchacích svalov u mladých plavcov. Výskumný súbor tvorilo 50 probandov (26 žien a 24 mužov), kde sa experimentálny súbor ($n = 25$) aktívne venuje plávaniu a kontrolný súbor ($n = 25$), ktorý sa plávaniu nevenuje na pravidelne. Vekový priemer sledovaného súboru bol $12,38 \pm 2,05$, priemerná telesná výška bola $158,58 \pm 12,91$ cm a priemerná telesná hmotnosť bola $48,86 \pm 12,62$ kg. Testovanie aktivity dýchacích svalov bolo uskutočnené prostredníctvom Ohmbelt merania v dvoch pozíciách. Výsledky testovania pomocou Ohmbelt merania boli zaznamenané v prospech skupiny plavcov, kde sme zaznamenali štatistický signifikantný rozdiel v porovnaní s kontrolnou skupinou v pozícií 1 ($p = 0,001$) a v pozícií 2 ($p = 0,023$). Pri hodnotení vzájomnej korelácie medzi športovým vekom a hodnotami vnútrobrušného tlaku sme zaznamenali nízke korelácie v oboch polohách ($r > 0,60$; $p > 0,05$). Výsledky aktivity dýchacích svalov naznačujú, že plavci zapájajú častejšie bránicu, preto hodnoty z merania s Ohmbelt boli vyššie v porovnaní s kontrolnou skupinou.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: dýchacie svaly, aktivita, hypoxia, normoxia, plávanie.

ABSTRACT

ACTIVITY OF BREATHING MUSCLES OF YOUNG SWIMMERS

The aim of the research was to determine the level of respiratory muscle activity in young swimmers. The research set consisted of 50 probands (26 females and 24 males), where the experimental set ($n = 25$) is actively involved in swimming and the control set ($n = 25$) is not involved in swimming on a regular basis. The mean age of the study population was 12.38 ± 2.05 , mean body height was 158.58 ± 12.91 cm and mean body weight was 48.86 ± 12.62 kg. Testing of respiratory muscle activity was performed by Ohmbelt measurement in two

positions. The results of testing using Ohmbelt measurement were recorded in favour of the swimmer group, where we observed a statistically significant difference compared to the control group in position 1 ($p=0.001$) and in position 2 ($p=0.023$). When assessing the correlation between sport age and intra-abdominal pressure values, we observed low correlations in both positions ($r>0.60$; $p>0.05$). The results of respiratory muscle activity suggest that swimmers engage the diaphragm more frequently, therefore the values from the Ohmbelt measurement were higher compared to the control group.

KEY WORDS: respiratory muscles, activity, shypoxic, normoxic, wimming.

ÚVOD

Plávanie považujeme za jednu z najideálnejších a biologicky najúčinnějších športových aktivít, ktorá so sebou prináša veľké množstvo pozitívnych účinkov na organizmus človeka (Hadiansyah, 2022; Sinclair & Roscoe, 2023; Su, 2020). Je určená pre všetky vekové kategórie a nevyžaduje si ani veľkú fyzickú pripravenosť. Aj napriek uvedenému sa v športovom plávaní stretávame so zraneniami (plavecké rameno, prsiarske koleno či rôzne bolesti chrbtice). Vrcholoví plavci majú sklon ku skolióze, hrudnej kyfóze či lumbálnej hyperlordóze, častejšie u žien ako u mužov. Medzi základné spôsoby prevencie zranení plavcov zaraďujeme adekvátne rozcvičenie a rozplávanie, správnu realizáciu techniky plaveckých spôsobov, zaradenie kompenzačných a strečingových cvičení, vhodnú a dostatočnú regeneráciu ako aj zaradenie hypoxického tréningu, ktorý zlepšuje plavcom kapacitu pľúc, čo umožňuje plavcovi lepšie rozloženie síl a optimálnejšie využívanie svalov v strednej časti tela (McLeod, 2014). Dýchanie zohráva zásadnú úlohu u všetkých plavcov, ktorí sa snažia zlepšiť svoju rýchlosť a efektivitu pohybu vybraného plaveckého spôsobu. Pohyby dýchania prebiehajú v troch sektoroch trupu: dolný-abdominálny sektor (oblasť od bránice po panvové dno), stredný-dolný hrudný sektor (oblasť medzi bránicou a Th5) a horný hrudný sektor (oblasť od Th5 po dolnú krčnú chrbticu (Kolář 2020)). Zlepšenie dychového cyklu spočíva v optimálnom načasovaní nádychu a výdychu, ktoré sa zhodujú so správnym pohybom tela a hlavy. Pre dychovú symptomatiku v plávaní je ideálne zakomponovať dýchanie do plaveckého cyklu bez toho, aby bola narušená poloha tela

vo vode alebo pohyb paže v prenosovej fáze nad hladinou. Akékoľvek iné pohyby navyše či nesprávne vykonávané dýchanie má zlý vplyv na ekonomickosť pohybu, koordináciu a vo výsledku rýchlosť plávania (Willardson a National Strength & Conditioning Association, 2014). Mechanika dýchania sa pri plávaní prejavuje inak ako u ostatných športoch. Hlavnú úlohu tu zohráva voda a hydrostatický tlak pôsiaci na telo plavca, kedy počas inšpiria prekonáva tlak vody pôsiaci na ponorený hrudník a hydrostatický tlak, ktorý rovnako pôsobí pri výdychu do vody (Rosina 2013). Pre plávanie je typický krátky intenzívny nádych a dlhý prehĺbený výdych do vody. Kvôli vlastnostiam vody, nádychové a výdychové svaly sú viac zaťažované ako na suchu. Pohyby končatín sú vykonávané vo veľkom rozsahu, čím tvoria priaznivé podnety pre udržanie kvalitného rozsahu pohybu. Svalstvo trupu a končatín je cyklicky v záberovej fáze zaťažované a mimo záberovej fázy relaxované. Pomocou pohybu vo vode môžeme uvoľňovať a naťahovať skrátené svaly, vďaka odporu vody zase posilňovať oslabené svaly (Čechovská, 2018).

V hypoxii, kedy je znížená koncentrácia kyslíka v tkanivách sa aktivita dýchacích svalov zvyšuje, aby sa telo pokúsilo kompenzovať nedostatok kyslíka. Bránica ako hlavný dýchací sval zintenzívňuje svoju činnosť, aby sa zabezpečila možnosť hlbšieho a rýchlejšieho nádychu. Súčasne medzirebrové svaly pracujú na rozšírení hrudníka, aby bol umožnený čo najväčší objem vzduchu využiteľného pri nádychu. Pri ťažkej hypoxii sa aktivujú aj pomocné dýchacie svaly ako napr. svaly krku (zdvihnutie hrudníka), hrudníkové svaly (rozšírenie hrudníka) a svaly chrbta a ramien (podpora stabilizácie a pohybov hrudníka).

Za najdôležitejšie považujeme sledovať už deti v mladšom a staršom školskom veku, u ktorých je ovplyvnenie dýchania možné vo veľkej miere a ktoré ešte nemajú zastabilizované dychové stereotypy. Následne správne osvojené dýchanie môžu využiť pre zlepšovanie plaveckej výkonnosti.

Na základe dostupných štúdií sme sa rozhodli zistiť, či existuje rozdiel medzi skupinou mladých plavcov a neplavcov, resp. detí, ktoré sa plávaniu nevenujú denne a pravidelne.

Predloženú štúdiu sme realizovali v nadväznosti na ciele grantovej úlohy **VEGA 1/0547/22 - Využitie hypoxie a hyperoxie v športovej príprave**.

METODIKA

Do výskumu bolo zapojených 50 probandov (52 % žien a 48 % mužov), ktorí boli rozdelení na experimentálnu skupinu, ktorá sa aktívne venuje plávaniu ($n = 25$) a kontrolnú skupinu ($n = 25$). Vek všetkých probandov sa pohyboval od 10 do 16 rokov (vekový priemer $12,38 \pm 2,05$), priemerná telesná hmotnosť bola $48,86 \pm 12,62$ kg a priemerná telesná výška bola $158,58 \pm 12,91$ cm, pričom 44 probandov malo pravú dominantnú končatinu a 6 ľavú dominantnú končatinu.

Výskum bol schválený zákonnými zástupcami aj etickou komisiou Fakulty zdravotníctva SZU (Slovakia) 12/2023-24.

V rámci testovania aktivity dýchacích svalov sme využili neinvazívne testovanie prostredníctvom Ohmbeltu. Testovanie Ohmbeltom, ktorý bol umiestnený v oblasti inguiny, prebiehalo v dvoch pozíciách:

- a) v ľahu na chrbte s mierne pokrčenými DKK,
- b) v ľahu na chrbte s aktivovanou brušnou stenou a zdvihnutými DKK v trojflexii 90° .

