

ZMĚNY VÝKONNOSTI V ILLINOIS AGILITY TESTU PO KRÁTKO- DOBÉ INHALACI KONCENTROVANÉHO KYSLÍKU

PERFORMANCE CHANGES IN ILLINOIS AGILITY TEST AFTER SHORT-TERM INHALATION OF CONCENTRATED OXYGEN

J. Polívková & J. Suchý

Univerzita Karlova, FTVS, Katedra pedagogiky, psychologie a didaktiky TV a sportu

ABSTRACT

The article summarises the results of research into the impact of continual inhalation of concentrated oxygen on repeated short-term exertion in an Illinois agility test conducted before first exertion, during rest between these exertions and after the end of the last exertion. The probands ($n = 11$) were tested twice over a period of seven days; each testing session involved three Illinois agility tests, where trajectory of this test was run immediately twice consecutively, lasting about 40 second. The hyperoxic mixture with concentrated oxygen (93 % +3,5 % / -3 %) was supplied by an oxygen concentrator AirSep® NewLife® Intensity, which complemented a reservoir. A face mask was connected to the reservoir through two-way valve. The placebo was supplied the same way (reservoir, face mask), but the source of air was an air compressor. There was no statistically significant difference in test duration between inhaled hyperoxic mixture and placebo ($p \geq 0.480$; $d \leq 0.178$). A statistically significant difference in blood lactate concentrations was observed only after the first load ($p = 0.037$; $d = 0.776$), no other statistically significant difference was observed ($p \geq 0.320$; $d \leq 0.323$).

Keywords: sports games; oxygen; hyperoxia; Illinois agility test

SOUHRN

Článek shrnuje výsledky výzkumu vlivu kontinuální inhalace koncentrovaného kyslíku na opakované krátkodobé zátěže v Illinois agility testu, která probíhala před prvním zatížením, během odpočinku mezi těmito zátěžemi a po ukončení posledního zatížení. Probandi ($n = 11$) absolvovali dvě testové baterie ve stejné fázi mikrocyklu (v rozmezí 7 dnů), z nichž každá zahrnovala tři Illinois agility testy, přičemž dráha Illinois agility testu byla proběhnuta ihned dvakrát za sebou, tzn. přibližně v délce 40 s. Zdrojem hyperoxické směsi s koncentrací kyslíku 93 % +3,5 % / -3 % byl kyslíkový koncentrátor AirSep® NewLife® Intensity, který doplňoval polyethylenový rezervoár, ke kterému byla pomocí dvoucestného ventilu připojena dýchací maska. Placebo bylo podáváno stejným způsobem (rezervoár, maska), avšak zdrojem vzduchu byla kompresorová jednotka. Statisticky významný rozdíl dosažených časů při inhalaci hyperoxické směsi a placeba nebyl prokázán ($p \geq 0,480$; $d \leq 0,178$). Statisticky významný rozdíl koncentrací laktátu v krvi byl pozorován pouze po prvním zatížení ($p = 0,037$; $d = 0,776$), v ostatních úsecích nebyl statisticky významný rozdíl pozorován ($p \geq 0,320$; $d \leq 0,323$).

Klíčová slova: sportovní hry; kyslík; hyperoxie; Illinois agility test

Úvod

Krátkodobá inhalace hyperoxické směsi je využívána zejména v oblasti klinické praxe jako kyslíková terapie, např. pro překlenutí akutních stavů nedostatku kyslíku (Müller et al., 2008). Ve své podstatě hyperoxie znamená zvýšení parciálního tlaku kyslíku nad normální hodnoty, tj. nad 20 kPa (150 mm Hg). Byl však pozorován i pozitivní vliv kyslíku ve sportovní praxi a to na zatížení i zotavení (Kay, Stannard, & Morton, 2008; Morris, Kearney & Burke, 2000; Pupiš, Babaríková, Brunerová, & Suchý, 2011; Sperlich et al., 2011; Suchý, 2012).

