

**MOŽNOSTI A LIMITY APLIKÁCIE HYPERBARICKEJ OXYGENOTERAPIE  
V LIEČBE ŠPORTOVÝCH ÚRAZOV**  
**POSSIBILITIES AND LIMITS OF APPLICATION OF HYPERBARIC OXYGEN THERAPY  
IN THE TREATMENT OF SPORTS INJURIES**

KRAJČOVIČOVÁ Zdenka, DLUHOŠOVÁ Lucia, MELUŠ Vladimír, SHTIN BAŇÁROVÁ Patrícia,  
KAŠLÍKOVÁ Katarína, GRABCZAK Pavel

*Fakulta zdravotníctva, Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne, Trenčín*

#### **ABSTRAKT**

Liečba a rehabilitácia pacientov s úrazmi a poraneniami, ktoré vznikli pri športových aktivitách, sú výraznou doménou fyzioterapie. Aj v tejto oblasti sú však značne veľké nevyužitú terapeutické rezervy, medzi ktoré jednoznačne patrí aj hyperbarická oxygenoterapia (HBOT). V našom prehľadnom článku prinášame prehľad najnovších vedeckých poznatkov aplikácií HBOT v tejto oblasti. Môžeme skonštatovať, že doplnenie štandardných terapeutických postupov liečby poranení o HBOT môže skrátiť dobu rekonvalescencie, minimalizovať následky zranení vo forme jaziev a tak zlepšiť dlhodobú prognózu zraneného športovca.

**Kľúčové slová:** Hyperbarická oxygenoterapia. Šport. Úrazy. Regenerácia.

#### **ABSTRACT**

The treatment and rehabilitation of patients with injuries and wounds that have arisen during sports activities are a significant domain of physiotherapy. Even in this area, however, there are considerable unused therapeutic reserves, including among others also hyperbaric oxygen therapy (HBOT). In our review, we provide an overview of the latest scientific knowledge of HBOT applications in this area. We can state that supplementing standard treatment procedures with the HBOT treatment can shorten the recovery time, minimize the effects of scarring and thus improve the long-term prognosis of the injured athlete.

**Key words:** Hyperbaric oxygen therapy. Sport. Injuries. Regeneration.

#### **ÚVOD**

S rastúcim záujmom o športové a rekreačné aktivity stúpa tiež množstvo zranení s nimi súvisiacich. Nanešťastie, primárne náklady spojené so zotavením zo zranenia predstavujú čas stratený účasťou a obnovením normálnej funkčnej aktivity. To prinútilo odborníkov z oblasti zdravotnej starostlivosti, aby sa usilovali o efektívne a účinné terapeutické zásahy pri liečbe týchto zranení (Baníková, 2017; Barata, 2011; Doležal, 2002). Spomedzi poranení mäkkých tkanív je zranenie svalov najčastejšie sa vyskytujúce nielen u športovcov, ale aj u rekreačných hráčov. Takéto zranenia môžu spôsobiť akútnu a/alebo chronickú bolesť alebo narušenie

vrodenej svalovej funkcie, čo môže mať za následok neschopnosť vrátiť sa do súťaže alebo do každodenného života. Včasná a úplná zotavenie zranenia je jedným z najväčších obáv. Preto sa pri klinickej praxi zvažujú možnosti liečby svalového poškodenia, ako je masáž, kryoterapia a hyperbarická oxygenoterapia (Oyaizu et al., 2018).

#### **Hyperbarická oxygenoterapia**

Hyperbarická oxygenoterapia (HBOT) je liečebná metóda založená na inhalácii stopercentného medicínskeho kyslíka pri tlaku vyššom ako 1 atmosféra (1 atm ~ 101,3 kPa ~ 760 torr ~ 1 ATA), pričom sa pacient nachádza v špeciálne upravenej hyperbarickej komore (Jain, 2009).