Výskum sme realizovali v hypoxických a následne v normoxických podmienkach (Ohmbelt 1 resp. Ohmbelt 2).

V týchto pozíciách probandi voľne dýchali do brucha (Madle, 2022). Výsledky realizovaného výskumu boli spracované pomocou deskriptívnej štatistiky (aritmetický priemer, smerodajná odchýlka, maximum minimum, špicatosť a šikmosť), interferenčnej štatistiky, kde boli porovnávané výskumné súbory medzi sebou. Shapiro-Wilk test bol použitý na testovanie normality a v rámci porovnania skupín sme použili nezávislý t-test, Fisherov exaktný test a Mann-Whitney U test. Hladina štatistickej významnosti bola určená na hladine $\alpha - 0,05$.

VÝSLEDKY

Výsledky testovania v experimentálnom súbore plavcov (Tabuľka 1) boli realizované pomocou prístroja Ohmbelt.

Tabuľka 1 Výsledky testovania Ohmbelt

	Ohmbelt	Priemer (g)	Smerodajná odchýlka (\pm)	Maximum (g)	Minimum (g)
ES	Pozícia 1	190	60,36	340	80
	Pozícia 2	328,8	101,66	600	130
KS	Pozícia 1	124,08	64,73	340	60
	Pozícia 2	256,44	115,35	460	85

Výsledky poukazujú na zistené hodnoty v pozícii 1, kde sme zaznamenali priemerné hodnoty v rozmedzí od 80 do 340, pričom priemerná hodnota bola 190 (\pm 60,36). Hodnoty v pozícii 2 boli zaznamenané v rozmedzí 130 až 600, kde ich priemerná hodnota bola 328,8 (\pm 101,66).

Table 2 Výsledky testovania Ohmbelt podľa pohlavia

	Ohmbelt	Priemer (g)	Smerodajná odchýlka (\pm)	Maximum (g)	Minimum (g)
ES	Pozícia 1, ženy	190	60,36	340	80
	Pozícia 2, ženy	328,8	101,66	600	130
	Pozícia 1, muži	189,58	61,62	340	80
	Pozícia 2, muži	329,58	103,77	600	130
KS	Pozícia 1, ženy	123,42	66,03	340	60
	Pozícia 2, ženy	256,29	117,83	460	85
	Pozícia 1, muži	124,08	64,73	340	60
	Pozícia 2, muži	256,44	115,35	460	85

Pri porovnaní medzi pohlaviami sme nezaznamenali významné rozdiely, nakoľko priemerná hodnota u žien v experimentálnom súbore bola v pozícii 1 bola 190 g (\pm 60,36), pričom u mužov bola 189,58 g (\pm 61,62). V pozícii 2 bola priemerná hodnota u žien 328,8 g (\pm 101,66) a u mužov 329,58 g (\pm 103,77). V kontrolnom súbore sme zaznamenali hodnoty Ohmbelt merania v pozícii 1 boli v rozmedzí od 60 g do 340

g, pričom priemerná hodnota bola 124,08 g ($\pm 64,73$). Hodnoty v pozícii 2 boli v rozmedzí 85 g až 460 g a ich priemerná hodnota bola 256,44 g ($\pm 115,35$).

Tabuľka 3 Výsledky t-testu Ohmbelt merania u oboch skupín

	Skupina	Priemer (g)	SD (\pm)	p-hodnota
Ohmbelt 1	plavci	190,00	60,36	0,001
	kontrolná	124,08	64,73	
Ohmbelt 2	plavci	328,80	101,67	0,023
	kontrolná	256,44	115,35	

Výsledky interferenčnej štatistiky uvádzame v tabuľke 3, kde vo výsledkoch Ohmbelt merania v rámci nezávislého t-testu sme zaznamenali v skupine plavcov signifikantný rozdiel v porovnaní s kontrolnou skupinou v pozícii 1 (p 0,001) a v pozícii 2 (p -0,023). V oboch pozíciách boli výsledky štatistický signifikantné.

Tabuľka 4 Vyhodnotenie korelácie medzi Ohmbelt 1 a Ohmbelt 2

	Priemer (g)	Smerodajná odchýlka (\pm)	p-hodnota	r-hodnota
Ohmbelt 1	190	60,36	0,002	0,586
Ohmbelt 2	328,80	101,66		

V tabuľke 4 uvádzame korelácie zistené medzi hodnotami zistenými medzi Ohmbelt 1 a Ohmbelt 2. Vidíme, že hodnota p bola zistená na úrovni p - 0,002 a hodnota r - 0,586.

Tabuľka 5 Vyhodnotenie korelácie medzi Ohmbelt 1 a 2 a športovým vekom u plavcov

	Priemer (g)	Smerodajná odchýlka (\pm)	p-hodnota	r-hodnota
Ohmbelt 1	190	60,36	0,875	0,033
Športový vek plavcov	5,88	3,01		
Ohmbelt 2	328,8	101,66	0,617	-0,105
Športový vek plavcov	5,88	3,01		

V ďalšej časti vyhodnocovania výsledkov sme sledovali závislosti medzi hodnotami (tabuľka 5), kde sme našli signifikantnú koreláciu medzi hodnotami na Ohmbelt 1 a Ohmbelt 2 ($r = -0,586$; $p = 0,002$), naopak medzi hodnotami Ohmbelt 1 a športový vek plavcov sme nezaznamenali signifikantnú koreláciu ($r = 0,033$; $p = 0,875$) a rovnako ani pri sledovaní korelácie medzi hodnotami Ohmbelt 2 a športový vek plavcov sme taktiež nezaznamenali signifikantnú koreláciu ($r = -0,105$; $p = 0,617$).

DISKUSIA

Obayashi et al. (2012) vo svojej štúdií skúmali potenciál cvičenia dýchacích svalov na zlepšenie držania tela. Randomizovanej štúdie sa zúčastnilo 26 zdravých plavcov zaradených do dvoch skupín ($n = 13$, skupina 1) a kontrolnej skupiny ($n=13$, skupina 2). Zakrivenie chrbtice, pľúcna funkcia a svalová sila trupu bola meraná v oboch skupinách na začiatku a po 4 týždňoch. Vo výsledkoch autori uvádzajú, že zakrivenie chrbtice bolo signifikantne odlišné v skupine 1, čo naznačuje zníženie hrudného ($-13,1\%$, $p < 0,01$) a driekového ($-17,7\%$, $p < 0,05$) postavenia. Skupina 1 vykazovala nižšie hrudné uhly ($-8,6\%$) a tiež bedrové uhly ($-20,9\%$) po cvičení ako skupina 2 ($p < 0,05$). Pokiaľ ide o svalovú silu trupu, iba sila vo flexii trupu sa významne zvýšila od intervencie pred k intervencii po v skupine 1 ($p < 0,05$). Pokiaľ ide o funkciu pľúc, maximálna vitálna kapacita a maximálny výdychový objem za minútu sa významne zvýšili po 4 týždňoch v skupine 1 ($p < 0,05$). Tieto výsledky naznačujú, že cvičenie dýchacích svalov a správna aktivita dýchacích a brušných svalov môže viesť k dobrej

kontrole držania tela a napriamenu chrbtice, čo sa z časti potvrdilo aj v našom výskume.

Podobne aj v štúdií od Ghannadi et al. (2024) sa autori venovali sledovanej problematike, kde ich cieľom bolo hodnotiť účinok programu tréningu inspiračných svalov (ITM) spolu s ďalšími rutinnými cvičeniami na zvyšovanie výkonnosti dospelých plavcov. Tento štúdie sa zúčastnilo 20 profesionálnych plavcov, ktorí boli rozdelení do intervenčnej a kontrolnej skupiny, kde okrem rovnakého rutinného tréningu intervenčná skupina mala 8 týždňov progresívny IMT program s počiatočnou silou 30% MIP (maximálny inspiračný tlak), 2x denne v troch sériách po 15 opakovaní na sériu s prahovým odporovým zaradením. Kontrolná skupina trénovala s 15% maximálnym inspiračným tlakom (MIP). Zistenia poukazujú na to, že v intervenčnej skupine došlo k významnému zlepšeniu ($p < 0,005$). Aj v rámci tejto štúdie môžeme zhodnotiť fakt, že pravidelné plávanie obohatené o dychové cvičenia majú pozitívny vplyv na aktivitu dýchacích svalov a tým aj na zlepšenie spirometrických hodnôt.

V štúdií od Santos et al. (2012) bolo hlavným cieľom preskúmať svalovú silu dýchacích svalov u chlapcov, ktorí sa venujú plávaniu alebo futbalu a u ich sedavých chlapcov. Do výskumu bolo zahrnutých 75 probandov pozostávajúci z 25 plavcov (skupina 1), 25 futbalistov (skupina 2) a 25 menej aktívnych probandov (skupina 3). Všetci podstúpili antropocentrické hodnotenie a maximálne dýchacie tlaky boli merané manometriou. V závere zistili, že plavci vykazovali významne lepšie maximálne dýchacie tlaky ako hráči futbalu a menej aktívny probandi ($p < 0,05$).