V některých sportovních hrách se střídají vysoce intenzivní herní úseky s úseky odpočinku trvající 1–2 minuty, přičemž odpočinek probíhá na střídačce a během tohoto odpočinku je tedy možné vdechovat hyperoxickou směs. Takto přerušovaná aktivita probíhá ve sportovních hrách, jako jsou např. lední hokej, házená a také florbal.

Hollmann & Hettinger (1980) tvrdí, že při krátkodobém vdechování hyperoxické směsi s koncentrací kyslíku 90–100 % je příjem vdechovaného kyslíku zvýšen až o 10 %, což má za následek zvýšený přísun kyslíku ke svalům a snížení srdeční frekvence. Díky tomu je možné zvýšit intenzitu zatížení organismu a dosáhnout tak vyšší efektivity sportovního tréninku. Klesne-li při sportovním výkonu intenzita zatížení pod určitou mez, probíhá ve svaích oxidativní přeměna laktátu na pyruvát, který se dále za pomoci enzymů dýchacího řetězce buňky štěpí za vzniku adenosintrifosfátu (ATP). Současně je v játrech z laktátu zpět resyntetizován jaterní glykogen. Obě tyto přeměny jsou oxidativního charakteru a jejich rychlost je závislá z velké části na množství kyslíku, který je přiveden oběhovým systémem. Zvýšení příjmu kyslíku při vdechování hyperoxické směsi má tedy pozitivní vliv na rychlost a kvalitu regenerace svalů po zatížení a je rozhodující pro výkon v následujícím zatížení.

Účinek hyperoxie klesá vlivem délky zatížení, neboť organismus se nedá kyslíkem předzásobit (Robbins, Gleeson, & Zwillich, 1992), což potvrzuje i fakt, že vliv inhalace koncentrovaného kyslíku působí maximálně po dobu několika desítek minut (Yamaji & Shephard, 1985). Proto jsou sportovní hry s krátkodobým anaerobním zatížením a odpočinkem na střídačce vhodným typem pro užití krátkodobé inhalace hyperoxické směsi.

Ke zjištění vlivu inhalace koncentrovaného kyslíku na výkon ve sportovních hrách jsme použili Illinois agility test (Cureton, 1951). V základním provedení Illinois agility testu se jedná o test kombinované lokomoce – rychlosti a obratnosti – prováděný na pevném hladkém povrchu. „Agilita” je specifická lokomoce a vztahuje se především ke sportovním hrám (Dobrá, 2003), proto je tento test například využíván Českým svazem ledního hokeje (Český hokej, 2018) i Českou florbalovou unií pro testování svých hráčů (Český florbal, 2018).

Shrnutí vybraných publikovaných poznatků

Sperlich, Zinner, Hauser, Holmberg, & Wegrzyk (2017) ve své studii uvádí, že vliv hyperoxie je u rekreačních sportovců pravděpodobně nižší než vliv možných adaptačních změn. Předpokládá se, že větší význam má hyperoxie u vrcholových sportovců, kteří již dosáhli hranice své adaptace. Výsledky mnoha výzkumů dále ukazují, že inhalace hyperoxické směsi realizovaná v průběhu zatížení maximální a submaximální možnou intenzitou na cykloergometru zvyšuje výkon v případě, že doba trvání zatížení je 5–20 minut a energetické krytí je tedy z velké části zastoupeno aerobní glykolýzou (Grataloup et al., 2005; Linnossier et al., 2000; Lovering et al., 2008; Peltonen et al., 1995; Peltonen, Tikkanen, & Rusko, 2001; Prieur et al., 2002; Tucker et al., 2007). Haseler, Hogan, & Richardson (1999) a Nummela, Hamalainen, & Rusko (2002) uvádí, že zvýšení výkonu při inhalaci koncentrovaného kyslíku bylo pozorováno také u aktivit, trvajících zhruba 2 až 3 minuty. Suchý, Pupiš, & Novotný (2012) uvádí, že ke zvýšení výkonu došlo i u hráčů ledního hokeje ve sportovně specifickém testu, jehož délka a průběh simulovaly jedno střídání v hokejovém utkání (tj. cca 50 sekund).