Rozpustnosť plynov v tekutinách je závislá od tlaku. Podľa Henryho zákona je stupeň rozpustnosti plynu v telesných tekutinách priamo úmerný parciálnemu tlaku tohto plynu. Preto sa v hyperbarickom prostredí dostáva do krvi oveľa väčšie množstvo kyslíka, ktorý sa následne krvným obehom distribuuje do celého tela. Keď je kyslík vdychovaný pri tlaku 200-300 kPa, zvyšuje sa množstvo rozpusteného kyslíka v plazme 10 až 15-krát oproti normobarickým podmienkam. Takto môže byť jeho spotreba tkanivami plne pokrytá kyslíkom rozpusteným v plazme. Vysoký parciálny tlak kyslíka ( $pO_2$ ) umožňuje difúziu jeho molekúl do vzdialenosti 6-krát väčšej, ako je vzdialenosť pri dýchaní vzduchu za normobarických podmienok. Podľa Boyleovho zákona je objem plynu pri konštantnej teplote nepriamo úmerný jeho tlaku. Stlačenie na 300 kPa zrýchľuje rozpúšťanie vzduchových, plynových bublínok a zvyšuje vylučovanie rozpustných inertných plynov. Pri zväčšení parciálneho tlakového gradientu dôjde k zlepšeniu difúzie dusíka z vnútra bublínok do okolitého tkaniva alebo krvi a následne do alveolárneho priestoru (Hrazdiza et al., 2001; Gill et al., 2004; Krajčovičová et al., 2017).

Zvýšená koncentrácia  $O_2$  v organizme spolu s vyšším tlakom pôsobia komplexne, čo v kombinácii

cií s vyšším tlakom dáva HBOT unikátne terapeutické možnosti. HBOT stimuluje aeróbny metabolizmus, znižuje tvorbu laktátu, eliminuje lokálnu acidózu, umožňuje väčšiu difúziu kyslíka do tkanív, má baktericídny účinok na anaeróbne baktérie, podporuje angiogénu, regeneruje nervové bunky, redukuje edém a mnoho ďalších. Terapia sa spravidla uskutočňuje v rozsahu aplikovaného pracovného tlaku od 1,4-3,0 ATA v závislosti od rôznych faktorov, u detí je rozsah aplikovaného tlaku približne 1,4-1,6 ATA. Efekt HBOT na organizmus jedincov sa líši vo všeobecnej závislosti od mnohých faktorov, medzi ktoré patria najmä použitý tlak, dĺžka expozície a zdravotný stav jedinca, ale aj biologická variabilita daného organizmu (Krajčovičová et al., 2017).

### **Aplikácia hyperbarickej oxygenoterapie pri športových úrazoch**

Oriani so spol. (1982) navrhli použitie HBOT na urýchlenie zotavenia sa zo zranení vzniknutých pri športe. Prvá klinická štúdia sa objavila v roku 1993, v ktorej výsledky naznačujú 55% zníženie doby rekonvalescencie po aplikácii HBOT u profesionálnych hráčov futbalu v Škótsku trpiacich rôznymi zraneniami. Tieto hodnoty boli založené na porovnaní časového priebehu hojenia poranenia bežnou terapiou oproti použitiu HBOT.

Staples so spol. (1995) v štúdiu so zvieratami, indukovali poškodenie, po ktorom pozorovali významné zmeny v hladinách myeloperoxidázy u potkanov liečených v podmienkach HBOT v porovnaní s neliečenými potkanmi. Dospeli k záveru, že HBOT môže mať inhibičný účinok na zápalový proces alebo schopnosť dokonca zmierniť poškodenie tkaniva. V roku 1999 rovnaká skupina autorov (Staples et al., 1999) vykonala riadenú, randomizovanú, dvojito zaslepenú, perspektívnu štúdiu s cieľom overiť, či prerušované expozície hyperbarického kyslíka urýchlia zotavenie štvorhlavého svalu stehna z oneskorenej svalovej bolesti (DOMS – z *angl.* delayed onset muscle soreness). Štúdie sa zúčastnilo 66 netrénovaných mužov vo veku 18 až 35 rokov. Po vyvolaní bolesti svalov sa subjekty liečili v hyperbarickej komore počas 5-dňového obdobia, v dvoch fázach: prvá fáza obsahovala 4 skupiny - kontrola, HBOT, oneskorené ošetrenie a placebo; v druhej fáze boli 3 skupiny – 3 dni liečby, 5 dní liečby a placebo. Skupina HBOT bola vystavená 100%-nému kyslíku 1 hodinu pri tlaku 202 kPa. Placebo skupina inhalovala 21%-ný kyslík rovnako

1 hodinu pri 121 kPa. Nezaznamenali žiadny významný rozdiel v pociťovanej bolesti ani v jednej z fáz. Výsledky naznačili, že liečba pomocou HBOT môže zvýšiť obnovu štvorhlavého svaly po DOMS. Avšak táto štúdia mala zložitý protokol a experimentálna schéma nebola úplne jasná (vylúčenie niektorých účastníkov a rozdelenie skupín neboli dostatočne zrejme), čo spôsobilo obtiažnu interpretáciu.