V rámci pilotnej štúdie Novak et al. (2021) skúmali novú, neinvazívnu metódu merania aktivácie brušnej steny v porovnaní zmien v aktivácii svalov pri dýchaní pri záťaži a pri inštruovanom dýchaní. Na neinvazívne vyšetrenie funkcie brušných svalov využili rovnako ako my unikátny prístroj s názvom Ohmbelt (Nilus Medical LLC, 2019 © OHMBELT, Redwood City, CA, USA). Súbor pozostával z 35 zdravých jedincov, 8 mužov a 27 žien, vo veku 19–25 rokov. Priebeh štúdie: dve kapacitné snímače sily zaznamenávali silu brušnej steny pri pokojovom stereotypnom dýchaní, inštruovanom stereotypnom a pri záťaži. Vo výsledkoch zaznamenali, že priemerná sila brušnej steny sa výrazne zvýšila na oboch senzoroch pri držaní záťaže v porovnaní s pokojovým dýchaním (horný senzor: $p < 0,0005$, $d = -0,46$, spodný

senzor: $p < 0,0005$, $d = - 0,56$). Počas inštruovaného dýchania došlo taktiež k výraznému zvýšeniu tlaku na oboch senzoroch v porovnaní s pokojovým dýchaním. Klinický toto neinvazívne zariadenie na meranie vnútrobrušného tlaku môže byť použité ako nástroj zistenia spätnej väzby tréningu aktivácie brušnej steny.

V ďalšom výskume budeme výskum realizovať po absolvovaní rôznych foriem hypoxického tréningu.

ZÁVERY

Hlavným cieľom bolo zistiť aktivitu dýchacích svalov u plavcov prostredníctvom Ohmbeltu v porovnaní s kontrolnou skupinou.

Pred realizáciou výskumu sme predpokladali, že mladí plavci častejšie zapájajú bránicu, preto zaznamenáme vyššie hodnoty vnútrobrušného tlaku podľa Ohmbeltu v porovnaní s kontrolnou skupinou. V rámci Ohmbelt merania, sme zaznamenali štatistický signifikantný rozdiel medzi skupinami v prospech plavcov v oboch pozíciách $p < 0,05$. Posledný predpoklad v rámci nášho výskumu smeroval k informácii, že u mladých plavcov, ktorí majú viac skúsenosti so športovým tréningom, zaznamenáme vyššiu koreláciu s hodnotami vnútrobrušného tlaku. Pri hodnotení vzájomnej korelácie medzi športovým vekom a hodnotami vnútrobrušného tlaku sme však zaznamenali nízke hodnoty korelačných koeficientov v oboch polohách ($r > 0,60$; $p > 0,05$).

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

AZKA FAROOQI, UMAIR AHMAD, MAHWISH NAJEEB, a ISHRAT PERVEEN, 2020. Frequency of Musculoskeletal Disorders in Swimmers. *Pakistan Journal of Physical Therapy (PJPT)* [online]. 2020, roč. 3, č. 02 [cit. 31.1.2024]. Dostupné na: doi:10.52229/pjpt.v3i02.1162

BEECKMANS, Nele, Astrid VERMEERSCH, Roeland LYSENS, Peter VAN WAMBEKE, Nina GOOSSENS, Tinne THYS, Simon BRUMAGNE a Lotte JANSSENS, 2016. The presence of respiratory disorders in individuals with low back pain: A systematic review. *Manual Therapy* [online]. 2016, roč. 26, s. 77–86 [cit. 30.1.2024]. ISSN 1356689X. Dostupné na: doi:10.1016/j.math.2016.07.011

- BRADLEY, Helen a Joseph ESFORMES, 2014. Breathing pattern disorders and functional movement. *International Journal of Sports Physical Therapy*. 2014, roč. 9, č. 1, s. 28–39. ISSN 2159-2896.
- ČECHOVSKÁ, Irena, Daniel JURÁK a Jitka POKORNÁ, 2018. *Plavání: pohybový trénink ve vodě*. 2. vydání. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-4034-1.
- DESHMUKH, Mayura P., Tushar J. PALEKAR a Nidhi MANVIKAR, 2022. Prevalence of Breathing Dysfunction in Musculoskeletal Complaints: A Cross Sectional Study. *International Journal of Health Sciences and Research* [online]. 2022, roč. 12, č. 2, s. 146–152 [cit. 30.1.2024]. ISSN 2249-9571. Dostupné na: doi:10.52403/ijhsr.20220220
- HADIANSYAH, Muhammad Chanifuddin, Ameilia Sawitri HARTONO, Bagas Wahyu PRAKOSO, Farid Nur ARDIANSYAH a Bhayu BILLIANDRI, 2022. The Benefits of Swimming on the Lungs Vital Capacity. *Sports Medicine Curiosity Journal* [online]. 2022, roč. 1, č. 1, s. 35–40 [cit. 15.2.2024]. ISSN 2962-6382. Dostupné na: doi:10.15294/smcj.v1i1.58519
- HAGINS, Marshall a Eric M. LAMBERG, 2011. Individuals with Low Back Pain Breathe Differently Than Healthy Individuals During a Lifting Task. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* [online]. 2011, roč. 41, č. 3, s. 141–148 [cit. 30.1.2024]. ISSN 0190-6011, 1938-1344. Dostupné na: doi:10.2519/jospt.2011.3437
- HENRIK HEIN LAURIDSEN, EMILIE MELDGAARD, LISE HESTBÆK, a GABRIELLE KRISTINE HANSEN, 2023. Development of the Young Disability Questionnaire (spine) for children with spinal pain: field testing in Danish school children. *BMJ Open* [online]. 2023, roč. 13, č. 5, s. e064382. Dostupné na: doi:10.1136/bmjopen-2022-064382
- KOLÁŘ, Pavel, 2020. *Rehabilitace v klinické praxi*. Druhé vydání. Praha: Galén. ISBN 978-80-7492-500-9.
- LAZAR, Jason M., Neel KHANNA, Roseann CHESLER a Louis SALCICCIOLI, 2013. Swimming and the heart. *International Journal of Cardiology* [online]. 2013, roč. 168, č. 1, s. 19–26 [cit. 15.2.2024]. ISSN 0167-5273. Dostupné na: doi:10.1016/j.ijcard.2013.03.063
- MADLE, Katerina, Petr SVOBODA, Martin STRIBRNY, Jakub NOVAK, Pavel KOLAR, Andrew BUSCH, Alena KOBESOVA a Petr BITNAR, 2022. Abdominal wall tension increases using Dynamic Neuromuscular Stabilization principles in different postural positions.

- Musculoskeletal Science & Practice* [online]. 2022, roč. 62, s. 102655. ISSN 2468-7812. Dostupné na: doi:10.1016/j.msksp.2022.102655
- MCLEOD, Ian, 2014. *Plavání - anatomie: [váš ilustrovaný průvodce k dosažení síly, rychlosti a vytrvalosti]*. 1. vyd. Brno: CPRESS. ISBN 978-80-264-0576-4.
- RODRÍGUEZ, Ferran a Alois MADER, 2011. Energy systems in swimming. V: [online]. s. 225–240. ISBN 978-1-61668-202-6. Dostupné na: doi:10.13140/2.1.3260.5128
- SINCLAIR, Lauren a Clare M. P. ROSCOE, 2023. The Impact of Swimming on Fundamental Movement Skill Development in Children (3–11 Years): A Systematic Literature Review. *Children* [online]. 2023, roč. 10, č. 8, s. 1411 [cit. 15.2.2024]. ISSN 2227-9067. Dostupné na: doi:10.3390/children10081411
- SU, Yanlin, Zhe CHEN a Wei XIE, 2020. Swimming as Treatment for Osteoporosis: A Systematic Review and Meta-analysis. *BioMed Research International* [online]. 2020, roč. 2020, s. 6210201 [cit. 15.2.2024]. ISSN 2314-6133. Dostupné na: doi:10.1155/2020/6210201
- WILLARDSON, Jeffrey M. a NATIONAL STRENGTH & CONDITIONING ASSOCIATION, ed., 2014. *Developing the core*. Leeds: Human Kinetics. Sport performance series. ISBN 978-0-7360-9549-5.