Ve sportovním tréninku se dostupné zdroje rozcházejí ve vlivu hyperoxie na intermitentní sportovní výkon. V případě intermitentního zatížení a využití hyperoxie v průběhu zotavení (délka 6 min) se prokázal pozitivní vliv na míru zotavení a na následující střední či maximální výkon trvající zhruba 50 s (40 plaveckých temp), který byl energeticky kryt především anaerobní glykolýzou (Sperlich et al., 2011). Naopak zlepšení výkonu při pádlování na kajakovém ergometru intermitentním zatížením (6 × 3 min) s dvouminutovým zotavením, během kterého probandi inhalovali hyperoxickou směs, nebylo prokázáno (Peeling & Andersson, 2011). Stejně tak Sperlich et al. (2012) nepotvrdil pozitivní vliv inhalace hyperoxické směsi během šestiminutového zotavení mezi sériemi na výkon při zátěži maximální intenzitou trvající 30 s.

Rychlost regenerace po zatížení přímo souvisí s rychlostí snižování koncentrace laktátu v krvi, proto se vlivem hyperoxie na rychlost odbourávání laktátu zabývaly mnohé studie. Vanhatalo, Fulford, DiMenna, & Jones (2010) ve své studii potvrdili zvýšení rychlosti přeměny laktátu zpět na ATP, pokud byla při předcházejícím konstantním zatížení na hranici rychlého výkonu (výkon, při kterém nastala rovnováha mezi tvorbou laktátu a jeho oxidativní přeměnou zpět na ATP, délka zatížení 3–10 minut) použita hyperoxie. Peeling & Andersson (2011) ve výše uvedené studii zjistili, že hodnoty hladiny

laktátu, měřené 15 s před koncem doby zotavení nebyly hyperoxií ovlivněny. Sperlich et al. (2012) také zjistil, že inhalace hyperoxické směsi neměla vliv na rychlost změny koncentrace laktátu v krvi.

Inhalace kyslíku není na seznamu zakázaných metod World Anti-Doping Agency (WADA) (World Anti-Doping Agency, 2018). Krátkodobá inhalace čistého kyslíku (do šesti hodin) není zdraví nebezpečná, nebyly prokázány toxické účinky na nervovou a oběhovou soustavu (Státní úřad pro kontrolu léčiv, 2014).

Cíle a hypotézy

Cílem výzkumu bylo zjistit vliv inhalace směsi se zvýšenou koncentrací kyslíku na výkonnost ve sportovně specifickém testu a na průběh regenerace mezi krátkodobými zatíženími. Na základě cílů výzkumu byly stanoveny dvě hypotézy:

H1: Krátkodobá kontinuální inhalace směsi se zvýšenou koncentrací kyslíku před Illinois agility testem a v době odpočinku má pozitivní vliv na čas ($p < 0,05$), za který je opakovaně absolvován, oproti inhalaci placeba.

H2: Krátkodobá kontinuální inhalace směsi se zvýšenou koncentrací kyslíku před Illinois agility testem a v době odpočinku má vliv na urychlení průběhu regenerace po jeho ukončení, hodnocené pomocí změn koncentrace laktátu v krvi, oproti inhalaci placeba.