Mekjavic so spol. (2000) nepozorovali žiadne zotavenie z DOMS po aplikácii HBOT. 24 zdravých mužov náhodne rozdelili do 2 skupín – exponovaných HBOT a bez HBOT potom, čo bola vyvolaná DOMS v ich pravý lakt'ových flexoroch. Skupina HBOT bola vystavená 100% kyslíku pri tlaku 253 kPa a placebo skupina 8% kyslíku pri 253 kPa 1 hodinu denne v priebehu 7 dní. Nebol zistený žiadny rozdiel v rýchlosti obnovenia svalovej sily alebo vnímanej bolesti medzi skupinami. Hoci to bola randomizovaná, dvojito zaslepená štúdia, obsahovala malý počet dobrovoľníkov.

Podobnú štúdiu uskutočnili Harrison so spol. (2001), ktorí sa tiež zamerali na vplyv HBOT na 21 zdravých dobrovoľníkov mužského pohlavia po indukcii DOMS v lakt'ových flexoroch. Subjekty boli rozdelené do troch skupín: kontrola, bezprostredná expozícia HBOT a aplikácia HBOT s oneskorením. Posledné dve skupiny boli vystavené tlaku 253 kPa, počas 100 minút s tromi 30-minútovými opakovaniami pri 100% kyslíku, ktoré boli prerušované 5-minútovými intervalmi, kedy dobrovoľníci inhalovali 20,93% kyslík. Prvá skupina začala s aplikáciou HBOT po 2 hodinách a druhá skupina 24 hodín po cvičení denne počas 4 dní. Skupina s oneskoreným HBOT dostala aj falošnú HBOT liečbu v deň 0 trvajúcu rovnaký čas ako v nasledujúcich dňoch, ale s 20,93%-ným kyslíkom pri minimálnom tlaku. Kontrolná skupina nemala špecifickú liečbu. Neboli zistené významné rozdiely medzi skupinami v hodnotách sérovej kreatínkinázy, izometrickej sily, v opuchoch alebo bolesti, čo naznačuje, že aplikácia HBOT nebola účinná na DOMS. Táto štúdia tiež predstavovala obmedzenia, ako sú malá veľkosť vzorky a len čiastočné zaslepenie.

Todorovic so spol. (1996) liečili 42 prípadov zranení mäkkých tkanív na dolných končatinách pomocou HBOT u 14 futbalistov, 17 pozemných hokejistov, 11 basketbalistov (ženy a muži vo veku 19-24 rokov). K zraneniam došlo počas tréningu alebo pri zápasoch. Zahŕňali 18 kontúzií, 8 distenzií

a 16 prípadov distorzií. Aplikácia HBOT sa uskutočnila do 24 hodín po zranení, denne, v trvaní 45 minút pri tlaku 250 kPa. Počet expozícií závisel od závažnosti poranení. Kontrolná skupina športovcov bola liečená štandardne. Pomocou HBOT opuch vymizol spravidla po 7 expozíciách. Bolesť významne ustúpila po 3-5 expozíciách, u ťažkých distorzií sa bolesť zmiernila po 7 expozíciách. Pohyblivosť a funkcia zranenej končatiny sa postupne vracali k normálu. Pomocou HBOT sa doba regenerácie skrátila na minimum a po 7-8 dňoch liečby bolo možné obnoviť tréning v plnom rozsahu. U kontrolnej skupiny športovcov s porovnateľnými zraneniami bolo pre plnú regeneráciu potrebných 3-4 týždňov.

Ďalšie svalové poškodenie, ktoré je často dôsledkom traumy je spôsobené ischémiou. Za normálnych okolností je sprevádzaná anaeróbnou glykolýzou, tvorbou laktátu a vyčerpaním makroergických fosfátov v extracelulárnej tekutine postihnutého tkaniva kostrového svalstva. Ak je ischémia predĺžená, môže mať za následok stratu bunkovej homeostázy, narušenie iónových gradientov a porušenie fosfolipidovej dvojvrstvy cytoplazmatickej membrány. Aktivácia neutrofilov, produkcia kyslíkových radikálov a uvoľňovanie vazoaktívnych faktorov v priebehu reperfúzie, môže spôsobiť ďalšie škody na lokálnych, ale aj vzdialených tkanivách. Bosco so spol. (2007) sa zamerali na účinky HBOT na ischémiu vyvolanú poranením kostrového svalu potkanov a zistili, že liečba HBOT podstatne zmenšila rast hladiny laktátu a glycerolu spôsobený ischémiou, bez ovplyvnenia koncentrácie glukózy a modulovala aktivitu antioxidantných enzýmov v postischemickom kostrovom svalstve.