VPLYV INTERMITENTNÉHO HYPOXICKÉHO TRÉNINGU NA UKAZOVATELE MONITOROVANÉ V BIOLOGICKOM PASE ŠPORTOVCA

Martin Pupiš - Zuzana Pupišová - Jozef Sýkora

*Fakulta telesnej výchovy, športu a zdravia Univerzity Mateja Bela v
Banskej Bystrici, Slovenská republika*

ABSTRAKT

Výskum bol realizovaný na skupine 7 vrcholových vytrvalcov (3 muži, 4 ženy, vo veku 22-30 rokov). Sledovaní športovci absolvovali 20 dní trvajúci IHT. Počas dní realizácie IHT boli sledovaní športovci vystavovaní hypoxii 90 min a to v intervale 6 min hypoxie + 3 min normoxia. V priebehu IHT boli športovci vystavovaní hypoxii na úrovni 14 – 8 % obsahu O₂ vo vzduchu. Všetky testovania boli realizované za rovnakých podmienok a podľa pravidiel WADA. Odbery boli realizované medzi 7:00-8:00 hod a to 2-3 dni pre zahájením IHT a následne počas 9.-10. dňa po ukončení IHT. Porovnávaná bola hladina hemoglobínu, retikulocytov a OFF-score (Hb.10-60x(√retikulocyty %)). V priemere bola zaznamenaná zvýšená hladina hemoglobínu zo 145,57 g.l⁻¹ na 151,14 g.l⁻¹, podiel retikuocytov stúpol z 0,58 % na 0,81 % a pri OFF-score došlo k miernemu poklesu skóre z 99,8 na 97,01. Priemerné zmeny zaznamenané na skupiny sledovaných športovcov naznačujú pozitívny efekt IHT na erytropézu, avšak nie sú výrazné z pohľadu interpretácie výsledkov v biologickom pase športovca. Naopak, individuálne maximálne zaznamenané rozdiely naznačujú, že aj IHT by mohol v prípade vyhodnocovania výsledkov v biologickom pase športovca signalizovať atypický nález.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: hemoglobín, intermitentný hypoxický tréning, OFF-score, retikulocyty.

ABSTRACT

THE EFFECT OF INTERMITTENT HYPOXIC TRAINING ON PARAMETERS MONITORED IN THE ATHLETE BIOLOGICAL PASSPORT

The research was conducted on a group of 7 elite endurance athletes (3 men, 4 women, aged 22-30 years). The monitored athletes completed 20 days of IHT. During the days of IHT implementation, the

monitored athletes were exposed to hypoxia for 90 min, with an interval of 6 min of hypoxia + 3 min of normoxia. During IHT, the athletes were exposed to hypoxia at a level of 14-8% O₂ content in air. All testing was performed under the same conditions and according to WADA rules. The sampling was performed between 7:00-8:00 am and 2-3 days before the start of IHT and then during the 9th-10th day after the end of IHT. Hemoglobin, reticulocyte count and OFF-score ($Hb \cdot 10^{-6} \times (\sqrt{\text{reticulocytes \%}})$) were compared. On average, there was an increase in hemoglobin level from 145.57 g.l-1 to 151.14 g.l-1, the reticulocyte percentage increased from 0.58% to 0.81% and there was a slight decrease in OFF-score from 99.8 to 97.01. The mean changes recorded per group of athletes studied suggest a positive effect of IHT on erythropoiesis, but are not significant in terms of the interpretation of the results in the athlete's biological passport. On the contrary, the individual maximum differences recorded suggest that IHT could also indicate an atypical finding when evaluating the results in the athlete's biological passport.

KEY WORDS: hemoglobin , intermittent hypoxic training, OFF-score, reticulocytes.

ÚVOD

Ako uvádza Pupiš (2021) intermitentný hypoxický tréning (IHT) využíva princíp redukcie kyslíka vo vdychovanom vzduchu, pričom tento princíp začali realizovať ako prví ruskí letci (Hamlin – Hellemans, 2003). Pri IHT ide o vystavovanie organizmu extrémnej hypoxii zodpovedajúcej vysokým nadmorským výškam, neraz aj viac ako 6500 m.n.m. Využívané je pri tom buď elektrické, alebo mechanické zariadenie – hypoxický generátor, alebo náplne, ktoré dokážu redukovať kyslík vo vdychovanom vzduchu (Pupiš, 2014). Aj po niekoľkých dekádach realizácie hypoxického tréningu sa objavujú polemiky o efektívnosti a adaptačnej odozve organizmu na síce „extrémnu“, ale krátkodobú prerušovanú hypoxiu, pričom je nutné podotknúť, že ani efekt environmentálnej hypoxie nie je dokonale zadefinovaný, čo súvisí aj s rozdielnou adaptačnou odozvou každého jedinca. Levine (2002) popisuje realizáciu IHT z dvoch rozdielnych pohľadov, a to IHT v pokoji a IHT pri zaťažení. IHT v pokoji vníma ako určitú formu na zefektívnenie aklimatizácie pred tréningom vo vyššej nadmorskej výške a IHT pri zaťažení ako spôsob na efektívnejšie zvyšovanie

výkonnosti. Je však veľmi dôležité zdôrazniť, že od tréningovej hypoxie sa postupne upúšťa z viacerých dôvodov. Závažným dôvodom je zvýšená pravdepodobnosť preťaženia organizmu vedúca neraz až k pretrénovaniu (Pupiš, 2021), čo je z pohľadu športu samozrejme nežiadúce. Okrem toho musíme tiež rešpektovať, že už aj samotné zaťaženie znižuje saturáciu krvi kyslíkom, pričom pri použití hypoxickej stimulácie dokážeme ešte výraznejšie znížiť saturáciu, čoho sprievodným prejavom je výrazné zníženie intenzity zaťaženia, či dokonca až prerušenie činnosti v dôsledku nedostatku kyslíka. V rámci grantových úloh **VEGA 1/0707/22 - Špecifiká variability hematologických ukazovateľov sledovaných v biologickom pase športovca** a **VEGA 1/0547/22 - Využitie hypoxie a hyperoxie v športovej príprave** sme sa zamerali na posúdenie vplyvu IHT na ukazovatele monitorované v biologickom pase športovca. Rodriguez et al. (1999) popisujú výšenie hladiny hematokritu a hemoglobínu pri IHT, ale Garcia et al. (2000), ako aj Pupiš (2014) poukazujú na fakt, že nebolo jednoznačne potvrdené, či dochádza k erytropoéze a s tým spojenej krvotvorbe. Pupiš (2021) poukazuje na to, že viacerí autori realizovali výskumy zamerané na IHT, keď Garcia et al. (2000) realizovali IHT 120 minút denne počas 5 dní pri simulovanej výške 3800 m.n.m. a Piel-Aulin et al. (1998) 12 hodín počas 10 dní pri simulovanej výške 2000-2700 m.n.m, pričom zaznamenali signifikantný vzostup podielu retikulocytov, čo by malo jednoznačne dokazovať erytropoézu. Podobné trendy nachádzame aj u Rodrigueza et al. (1999), kde deväťdňové vystavenie organizmu IHT pri simulovanej výške 5000 m.n.m. vyvolalo výrazne zvýšenie počtu červených krviniek, podielu retikulocytov a koncentrácie hemoglobínu, čo opäť naznačuje zvýšenú erytropoézu. Ako ďalej poukazuje Pupiš (2021), niektorí autori (Eckardt et al., 1989, Knaupp et al., 1992), podobne popisujú výrazné zvýšenie erytropoetínu pri IHT a ďalších parametrov červeného spektra krvného obrazu (Hellemans, 1999; Rodriguez et al., 2000; Hendriksen a Meeuwssen, 2003; Hamlin – Hellemans, 2003; Pupiš – Tonhauserová - Paulović, 2011; Pupiš, 2014). Vo vede je však nutné vnímať aj protichodné názory, ktoré sú v protiklade s týmito zisteniami, ktoré naopak nezaznamenali žiadne významné zmeny v hematologických parametroch alebo športovej výkonnosti (Vallier et al, 1996; Frey et al, 2000). V kontexte

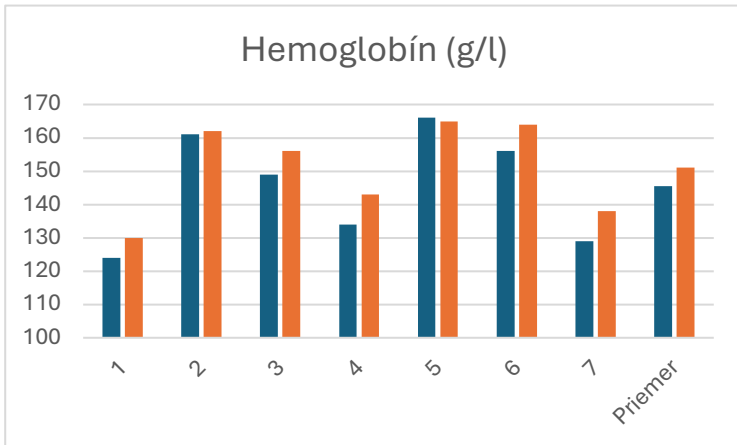
posudzovania výsledkov v biologickom pase športovca je však nutné vnímať, že každý jedinec reaguje inak aj na hypoxickú stimuláciu.