Metodika

OVĚŘOVÁNÍ hypotéz bylo provedeno pomocí vdechování hyperoxické směsi, případně placeba (obvyčejný vzduch). Hyperoxická směs byla vytvořena kyslíkovým koncentrátorem AirSep® NewLife® Intensity, který doplňoval polyethylenový rezervoár, ke kterému byla pomocí dvoucestného ventilu připojena obličejová maska. Dvoucestný ventil zamezuje mísení vdechovaného a vydechovaného vzduchu. Přístroj byl nastaven na průtok 8 l/min a koncentrace kyslíku v dodávané hyperoxické směsi byla dle katalogového listu 93 % +3,5 % / -3 % (Chart Industries, 2018). Tato hodnota byla laboratorně ověřena analyzátozem plynů Servopro® 1440D1 (při průtoku směsi 8 l/min byla změřena koncentrace kyslíku 95,8 %). Placebo bylo podáváno stejným způsobem (rezervoár, maska), avšak zdrojem vzduchu byla kompresorová jednotka. Připojení k rezervoárům bylo fyzicky skryto paravánem a obsluhujícímu personálu ani testovaným osobám nebylo známo, která směs je právě použita.

Zatížení bylo simulováno prostřednictvím opakovaného Illinois agility testu (Cureton, 1951). Jedno sportovně specifické zatížení se skládalo ze dvou kol Illinois agility testu a trvalo přibližně 40 s. Testová baterie obsahovala úvodní rozcvičení, 2min odpočinek na hráčské lavici, dále tři specifická zatížení (úseky) oddělené 2min odpočinkem a závěrečný 2min odpočinek po absolvování třetího úseku. Po celou dobu odpočinku náhodně zvolená část probandů inhalovala hyperoxickou směs a druhá část probandů placebo. Za sedm dní byla testová baterie opakována s tím rozdílem, že probandi, kteří při prvním testování dýchali hyperoxickou směs, dýchali placebo a naopak. Odběr krevního vzorku pro určení hladiny laktátu v krvi proběhl vždy těsně před absolvováním specifického zatížení a ihned po něm.

Rozcvičení proběhlo dle manuálu a bylo totožné pro obě testové baterie. Obsahovalo běžecskou abecedu (liftink, skipink, zakopávání, střídavé úkroky stranou, cval stranou), krátké sprintové úseky a dynamické protažení hlavních svalových skupin. V rámci rozcvičení před testováním proběhl každý z probandů vytyčenou trať Illinois agility testu, aby se s ní důkladně seznámil.

Měřením předcházelo důkladné seznámení probandů s průběhem testování – se správným způsobem nasazení masky, s rozsahem spolupráce při odběru laktátu a s požadavkem, že musí všechny testy absolvovat s maximálním úsilím.

V průběhu absolvování testů byli probandi aktivně verbálně motivováni. Po ukončení druhé testové baterie byli probandi dotazováni, kdy podle jejich mínění inhalovali placebo a kdy hyperoxickou směs.

Čas pokusu byl měřen bezdrátovým časoměrným systémem TC Timing System od výrobce Brower Timing Systems, který měří s přesností 1/1000 s (TC Timing System, 2018). Systém se skládal ze startovacího pohybového senzoru, cílových fotobuněk a základní měřicí jednotky. Měření doby trvání úseku bylo spuštěno automaticky při vyběhnutí probanda ze startovní pozice, byl zaznamenáván čas absolvování prvního kola a celkový čas. Kapilární krev pro účely určování koncentrace laktátu v krvi byla odebírána způsobem osobou během odpočinku probandů z ukazováku pravé ruky. Analýza byla provedena přístrojem SensoStar GLH, který měří s chybou < 2 % (SensoStar, 2017).

Dosažené časy a hladiny laktátu naměřené při experimentálních a kontrolních podmínkách byly porovnávány pomocí statistických popisných metod – pro každou skupinu byl určen aritmetický průměr, směrodatná odchylka a relativní změna střední hodnoty. Shodu nebo statisticky významnou rozdílnost středních hodnot sledovaných veličin získaných při inhalaci kyslíku a placebo jsme zjišťovali pomocí jednostranného párového Studentova t-testu. Věcnou významnost rozdílů sledovaných parametrů jsme posuzovali dle Cohena d. Velikost účinku pak byla stanovena konvenčně $d = 0,2$ – malý, $d = 0,5$ – střední a $d = 0,8$ – velký (Cohen, 1988).