V inej retrospektívnej štúdií sa otázke HBOT u traumatickej ischémie venovala ďalšia skupina pracovníkov. Štúdia zahrňovala 36 osôb s akútnou traumatickou ischémiou dolných končatín. Všetci boli liečení štandardnými postupmi. Potom boli rozdelení do dvoch skupín. U jednej z nich (18 ľudí) bola navyše použitá HBOT pri tlaku 250 kPa na 90 minút 2-krát denne po dobu 6 dní. V tejto skupine zranených došlo u 17 osôb k zahojeniu, u kontroly (18 ľudí) sa zahojilo 10 postihnutých (1997).

Gregorevic so spol. (2000) indukovali degeneráciu svalov u potkanov s cieľom zistiť, či HBOT urýchľuje funkčnú obnovu a regeneráciu myofibril kostrového svalstva. Výsledky tejto štúdie ukazujú, že mechanizmus zlepšenia funkčnej kapacity nie je spojený s obnovením zásobovania krvou alebo

s opravou pridružených nervových zložiek, ale s tlakom vdychovaného kyslíka, ktorý hrá kľúčovú úlohu v zlepšení maximálneho účinku na regeneráciu svalových vlákien po zranení. Navyše sa lepšie výsledky počas 14 dňovej HBOT dosiahnu pri tlaku 304 kPa ako 202 kPa.

Jedným zo závažných športových úrazov, čo sa zložitosti liečby a dĺžky rekonvalescencie týka sú zlomeniny. Hojenie fraktúr je limitované zabezpečením požadovaného množstva kyslíka v postihnutej oblasti. Klasická liečba osteosyntézou a kostnými štepami nie je vždy úspešná a pokúsiť sa liečiť komplikované zlomeniny, kde je zvýšená pravdepodobnosť infekcie, predstavuje výzvu (Barata et al., 2011; Bennett et al., 2005).

Komurcu so spol. (2002) retrospektívne preskúmali 14 prípadov infikovaných zlomenín tíbie, ktoré boli úspešne liečené. Infekcia sa vyskytla u dvoch pacientov po operácii, ktorá bola úspešne odstránená po 20-30 HBOT expozíciách.

V jednej experimentálnej štúdií bol sledovaný proces hojenia zlomenín femuru kryš pomocou HBOT pri tlaku 300 kPa. Pokusné zvieratá boli vystavované hyperbarickému kyslíku 2-krát denne na 90 minút. U tejto skupiny kryš došlo k úplnej remodelácii kostí, zatiaľ čo u kontrolnej skupiny s klasickou liečbou nie. Zahojenie fraktúr po pôsobení HBOT bolo dokonalé, no spojenie kostí v kontrolnej skupine bolo neúplné (Favalli et al., 1990).

## DISKUSIA

Najčastejšie úrazy, ktoré súvisia s fyzickou aktívitou sú poranenia a poškodenia zložiek pohybového aparátu (svalov, kĺbov, šliach, kostí). Hojenie športového zranenia má svoju prirodzenú obnovu, ktorá prebieha pomerne konštantným spôsobom bez ohľadu na vyvolávajúcu príčinu. V tomto procese boli identifikované 3 fázy: zápalová fáza, proliferatívna fáza a fáza remodelácie, pričom kyslík má dôležitú úlohu v každej z nich. V zápalovej fáze bola preukázaná dôležitosť hypoxiou indukovaného faktora  $1\alpha$ , ktorý podporuje napr. glykolýzu. V proliferatívnej fáze v tkanivách pohybového systému (okrem chrupavky) sa prívod kyslíka do poranenej oblasti postupne zvyšuje a je nevyhnutný pre syntézu zložky medzibunkovej hmoty ako je fibronektín a proteoglykan. Vo fáze remodelácie sa tkanivo pomaly a postupne obnovuje a nahrádza za použitia kyslíka poskytnutého sieťou krvných ciev. Ak je poškodenie malé, regenerované tkanivo má takmer rovnakú stavbu ako pred úrazom, ale v prípade,

že rozsah škôd je veľký, dochádza k nahradeniu tkaniva jazvou, ktorá pozostáva prevažne z kolagénu (Hulín et al., 2005; Barata et al., 2001; Wu et al., 2007).