METODIKA

Výskum bol realizovaný na skupine 7 vrcholových vytrvalcov (3 muži, 4 ženy, vo veku 22 - 30 rokov). Počas IHT boli športovci vystavovaní IHT v pokoji (± 90 min od tréningu). Sledovaní športovci absolvovali 20 dní trvajúci IHT s tromi dňami bez hypoxie (vždy po 6 dňoch). Počas dní realizácie IHT boli sledovaní športovci vystavovaní hypoxii 90 min a to v intervale 6 min hypoxie + 3 min normoxia (spolu 10 opakovaní). V priebehu IHT boli športovci vystavovaní hypoxii na úrovni 14 – 8 % obsahu O_2 vo vzduchu, čo zodpovedá nadmorskej výške 3500 – 7000 m.n.m., pričom saturácia krvi (SpO_2) kyslíkom bola pod 90 % až k úrovni 70%. Všetky testovania boli realizované za rovnakých podmienok a podľa pravidiel WADA. Odbery boli realizované medzi 7:00-8:00 hod a to 2-3 dni pre zahájením IHT a následne počas 9.-10. dňa po ukončení IHT. Porovnávaná bola hladina hemoglobínu, retikulocytov a OFF-score ($Hb \cdot 10^{-6} \times (\sqrt{\text{retikulocyty \%}})$), teda ukazovateľov, ktoré sú monitorované v biologickom pase športovca.

VÝSLEDKY

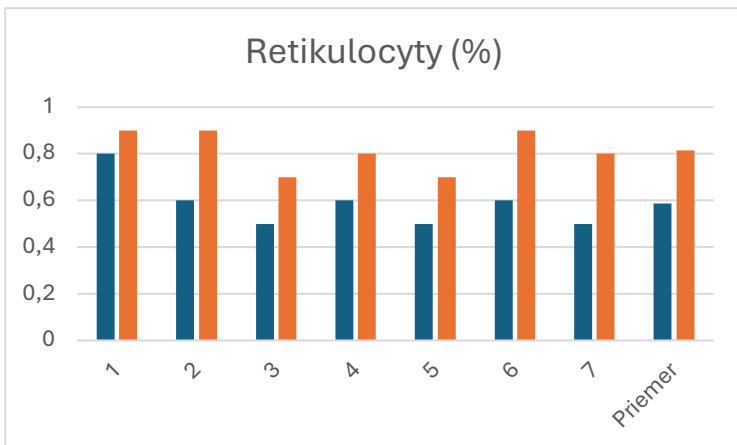
Vplyv IHT vyvolal u jednotlivých športovcov rozdielnu adaptačnú odozvu, pričom ako vidíme na obrázku 1 u šiestich zo siedmich športovcov došlo k zvýšeniu hladiny hemoglobínu. V priemere sa zvýšila hladina hemoglobínu zo $145,57 \text{ g.l}^{-1}$ na $151,14 \text{ g.l}^{-1}$. Šiesti sledovaní športovci zaznamenali nárast hladiny hemoglobínu, pričom najvýraznejší nárast (športovci 4 a7) dosahoval úroveň 9 g.l^{-1} . Pokles, ktorý bol zaznamenaný u probanda 5 bol na úrovni 1 g.l^{-1} .



Obrázok 1 Zmeny hladiny hemoglobínu vyvolané IHT

Na základe zrealizovaných meraní možno konštatovať, že IHT vyvoláva zmeny hladiny hemoglobínu, ktoré sa približujú odozve na environmentálnu hypoxiu.

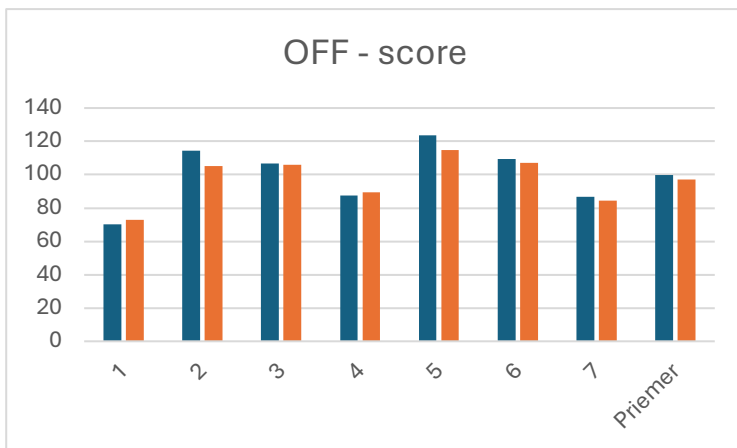
Podobný trend bol zaznamenaný aj pri retikulycoch, keď pred IHT bol podiel retikulytov u skupiny sledovaných športovcov na úrovni 0,58 % a po ukončení IHT to bolo 0,81 %. Najvýraznejší nárast dosahoval úroveň 0,3 percentuálneho bodu (športovci 2, 6, 7).



Obrázok 2 Zmeny podielu retikulytov vyvolané IHT

Po vyhodnotení zrealizovaných meraní možno konštatovať, že IHT vyvoláva zmeny podielu retikulocytov, ktoré sa približujú odozve na iné metódy hypoxického tréningu.

Pri treťom analyzovanom ukazovateli (OFF-score) došlo u sledovanej skupiny športovcov k miernemu poklesu skóre z 99,8 na 97,01. U piatich sledovaných športovcov skóre kleslo a u dvoch stúplo. Rozdiely však neboli výrazné, keď najvýraznejší rozdiel bol na úrovni zmeny skóre o cca 9 (športovci 2 a 5). U ostatných sledovaných športovcov sa menilo skóre v rozsahu 1-3.



Obrázok 3 Zmeny OFF-score vyvolané IHT

Na základe analýzy všetkých troch sledovaných ukazovateľov možno konštatovať, že IHT vyvoláva adaptačnú odozvu spojenú s erytropoézou. V zmysle zrealizovaného výskumu odporúčame do budúcnosti zrealizovať aj merania počas realizácie IHT a to v období 6.-10. dňa realizácie IHT, kedy sa dá očakávať možný vplyv hemodilúcie na hladinu hemoglobínu (ktorá by mohla aj klesať) a na druhej strane sa dá očakávať výraznejší nárast retikulocytov, keď ako limit nami zrealizovanej intervencie vnímame relatívne neskoré meranie podielu retikulocytov po ukončení IHT, keďže ich dozrievanie je skoršie. Aj napriek uvedenému, vnímame IHT ako možný faktor, ktorý za určitých okolností môže ovplyvniť výsledky v biologickom pase športovca.

ZÁVER

Výsledky výskumu potvrdili, že intermitentný hypoxický tréning je metóda hypoxického tréningu, ktorá môže mať pozitívny vplyv na zmeny krvných komponentov, ktoré majú vplyv na schopnosť organizmu využívať kyslík, vďaka čomu sa vytvára predpoklad na zvyšovanie výkonnosti. Na druhej strane je nutné vnímať, že sledované ukazovatele hemoglobín, retikulocyty a OFF-score, ktoré sú monitorované v biologickom pase športovca, môžu v dôsledku adaptačnej odozvy vyvolať atypický nález v biologickom pase športovca, čo môže športovcovi nielen skomplikovať športovú kariéru, ale môže ho to vystaviť riziku obvinenia z užívania dopingu, hoci použil IHT, teda metódu, ktorá nie je v rozpore s antidopingovými pravidlami. Preto odporúčame ďalšie analýzy na väčšej skupine vytrvalostných športovcov s rôznou skúsenosťou z rozdielnymi metódami hypoxického tréningu.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- ECKARDT, K.U., BOUTELLIER, U., KURTZ, A., SCHOPEN, M., KOLLER, E.A., BAUER, C. 1989. Rate of erythropoietin formation in humans in response to acute hypobaric hypoxia. *J Appl Physiol* 66:1785–1788
- FREY, W.O., ZENHAUSERN, R., COLOMBANI, P.C., FEHR, J. 2000. Influence of intermittent exposure to normobaric hypoxia on hematological indexes and exercise performance [abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32 Suppl., S65.
- GARCIA N., HOPKINS S.R., POWELL F.L. 2000. Intermittent vs continuous hypoxia: effects on ventilation and erythropoiesis in humans. In : *Wilderness Environ. Med.* 11:172–179.
- HAMLIN, M.J., HELLEMANS, J. 2003. *Intermittent Hypoxic Training in Endurance.*
- HELLEMANS, J. 1999. Intermittent hypoxic training: a pilot study. In : *Second Annual International Altitude Training Symposium*, 145-154.
- HENDRIKSEN, I.J., MEEUWSEN, T. 2003. The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea-level exercise: a cross-over study in humans. *European journal of sports science*
- KNAUPP, W., KHILNANI, S., SHERWOOD, J., SCHARF, S. & STEINBERG, H. 1992. Erythropoietin response to acute normobaric hypoxia in humans. In : *Journal of Applied Physiology* 73, 837-840.