Průběh výzkumu je v souladu s Helsinskou deklarací a jeho design byl schválen Etickou komisí UK FTVS (č. j. 122/2017).

Výzkumný soubor

Testování bylo uskutečněno na dobrovolnících – hráčkách florbalu ($n = 11$, věk = $25,2 \pm 4,2$ roků, výška = $166,2 \pm 5,9$ cm, hmotnost = $59,9 \pm 9,0$ kg), které hrají druhou a třetí nejvyšší florbalovou soutěž v České republice. Po dobu výzkumu byli všichni probandi v dobrém zdravotním stavu a dle vlastního vyjádření nepociťovali únavu. Testování probíhalo v přípravném před soutěžním období, při kterém bylo tréninkové zatížení probandů $3 \times 1,5$ hodiny týdně.

Výsledky

Testování bylo realizováno podle předem stanoveného designu výzkumu. U všech testovaných se podařilo získat všechna potřebná data ke zpracování výsledků. Všichni probandi po ukončení druhé testové baterie uvedli, že se snažili ve všech testech podat maximální výkon.

Tabulka 1./ Table 1.

Dosažené časy (průměr \pm směrodatná odchylka) v Illinois agility testech./ Achieved times (average \pm standard deviation) in Illinois agility tests.

charakteristika / hodnota characteristic / value	1. úsek (1 st section)		2. úsek (2 nd section)		3. úsek (3 rd section)	
	1. kolo (1 st round)	2. kolo (2 nd round)	1. kolo (1 st round)	2. kolo (2 nd round)	1. kolo (1 st round)	2. kolo (2 nd round)
	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
Dosažený čas – placebo (duration – placebo)	19,14 \pm 1,04	38,81 \pm 2,01	19,86 \pm 1,12	39,87 \pm 2,05	20,34 \pm 1,01	40,67 \pm 1,99
Dosažený čas – hyperoxická směs (duration –hyperoxic mixture)	19,35 \pm 1,27	38,99 \pm 2,71	19,82 \pm 1,10	39,73 \pm 2,26	20,24 \pm 0,98	40,49 \pm 1,98
t-test	0,480	0,712	0,815	0,573	0,546	0,520
Cohenovo d (Cohen's d)	0,178	0,077	0,030	0,064	0,100	0,089

Tabulka 2./ Table 2.

Koncentrace laktátu v krvi (průměr \pm směrodatná odchylka)./ Blood lactate concetracion (average \pm standard deviation).

charakteristika / hodnota characteristic / value	klidová hladina laktátu (lactate at rest) [mmol \cdot l ⁻¹]	hladina laktátu ihned po prvním zatížení (lactate after 1 st test) [mmol \cdot l ⁻¹]	hladina laktátu před druhým zatížením (lactate before 2 nd test) [mmol \cdot l ⁻¹]	hladina laktátu ihned po druhém zatížení (lactate after 2 nd test) [mmol \cdot l ⁻¹]	hladina laktátu před třetím zatížením (lactate before 3 rd test) [mmol \cdot l ⁻¹]	hladina laktátu ihned po třetím zatížení (lactate after 3 rd test) [mmol \cdot l ⁻¹]	hladina laktátu 2 minuty po třetím zatížení (lactate 2 min after 3 rd test) [mmol \cdot l ⁻¹]
Hladina laktátu – placebo (lactate – placebo)	2,63 \pm 1,51	5,51 \pm 1,63	9,82 \pm 1,73	12,37 \pm 2,70	14,39 \pm 2,96	15,46 \pm 3,03	16,65 \pm 3,05
Hladina laktátu – hyperoxická směs (lactate – hyperoxic mixture)	2,32 \pm 1,16	6,89 \pm 1,93	10,39 \pm 1,78	12,24 \pm 2,38	14,89 \pm 2,04	15,96 \pm 2,20	16,73 \pm 2,32
t-test	0,644	0,037	0,320	0,883	0,645	0,532	0,923
Cohenovo d (Cohen's d)	0,231	0,776	0,323	0,048	0,197	0,189	0,027