Svalové zranenia, bežne sa vyskytujúce pri športe predstavujú náročný problém v traumatológii. Zranenie môže nastať v dôsledku priameho mechanického pôsobenia (napr. pomliaždeniny, tržné rany a natiahnutia svalu), alebo sú zapríčinené nepriamo napríklad ischémiou, či neurologickým poškodením. Tieto nepriame zranenia môžu byť buď úplné alebo neúplné (Li et al., 2001).

Poranenia svalov predstavujú celý rad poškodení od miernych svalových kŕčov, cez natiahnutia svalov, oneskorený nástup svalovej bolesti (DOMS) až po ruptúry svalov. DOMS sa zvyčajne objavuje po neobvyklej alebo nadmernej fyzickej aktivite prevažne u nováčikov, no nie je vylúčený ani u elitných športovcov a je sprevádzaný pocitom nepohodlia vnútri kostrového svalstva. Intenzita bolesti narastá počas prvých 24 hodín po ukončení cvičenia, vrcholí medzi 24 až 72 hodinami, potom pomaly ustupuje a nakoniec mizne 5-7 dní po cvičení. HBOT môže slúžiť na zabezpečenie prostriedkov s cieľom uľahčiť rýchlejšie obnovenie pôvodného stavu rovnako ako zlepšiť krátkodobú a dlhodobú prognózu zranenia (Barata et al., 2011; Petersen et al., 2005).

Inhalácia kyslíka za hyperbarických podmienok priniesla vo väčšine štúdií predpokladaný pozitívny efekt. Výsledky naznačujú zníženie doby rekonvalescencie po použití HBOT u profesionálnych športovcov, ktorí trpeli rôznymi zraneniami (Baníková, 2017; Doležal, 2002). Experimenty so zvieratami poukazujú na možný inhibičný účinok HBOT na zápalový proces, dokonca schopnosť zmierniť poškodenie tkaniva. Vdychovanie kyslíka pod zvýšeným tlakom hrá kľúčovú úlohu v zlepšení maximálneho účinku na regeneráciu svalových vlákien po zranení (Bosco et al., 2007; Gregorevic et al., 2000). Aj zlomeniny sa pomocou HBOT hoja rýchlejšie (Wu et al., 2007). V prípade DOMS, niektoré štúdie potvrdzujú priaznivý účinok HBOT, no v iných nebolo pozorované žiadne zotavenie (Oriani et al., 1982; Staples et al., 1999; Mekjavic et al., 2000).

Význam a prospektívne využitie tejto metódy sú zrejmé, no málo preskúmané a mnohokrát nejasné, a preto je nutné, aby sa stanovili medze, pri ktorých má HBOT požadovaný pozitívny efekt.

## ZÁVER

Najväčšiu hrozbu v športe či už na profesionálnej alebo amatérskej úrovni predstavujú úrazy, ktoré spôsobujú krátkodobé alebo v horšom prípade trvalé vylúčenie z aktívnej činnosti. Cieľom športovej medicíny je následky úrazov čo najviac eliminovať, a tým umožniť športovcom skorý návrat do tréningového programu. V súčinnosti s klasickými spôsobmi rekonvalescencie sa HBOT ukázala ako prospešná, doplnková metóda, ktorú je možné aplikovať pri rôznych zraneniach, a preto je dôležité naďalej študovať, prípadne rozšíriť možnosti jej uplatnenia.

### Pod'akovanie

Tento príspevok vyšiel s podporou projektu „Dobudovanie technickej infraštruktúry pre rozvoj vedy a výskumu na Trenčianskej univerzite Alexandra Dubčeka prostredníctvom hyperbarickej oxygenoterapie“ ITMS kód 26210120019 Operačného programu Výskum a vývoj.

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKZOV

- BANÍKOVÁ, M. 2017. HBO ako adjuvantná metóda v športovej medicíne. In *Zdravotnícke listy*. 2017; 5 (1): A1.
- BARATA, P. et al. 2011. Hyperbaric oxygen effects on sports injuries. In *Therapeutic advances in musculoskeletal disease*. 2011; 3 (2): 111-121.
- BENNETT, M.H., STANFORD, R.E., TURNER, R. 2005. Hyperbaric oxygen therapy for promoting fracture healing and treating fracture non-union. In *Cochrane Database Syst Rev*. 2005; (1): CD004712.
- BOROMEIO, C.N., RYAN, J.L., MARCHETTO, P.A. et al. 1997. Hyperbaric oxygen therapy for acute ankle sprains. In *Am. J. Sports Med*. 1997; 25: 619.
- BOSCO, G., YANG, Z.J., NANDI, J., et al. 2007. Effects of hyperbaric oxygen on glucose, lactate, glycerol and anti-oxidant enzymes in the skeletal muscle of rats during ischaemia and reperfusion. In *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2007, 34: 70-76.
- DOLEŽAL, V. 2002. Hyperbarická oxygenoterapie při zranění sportovců. In *Časopis lékařů českých*. 2002; 144 (10): 304-306.
- FAVALLI, A., ZOTTOLA, V., LOVISETTI, G. 1990. External fixation and hyperbaric oxygen therapy in the treatment of open fractures of the tibial shaft. In *Undersea Biomed. Res*. 1990; 17: 172-176.