- LEVINE, B. D. 2002. Intermittent hypoxic training: Fact and fancy. In : *High Alt Med Biol.* 3:177–193.
- PIEL-AULIN, K., SVEDENHAG ,L., WIDE, B. et al. 1998. Short-term intermittent normobaric hypoxia – hematological, physiological and mental effects. *Scand J Med Sci Sports*, 8: 132-137.
- PUPIŠ, M., TONHAUSEROVÁ, Z. & PAULOVÍČ, R. 2011. The effect of intermittent hypoxic training on aerobic capacity and blood components of endurance. In *Acta kinesiologica*, Vol. 5, Iss. 2 (December 2011), p. 48-52.
- PUPIŠ, M. 2014. Využitie hypoxického tréningu v príprave chodcov [Habilitačná práca]. Banská Bystrica: FF UMB, 90 s.
- PUPIŠ, M. (2021). Hypoxický tréning : vysokoškolská učebnica. 1. vyd. - Bratislava : Slovenský atletický zväz, 2021. - 114 s.
- RODRIGUEZ F.A., CASAS H., CASAS M., PAGES T., RAMA R., RICART A., VENTURA J.L., IBANEZ J. & VISCOR G. 1999. Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. In : *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:264–268.
- RODRIGUEZ, F.A., VENTURA, J.L., CASAS, M., CASAS, H., PAGES, T., RAMA, R., RICART, A. PALACIOS, L. & VISCOR, G. 2000. Erythropoietin acute reaction and hematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia. In : *European Journal of Applied Physiology* 82, 170-177.
- VALLIER, J.M., CHATEAU, P. & GUEZENNEC, C.Y. 1996. Effects of physical training in a hypobaric chamber on the physical performance of competitive triathletes. In : *European Journal of Applied Physiology* 73, 471-478

POROVNANIE VPLYVU INTERMITENTNEJ HYPOXIE A VODÍKA NA VÝKON V PLÁVANÍ

Zuzana Pupišová - Olívia Mudráková

*Fakulta telesnej výchovy, športu a zdravia Univerzity Mateja Bela v
Banskej Bystrici, Slovenská republika*

ABSTRAKT

Cieľom predloženého výskumu bolo v rámci grantovej úlohy **VEGA 1/0547/22 - Využitie hypoxie a hyperoxie v športovej príprave** zistiť a porovnať vplyv vody obohatenej o vodík s vplyvom intermitentnej hypoxie na výkon výkonnostných a vrcholových plavcov. Vodíková voda využívaná 7 dní, 3 x denne po 400ml. Intermitentná hypoxia bola aplikovaná po dobu 7 dní, 5 dní v týždni prebiehala inhalácia s 2 dňami voľna a simulovanej nadmorskej výške 3500-4000m.n.m. Výskumný súbor tvorilo $n = 6$ plavcov, ktorých priemerný vek bol 19 rokov, priemerná telesná výška bola 176,8 cm a priemerná telesná hmotnosť 65,3 kg. Vstupné testovanie prebehlo pred začiatkom výskumu, priebežné testovanie bolo realizované po opakovanom 7 dňovom požití vodíkovej vody na druhý deň a v prípade intermitentnej hypoxie 3 dni po ukončení. Na základe výsledkov sme zaznamenali zlepšenie u probandov s klasickým podnetom v rozsahu 0,57sek. a 0,64sek. a podstatne výraznejšie zníženie času o probandov využívaných hypoxiou, kde sme zaznamenali zmeny o 2,6sek. a 2,88sek. Ako u jediných sme zhoršenie časov zaznamenali u probandov využívaných vodíkovú vodu, kde sme zaznamenali zmeny na úrovni 4,46sek. a 0,35sek.. Výsledky hodnôt laktátu nepoukazujú na zásadné zistenia, na základe ktorých by sme mohli vyvodzovať závery a odporúčania pre prax.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: vodík, hypoxia, plavecký výkon, laktát.

ABSTRACT

COMPARISON OF THE EFFECT OF NORMOBARIC HYPOXIA AND HYDROGEN ON SWIMMING PERFORMANCE

The aim of the presented research was to investigate and compare the effect of hydrogen-enriched water with the effect of intermittent hypoxia on the performance of performance and elite swimmers within the grant task VEGA 1/0547/22 - The use of hypoxia and hyperoxia in sports

training. Hydrogen water was used for 7 days, 3 times a day for 400ml. Intermittent hypoxia was applied for 7 days, 5 days per week inhalation with 2 days off and simulated altitude of 3500-4000m.a.s.l. The study population consisted of $n = 6$ swimmers whose mean age was 19 years, mean body height was 176.8 cm and mean body weight was 65.3 kg. Initial testing was performed before the start of the research, and continuous testing was performed after ingestion of hydrogen water on the second day and in case of intermittent hypoxia 3 days after completion. Based on the results, we observed an improvement of 0.57sec and 0.64sec for the probands with the conventional stimulus and a significantly more pronounced reduction in time for the probands using hypoxia, where we observed changes of 2.6sec and 2.88sec. We were the only ones to observe a deterioration in times for probands utilizing hydrogen water, where we observed changes of 4.46sec. and 0.35sec. The results of lactate values do not indicate any major findings on which to draw conclusions and recommendations.

KEY WORDS: hydrogen, hypoxia, swimming performance, lactate.

ÚVOD

V posledných dvoch desaťročiach sa objavujú štúdie, kde sa molekulárny vodík využíva ako nový terapeutický prostriedok s antioxidantným a protizápalovým účinkom. Prospešné účinky molekulárneho vodíka v klinickom prostredí sa prejavujú najmä pri oxidačnom strese, ktorý vyvoláva rôzne neurodegeneratívne ochorenia (Kang et al., 2011; Ohno et al., 2012). Vodíková terapia má potenciál byť účinná prevencia voči zraneniam spôsobeným oxidačným stresom vyvolaným pri fyzickej aktivite a má potenciál zlepšiť športový výkon (Ostojic, 2014). Hlavným dôvodom, prečo je molekulárny vodík využívaný v športe sú jeho antioxidantné vlastnosti. Vzhľadom k tomu, že intenzívna fyzická aktivita má za následok nadprodukciu voľných radikálov, ktoré poškadzujú tkanivá (Powers & Jackson, 2008), použitie silného antioxidantu akým je molekulárny vodík, môže znížiť oxidačný stres, svalovú únavu, mikroúrazy, zápal a pretrénovanie. Voda obohatená o molekulárny vodík má vysoké pH, ktoré môže byť prospešná pri acidóze vznikajúcej cvičením, čo je bežným metabolickým prejavom u telesne aktívnych jedincov (Ostojic, 2012). Reaktívne formy kyslíka (RFK) sú generované vo vnútri tela počas každodenného života dýchaním a následným spotrebovaním

kyslíka (Ohta, 2011). Za normálnych fyziologických podmienok majú RFK dôležitú úlohu v bunkovej signalizácii a udržaní homeostázy (Hong et al., 2010).

Na druhej strane, nadmerná produkcia RFK a znížené antioxidantné obranné systémy hrajú dôležitú úlohu pri kontraktilnej dysfunkcii kostrového svalstva s následkom svalovej únavy a slabosti svalstva (Powers & Jackson, 2008). Kvôli svojej nízkej molekulárnej hmotnosti sa môže H₂ extrémne rýchlo rozptýliť do tkaniva a vyčistiť toxické reaktívne formy kyslíka, ktoré sú zodpovedné za bolestivý oxidačný stres u športovcov (Ohsawa et al., 2007). Pozitívny vplyv suplementácie vodíka na športový výkon potvrdzujú výskumy Botek et al. (2019; 2020; 2022), Javorac et al. (2021) a Timón et al. (2021), ktorí poukazujú na zníženie únavy v neskorších fázach opakovaného zaťaženia, zlepšenie ventilačnej účinnosti, zníženie hladiny laktátu pri vyšších intenzitách a výkonnosť najmä u trénuvaných jedincov.

Využívanie hypoxie v plávaní je na našom území stále pomerne málo realizované a to aj napriek dostupným informáciám o jej pozitívnom vplyve i keď najmä z prostredia iných športov. Potrebné je prihliadať na nutnosť komparácie hypoxie a plaveckého výkonu dávať do súvislosti konkrétnu formu hypoxie, nakoľko sa v posledných rokoch formy hypoxie a mieru ovplyvnenia plaveckého výkonu (Rodriguez et al., 2004; Bonetti & Hopkins, 2009; Dickinson, Hu & Aughey, 2016; Woorons et al., 2014 a i.).