Ve všech třech úsecích nebyl pozorován statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$) mezi výslednými časy experimentální a kontrolní skupiny (tab. 1). Stejně tak při inhalaci koncentrovaného kyslíku nebyly shledány signifikantní rozdíly ($p < 0,05$) koncentrací laktátu v krvi ve všech fázích testování oproti inhalaci placebo (tab. 2). Pouze koncentrace laktátu v krvi ihned po prvním zatížení byla u probandů po vdechování hyperoxické směsi oproti očekávání o 25,2 % vyšší než při vdechování placebo ($p = 0,037$, $d = 0,776$).

Pět z jedenácti probandů při dotazování, ve které testové baterii dýchali hyperoxickou směs, uvedlo baterii, ve které inhalovali placebo. Probandi tedy nebyli schopni rozlišit inhalaci hyperoxické směsi od inhalace placebo.

Diskuze

Narozdíl od výsledků předchozích výzkumů (Suchý, Novotný, & Tilinger, 2010; Suchý, 2012; Suchý et al., 2012), které se zabývaly využitím hyperoxie u sportovních her, jsme došli k podobným výsledkům jako Sperlich et al. (2012) (použili velmi podobný design výzkumu), tedy že se nepotvrdilo zlepšení výkonu a urychlení regenerace vlivem krátkodobé inhalace hyperoxické směsi.

Průběh testové baterie jsme se snažili časově přiblížit aktivitě hráče v průběhu utkání. Model zahrnoval tři opakovaná sportovní specifická zatížení trvající přibližně 40 s s 2min odpočinkem. Zatížení představovalo proběhnutí dráhy Illinois agility testu maximální intenzitou dvakrát ihned za sebou (pro simulaci délky jednoho střídání), nelze tedy srovnat dosažené časy s výsledky jiných studií, při kterých byl využit jednoduchý Illinois agility test. Navíc se zdá doba zatížení (40 s) maximální intenzitou bez přerušení příliš dlouhá, neboť hráč se v utkání po celou dobu jednoho střídání neprojevuje tak vysokou intenzitou pohybu, ale kromě kondičních faktorů řeší i jiné technicko-taktické faktory a provádí i další činnosti – např. vyčkává na pohyb soupeře, cloní před bránou, zaujímá obranné postavení, vykonává osobní souboj, atd.

Nabízí se také otázka vlivu okolního prostředí – testování probíhalo na přelomu července a srpna a teplota v hale během prvního testovacího dne byla 29 °C a během druhého testovacího dne 32 °C. Vhodnější by bylo experiment zopakovat za stálejších podmínek v hale během chladnějších měsíců.

Z důvodu zajištění inhalace hyperoxické směsi o známých parametrech byla použita obličejová maska bez přídavných otvorů a s těsnícím lemem. Během inhalace tedy nedocházelo k přísávání okolního vzduchu, probandi však především v první minutě inhalace pociťovali, že nemohou dosáhnout potřebné ventilace.

Na rozdíl od hypoxie představuje vystavování organismu hyperoxickému prostředí ve sportu umělé zlepšení výkonnosti. Z tohoto důvodu v nás inhalace vzduchu obohaceném o kyslík ať už při sportovních soutěžích či v tréninkovém prostředí vzbuzuje etické obavy. Při použití hyperoxie během tréninku je doporučováno pozorně sledovat její možné negativní vlivy na zdraví sportovce, zvláště při hyperoxickém tréninku kombinovaném s pobytem ve vyšší nadmořské výšce (Sperlich, Calbet, Boushel, & Holmberg, 2016).