- GILL, A.L., BELL, C.N.A. 2004. Hyperbaric oxygen: its uses, mechanisms of action and outcomes. In *QJM*. 2004; 97 (7): 385-395.
- GREGOREVIC, P., LYNCH, G.S., WILLIAMS, D.A. 2000. Hyperbaric oxygen improves contractile function of regenerating rat skeletal muscle after myotoxic injury. In *J Appl Physiol*. 2000; 89: 1477-1482.
- HARRISON, B., ROBINSON, D., DAVISON, B., et al. 2001. Treatment of exercise-induced muscle injury via hyperbaric oxygen therapy. In *Med Sci Sports Exercise*. 2001; 33: 36-42.
- HRAZDIZA, I., MORNSTEIN, V. 2001. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. Neptun. 2001; 395 s., ISBN 80-902896-1-4.
- HULÍN, I., et al. *Patofyziológia a klinická fyziológia*. Slovak Academic Press, 2005, 593 s., ISBN 8089104665.
- JAIN, K.K. *Textbook of Hyperbaric Medicine*. Hogrefe and Huber Publishers, Göttingen, 2009, 578 s., ISBN 978-0-88937-361-7.
- KOMURCU, M., ATESALP, A.S., BASBOZKURT, M., et al. 2002. The treatment of infected tibial nonunion with aggressive debridement and internal bone transport. In *Military Med*. 2002; 167: 978-981.
- KRAJČOVIČOVÁ, Z., MELUŠ, V., HOLLÁ M. 2017. Hyperbarická oxygenoterapia z aspektu oxidačných a antioxidačných systémov. 1. Vyd., Brno: Masarykova univerzita, 2017, 109 s. - ISBN 978-80-210-8864-1.
- LI, Y., CUMMINS, J., HUARD, J. 2001. Muscle injury and repair. In *Curr Opin Orthopaed*. 2001, 12: 409-415.
- MEKJAVIC, I.B., EXNER, J.A., TESCH, P.A., et al. 2000. Hyperbaric oxygen therapy does not affect recovery from delayed onset muscle soreness. In *Med Sci Sports Exercise*. 2000; 32: 558-563.
- ORIANI, G., BARNINI, C., MARRONI, G. 1982. Hyperbaric oxygen therapy in the treatment of various orthopedic disorders. In *Minerva Medica*. 1982; 73: 2983-2988.
- OYAIZU, T., ENOMOTO, M., YAMAMOTO, N., et al. 2018. Hyperbaric oxygen reduces inflammation, oxygenates injured muscle, and regenerates skeletal muscle via macrophage and satellite cell activation. In *Sci Rep*. 2018; 8 (1): 1288.
- PETERSEN, J., HÖLMICH, P. Evidence based prevention of hamstring injuries in sports. In *Br J Sports Med*. 2005; 39: 319-323.
- STAPLES, J., CLEMENT, D., MCKENZIE, D., et al. 1995. The effects of intermittent hyperbaric oxygen on biochemical muscle metabolites of eccentrically-exercised rats. In *Can J Appl Physiol*. 1995; 20 (Suppl): 49.
- STAPLES, J., CLEMENT, D., TAUNTON, J., et al. 1999. Effects of hyperbaric oxygen on a human model of injury. In *Am J Sports Med*. 1999, 27: 600-605.
- TODOROVIC, B.S. 1996. Sport injuries and hyperbaric oxygen. In *Proc. Internat. Joint Meeting on Hyperbaric and Underwater Medicine. Milano*. 1996; 561-562.
- WU, D., MALDA, J., CRAWFORD, R., et al. 2007. Effects of Hyperbaric Oxygen on Proliferation and Differentiation of Osteoblasts from Human Alveolar Bone. In *Connective Tissue Research*. 2007; 48: 206-213.