Hlavným dôvodom využívania hypoxie je možnosť oddialiť nástup kyslíkového dlhu, tvorby laktátu vo svaloch ako aj optimalizovať schopnosť zníženia počtu nádychov počas plávania a tým skrátenie času potrebného na prekonanie zvolených vzdialeností. K týmto zisteniam sa prikláňajú aj autori Cardelli, Lerda a Chollet (2000) pripisujú stratu času o 1,46 % pri realizácii nádychu každé štyri zábery na 25 metrov a o 3,14 % pri realizácii nádychu pri každom druhom zábere, čo je v plávaní veľká strata vzhľadom na realizovanú vzdialenosť. Tréning s využitím hypoxických prístrojov je možné využiť v podstate kedykoľvek a kdekoľvek. Podstatou využitia simulovanej intermitentnej hypoxickej prípravy je obmena dýchania normálneho vzduchu so vzduchom ochudobneného o kyslík.

Podľa Pupiša a Korčoka (2007) sa najčastejšie využívajú rovnaké intervaly dýchania normoxie a hypoxie v pomere 5:5. Pre zvýšenie športovej výkonnosti sa využíva aj model 6 – 10 x 5 minút hypoxie a 5

minút normoxie, 1 – 2 x denne, ideálne po dobu 21 dní. Simulovaná nadmorská výška však nie je daná, odvíja sa od hodnôt saturácie kyslíka, ideálne v rozmedzí medzi 75 – 80 %. Pre pozitívny efekt sa odporúča absolvovať procedúru minimálne 90 – 180 minút denne príp. každý druhý deň (Hellemans, 1999) čo sme v našom výskume aplikovali aj my. Vystavenie organizmu hypoxickým podmienkam je však pomerne individuálne a odozva na neho môže byť pri viacerých ukazovateľoch pomerne premenlivá.

Autori Suchý a Dovalil (2005) a Czuba a kol. (2018) upozorňujú na fakt, že môže dôjsť k rýchlejšiemu nástupu únavy, preťaženia a prípadne aj pretrénovaniu, čo je v športovej príprave považované za veľmi negatívny jav. Autori súčasne vyzdvihujú nutnosť sledovania fyziologických a biochemických parametrov, najčastejšie sledovaním hodnôt srdcovej frekvencie a metabolickej odozvy organizmu.

CIEĽ

Cieľom predloženého výskumu bolo identifikovať a porovnať veľkosť vplyvu užívania vodíkovej vody a intermitentného hypoxického tréningu na výkon výkonnostných a vrcholových plavcov.

METODIKA

Výskumný súbor tvorilo $n = 6$ plavcov, ktorých priemerný vek bol 19 rokov, priemerná telesná výška bola 176,8 cm a priemerná telesná hmotnosť 65,3 kg. Vstupné testovanie prebehlo pred začiatkom výskumu, priebežné testovanie bolo realizované po požití vodíkovej vody na druhý deň a v prípade intermitentnej hypoxie 3 dni po ukončení.

Sledovali sme zmeny v hodnotách času zaplávania na 200 metrov prsiami ($n = 4$) a 200 metrov znakom ($n = 2$) a hodnoty laktátu merané ihneď po ukončení zaťaženia a 6 minút po výkone. Probandov sme rozdelili do troch skupín náhodne, pričom dvaja probandi využívali v rovnakom čase 3 x denne pitie vodíkovej vody, dvaja probandi využívali 1 x denne intermitentný hypoxický tréning a dvaja probandi absolvovali len klasický tréningový podnet bez pridaného podnetu.

Výsledky výskumu sme vzhľadom na početnosť súboru a aj ich aktuálnu výkonnosť realizovali intraindividuálne.

Schéma využívania vodíkovej vody

Plavci boli upozorení, že v priebehu výskumu je možné pitie len vodíkovej vody 3 x denne (ráno, na obed, večer) po 400ml a zvyšný pitný režim bude tvoriť iba voda a nesladený čaj. Využili sme vodu obohatenú o vodík Aquastamina od výrobcu Nutristamina. Za 7 dní plavci vypili 8400ml vodíkovej vody.

Schéma aplikácie pri 7-dňovej normobarickej hypoxii

Prvé 3 dni bola nadmorská výška simulovaná na 3500-4000 m n.m, pričom saturácia sa udržiavala na úrovni medzi 88-90 %. Hypoxia bola realizovaná v cykloch 5 min. s maskou a 5 min. bez masky nasledovne:

- 1. deň 6 cyklov
- 2.deň 7 cyklov
- 3. deň 8 cyklov

Následne bolo 4. deň voľno. Ďalšie 2 dni bola saturácia udržiavaná pod 85 % avšak nie pod 80 % . Od toho sa odvíjalo aj nastavenie nadmorskej výšky. Dýchanie prebiehalo 6 min. s maskou a 3 min. bez masky nasledovne:

- 5. deň 9 cyklov
- 6. deň 10 cyklov

Následne bolo 7. deň voľno.

VÝSLEDKY

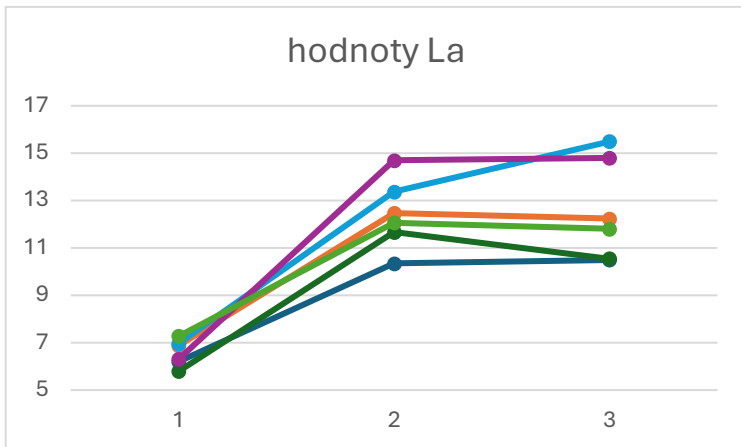
Vo výsledkoch uvádzame výsledky zistené u sledovaných 4 probandov. V tabuľke 1 uvádzame výsledky zaplávanych časov jednotlivých probandov.

Tabuľka 1 Výsledky meraných časov v disciplíne 200 metrov

		Disciplína (metrov)	Čas PRED (min)	Čas PO (min)	Zlepšenie (sek.)
Proband 1	KP	200P	02:32,20	02:31,63	0,57
Proband 2	KP	200Z	02:28,72	2:28.08	0,64
Proband 3	VV	200P	2:25,92'	2:30.38	+4,46
Proband 4	VV	200P	2:27,03'	2:27.38	+0,35
Proband 5	H	200P	02:32,42	02:29,82	2,60
Proband 6	H	200Z	02:29,85	02:26,97	2,88

*Legenda: KP – klasický podnet, VV – vodíková voda, H - hypoxia

Ako vidíme, v prípade probandov, ktorí mali klasický 7 dňový tréningový podnet nastali zlepšenia v sledovaných časoch o 0,57sek. resp. 0,64sek. Druhá skupina plavcov absolvovala popri klasickom podnete pitie vodíkovej vody v celkovom objeme 8400ml. V tomto prípade sme zistili, že pitie vodíkovej vody nemalo pozitívny vplyv na výkon plavcov, nakoľko sme zaznamenali zhoršenie u probanda 3 o 4,46sek. a u probanda 4 o 0,35sek. U posledných dvoch probandov, ktorí absolvovali 7 dňový intermitentný hypoxický tréning sme zaznamenali u probanda 5 zlepšenie o 2,60 sek. a u probanda 6 celkom o 2,88sek.



Obrázok 1 Výsledky meraní hodnôt laktátu pred, 1 minútu po výkone a 6 minút po výkone.

Na obrázku 1 uvádzame výsledky hodnôt laktátu zistených u sledovaných probandov. Ako vidíme, zásadné rozdiely medzi zistenými hladinami laktátu medzi probandami sme nezaznamenali, kde rozdiely medzi vstupným meraním a meraním po 1. minúte bol u probandov s KP 4,14mmol/l a 5,59mmol/l, u probandov VV o 5,88mmol/l a 6,4mmol/l a u probandov s H o 8,4 a 4,79mmol/l. Po 6. minúte sme zaznamenali rozdiely u probandov s KP o 0,14mmol/l a 0,59mmol/l, u probandov s VV o 0,69mmol/l a o 0,6mmol/l a u probandov s H o 0,1mmol/l a 1,21mmol/l. Zmeny v hodnotách

laktátov boli úmerné vstupným hodnotám a nárastu po 1 minúte od zaťaženia.