Závěr

Námi realizovaný výzkum neprokázal na hladině významnosti 0,05 pozitivní vliv inhalace hyperoxické směsi na zlepšení výkonu v opakovaném anaerobním zatížení a na urychlení regenerace po jeho ukončení. Statisticky významný ($p = 0,037$, $d = 0,776$) byl nárůst hodnoty koncentrace laktátu v krvi ihned po prvním zatížení po inhalaci hyperoxické směsi. V tomto případě byla koncentrace laktátu v krvi o 25,2 % vyšší než po inhalaci placebo. V ostatních fázích testu nebylo snížení hladin laktátu pozorováno.

Z výsledků je tedy patrné, že kontinuální inhalace koncentrovaného kyslíku v pauzách mezi opakovanými Illinois agility testy neměla vliv na:

- snížení času těchto testů v porovnání s placebem, tzn. hypotéza H1 nebyla potvrzena,
- snížení koncentrací laktátu v krvi po absolvování testů v porovnání s placebem, tzn. hypotéza H2 nebyla potvrzena.

Dle našeho názoru by bylo vhodné obdobný experiment zopakovat s probandy na vyšší výkonnostní úrovni.¹

¹Projekt byl podpořen Grantovou agenturou Univerzity Karlovy (projekt č. 62418).

Literatura

- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral science* (2nd ed.). Hillsdale: Erlbaum.
- Cureton, T. (1951). General motor fitness characteristics and strength of champions. *Physical fitness of champion athletes*. Urbana (IL): University of Illinois Press; p. 67–69.
- Český florbal | ČFbU - Mládež - Testování mládeže - Kondiční testy. (2018). Získáno 20. srpen 2018, z <https://www.ceskyflorbal.cz/cfbu/mladez/testovani-mladeze/kondicni-testy>.
- Český hokej. Motorické testy mimo led, na ledě a funkční vyšetření (ELJ, ELD) - 2018/19 |. (2018). Získáno 20. srpen, z <http://www.ceskyhokej.org/treneri/motoricke-testy-mimo-led-na-lede-a-funkcni-vysetreni-jun-sd-md-2017-18>.
- Dobrá, L. (2003). Co je „agility“?. *Tělesná Výchova A Sport Mládeže*, 69(3), 17–21.
- Grataloup, O., Prieur, F., Busso, T., Castells, J., Favier, F. B., Denis, C., & Benoit, H. (2005). Effect of hyperoxia on maximal O₂ uptake in exercise-induced arterial hypoxaemic subjects. *European Journal Of Applied Physiology*, 94(5–6), 641–645. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-1361-0>.
- Haseler, L. J., Hogan, M. C., & Richardson, R. S. (1999). Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O₂ availability. *Journal of Applied Physiology*, 86(6), 2013–2018.
- Hollmann, W., & Hettinger, T. (1980). *Sportmedizin, Arbeits- und Trainingsgrundlagen* (2. neu bearbeitete Aufl.). Stuttgart: Schattauer.
- Chart Industries. AirSep NewLife brand for home and clinical settings. (2018). Získáno 22. srpen 2018, z <http://www.chartindustries.com/Respiratory-Healthcare/Stationary-Oxygen-Concentrator/New-Life-Elite-Intensity>.
- Kay, B., Stannard, S. R., & Morton, R. H. (2008). Hyperoxia during recovery improves peak power during repeated Wingate cycle performance. *Braslian Journal Of Biomotricity*, 2(2), 92–100.
- Linossier, M. T., Dormois, D., Arsac, L., Denis, C., Gay, J. P., Geysant, A., & Lacour, J. R. (2000). Effect of hyperoxia on aerobic and anaerobic performances and muscle metabolism during maximal cycling exercise. *Acta Physiol Scand*, 168, 403–411.
- Lovering, A. T., Stickland, M. K., Amann, M., Murphy, J. C., O'Brien, M. J., Hokanson, J. S., & Eldridge, M. W. (2008). Hyperoxia prevents exercise-induced intrapulmonary arteriovenous shunt in healthy humans. *The Journal Of Physiology*, 586(18), 4559–4565. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.159350>
- Morris, D. M., Kearney, J. T., & Burke, E. R. (2000). The effects of breathing supplemental oxygen during altitude training on cycling performance. *Journal Of Science And Medicine In Sport*, 3(2), 165–175. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(00\)80078-X](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(00)80078-X).
- Müller, P. H. J., Beuster, W., Hühn, W., Knessl, P., Roggenbach, H. J., Warninghoff, V., ... Wendling, J. (2008). The world as it is Diving Accident Guidelines of the German Society for Diving and Hyperbaric Medicine: summary version. *Diving And Hyperbaric Medicine*, 38(4), 212–217.
- Nummela, A., Hamalainen, I., & Rusko, H. (2002). Effect of hyperoxia on metabolic responses and recovery in intermittent exercise. *Scandinavian Journal Of Medicine And Science In Sports*, 12(5), 309–315. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.10157.x>.
- Peeling, P., & Andersson, R. (2011). Effect of hyperoxia during the rest periods of interval training on perceptual recovery and oxygen re-saturation time. *Journal Of Sports Sciences*, 29(2), 147–150. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.526133>.
- Peltonen, J. E., Rantamäki, J., Niittymäki, S. P. T., Sweins, K., T. Viitasalo, J., & Rusko, H. (1995). Effects of oxygen fraction in inspired air on rowing performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(4), 573–579. <https://doi.org/10.1249/00005768-199504000-00016>.
- Peltonen, J. E., Tikkanen, H. O., & Rusko, H. K. (2001). Cardiorespiratory responses to exercise in acute hypoxia, hyperoxia and normoxia. *Eur J Appl Physiol*, (85), 82–88.
- Prieur, F., Benoit, H., Busso, T., Castells, J., Geysant, A., & Denis, C. (2002). Effects of moderate hyperoxia on oxygen consumption during submaximal and maximal exercise. *European Journal Of Applied Physiology*, 88(3), 235–242. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0707-0>.
- Pupiš, M., Babaríková, Z., Brunerová, L., & Suchý, J. (2011). Vliv hyperoxie na úspěšnost střelby a průběh regenerace v basketbalu. *Česká Kinantropologie*, 15(1), 15–23.