DISKUSIA A ZÁVERY

Na základe našich výsledkov sme pri pohľade na výsledky uvedené v tabuľke 1, kde uvádzame zmeny časov na 200 metrové vzdialenosti zaznamenali zlepšenie u probandov s klasickým podnetom v rozsahu 0,57sek. a 0,64sek. a podstatne výraznejšie zníženie času o probandov využívaných hypoxiu, kde sme zaznamenali zmeny o 2,6sek. a 2,88sek. Ako u jediných sme zhoršenie časov zaznamenali u probandov využívaných vodíkovú vodu, kde sme zaznamenali zmeny na úrovni 4,46sek. a 0,35sek.. Proband s najväčším zhoršením popisoval celkovú únavu, ktorú pripisoval tréningovému zaťaženiu a chýbajúcej energii získavanej v minulosti z energetických nápojov, ktoré mal počas výskumu zakázané. Na základe výsledkov časov hodnotíme vplyv intermitentnej hypoxie ako najúčinnejší pre ovplyvnenie plaveckého výkonu. Plavci nepopisovali zvýšenú únavu ale skôr pozitívne pocity pri záberoch a „ľahkosť“ plávania.

K našim zisteniam sa pripájajú aj autori Park a Lim (2017), ktorí uvádzajú, že pri súťažiach v plávaní je optimálny výkon charakterizovaný rôznymi aspektami, ako sú aeróbna výkonnosť, anaeróbna sila a funkcia svalov. Hypoxické tréningové metódy môžu prispieť k lepším výsledkom, čo sa potvrdilo aj v našom výskume a to aj napriek aplikácii iba počas 7 dní.

Výsledky hodnôt laktátu nepoukazujú na zásadné zistenia, na základe ktorých by sme mohli vyvodzovať závery a odporúčania.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

BONETTI, D.L., & HOPKINS, W.G. (2009). Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia: a meta-analysis. *Sports Med*, 39 (2), 107-127. doi: <https://doi.org/10.2165/00007256-200939020-00002>

BOTEK, M., KREJČÍ, J., MCKUNE, A.J., SLÁDEČKOVÁ, B., & NAUMOVSKI, N. (2019). Hydrogen Rich Water Improved Ventilatory, Perceptual and Lactate Responses to Exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 40(14), 879–885. <https://doi.org/10.1055/a-0991-0268>

BOTEK, M., KREJČÍ, J., MCKUNE, A.J., & SLÁDEČKOVÁ, B. (2020). Hydrogen-Rich Water Supplementation and Up-Hill Running Performance:

- Effect of Athlete Performance Level. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(8),1193–1196. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0507>
- BOTEK,M.,KHANNA,D.,KREJČÍ, J.,VALENTA,M.,MCKUNE,A.,SLÁDEČKOVÁ,B., & KLIMEŠOVÁ, I. (2022). Molecular Hydrogen Mitigates Performance Decrement during Repeated Sprints in Professional Soccer Players. *Nutrients*, 14(3), 508. <https://doi.org/10.3390/nu14030508>
- CARDELLI, C., LERDA, R., & CHOLLET, D. (2000). Analysis of breathing in the crawl as a function of skill and stroke characteristics. *Percept Mot Skills*, 90 (3 Pt 1), 979-987. doi: <https://doi.org/10.2466/pms.2000.90.3.97>
- CZUBA, M., WASKIEWICZ, Z., ZAJAC, A., POPRZECKI, S., CHOLEWA, J., & ROCZNIOK, R. (2011). The effects of intermittent hypoxic training on aerobic capacity and endurance performance in cyclists. *Journal of Sports Science and Medicine*, 10 (1), 175-183. PMID: 24149312; PMCID: PMC3737917.
- HELLEMANS, J. (1999). Intermittend hypoxic training. A pilot study. Maximising olympic distance triathlon performance: A multi-disciplinary pw3eapctive, 64.
- HONG,Y.,CHEN,S.,&ZHANG,J.-M.(2010).Hydrogen as a Selective Antioxidant: A Review of Clinical and Experimental Studies. *Journal of International Medical Research*, 38(6),1893–1903. <https://doi.org/10.1177/147323001003800602>
- KANG,K.-M.,KANG,Y.-N.,CHOI, I. B.,GU,Y.,KAWAMURA,T.,TOYODA,Y.,&NAKAO,A.(2011).Effects of drinking hydrogen-rich water on the quality of life of patients treated with radiotherapy for liver tumors. *Medical Gas Research*, 1(1), 11. <https://doi.org/10.1186/2045-9912-1-11>
- JAVORAC,D.,STAJER,V.,RATGEBER,L.,BETLEHEM,J.,&OSTOJIC, S.(2019).Short-term H2 inhalation improves running performance and torso strength in healthy adults. *Biology of Sport*,36(4), 333–339. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2019.88756>
- OHNO,K.,ITO,M.,ICHIHARA,M.,& ITO,M.(2012).Molecular Hydrogen as an Emerging Therapeutic Medical Gas for Neurodegenerative and Other Diseases.*Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2012, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2012/353152>

- OHSAWA, I., ISHIKAWA, M., TAKAHASHI, K., WATANABE, M., NISHIMA KI, K., YAMAGATA, K., KATSURA, K., KATAYAMA, Y., ASOH, S., & OHTA, S. (2007). Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nature Medicine*, 13(6), 688–694. <https://doi.org/10.1038/nm1577>
- OHTA, S. (2011). Recent Progress Toward Hydrogen Medicine: Potential of Molecular Hydrogen for Preventive and Therapeutic Applications. *Current Pharmaceutical Design*, 17(22), 2241–2252. <https://doi.org/10.2174/138161211797052664>
- OSTOJIC, S. (2014). Molecular Hydrogen in Sports Medicine: New Therapeutic Perspectives. *International Journal of Sports Medicine*, 36(04), 273–279. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1395509>
- OSTOJIC, S. M. (2012). Serum Alkalinization and Hydrogen-Rich Water in Healthy Men. *Mayo Clinic Proceedings*, 87(5), 501–502. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2012.02.008>
- POWERS, S. K., & JACKSON, M. J. (2008). Exercise-Induced Oxidative Stress: Cellular Mechanisms and Impact on Muscle Force Production. *Physiological Reviews*, 88(4), 1243–1276. <https://doi.org/10.1152/physrev.00031.2007>
- PUPIŠ, M., & KORČOK, P. (2007). Hypoxia ako súčasť športovej prípravy. KTVŠ FHV UMB BB
- RODRÍGUEZ, F. A., CASAS, H., CASAS, M., PAGÉS, T., RAMA, R., RICART, A., VENTURA, J. L. IBÁÑEZ, J., & VISCOR, G. (1999). Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31 (2), 264–268. doi: <https://doi.org/10.1097/00005768-199902000-00010>
- SUCHÝ, J., & DOVALIL, J. (2005). Adaptace a problematika tréninku v hypoxickém prostředí. *NŠC revue* 1.
- TIMÓN, R., OLCINA, G., GONZÁLEZ-CUSTODIO, A., CAMACHO-CARDENOSA, M., CAMACHO-CARDENOSA, A., & GUARDADO, I. (2021). Effects of 7-day intake of hydrogen-rich water
- WOORONS, X., GAMELIN, X., LAMBERTO, CH., PICHON, A., & RICHALET, J. P. (2014). Swimmers can train in hypoxia at sea level through voluntary hypoventilation. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 190, 33–39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resp.2013.08.022>

Názov: Kyslík a krv v športovej príprave

vedecký recenzovaný zborník vydaný za podpory GÚ:

VEGA 1/0707/22 *Špecifická variability hematologických ukazovateľov sledovaných v biologickom pase športovca*

VEGA 1/0547/22 *Využitie hypoxie a hyperoxie v športovej príprave*

Autori:

prof. PaedDr. Martin Pupiš, PhD., PaedDr. Zuzana Pupišová, PhD.,
Mgr. Kristián Bako, PhD., Mgr. David Brúnn, PhD., Mgr. Vladimír
Franeek, PhD., Mgr. Michal Hlávek, PaedDr. Jaroslav Kompán, PhD.,
PhDr. Dávid Líška, PhD., Bc. Olívia Mudráková, Bc. Kristína
Papcunová, Mgr. Miroslava Rošková, PhD., PaedDr. Stanislava
Straňavská, PhD., Mgr. Jozef Sýkora, PhD., Mgr. Marián Škorik,
PaedDr. Roman Švantner, PhD., Bc. Denis Tílesh

Recenzenti:

prof. Aleksandar Raković , PhD.

PhDr. Kristýna Hubená, PhD.

Mgr. Ján Pavlík, PhD.

Zostavovateľ: prof. PaedDr. Martin Pupiš, PhD.
PaedDr. Zuzana Pupišová, PhD.

Vydavateľstvo: Slovenská asociácia kondičných trénerov

Formát: A5

Rozsah: 100 strán

Vydanie: prvé

Rok vydania: 2024

ISBN 978-80-974024-7-1

EAN 9788097402471