- Robbins, M. K., Gleeson, K., & Zwillich, C. W. (1992). Effect of oxygen breathing following submaximal and maximal exercise on recovery and performance. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, 24(6), 720–725.
- SensoStar - DiaSys Diagnostic Systems GmbH. (2017). Získáno 22. srpen 2018, z <https://www.diasys-diagnostics.com/products/poct-systems/sensostar/>.
- Sperlich, B., Calbet, J. A. L., Boushel, R., & Holmberg, H. -C. (2016). Is the use of hyperoxia in sports effective, safe and ethical? *Scandinavian Journal Of Medicine*, 26(11), 1268–1272. <https://doi.org/10.1111/sms.12746>
- Sperlich, B., Zinner, C., Hauser, A., Holmberg, H. -C., & Wegrzyk, J. (2017). The Impact of Hyperoxia on Human Performance and Recovery. *Sports Medicine*, 47(3), 429–438. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0590-1>.
- Sperlich, B., Zinner, C., Krueger, M., Wegrzyk, J., Achtzehn, S., & Holmberg, H. -C. (2012). Effects of hyperoxia during recovery from 5×30-s bouts of maximal-intensity exercise. *Journal Of Sports Sciences*, 30(9), 851–858. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.671531>.
- Sperlich, B., Zinner, C., Krueger, M., Wegrzyk, J., Mester, J., & Holmberg, H. -C. (2011). Ergogenic effect of hyperoxic recovery in elite swimmers performing high-intensity intervals. *Scandinavian Journal Of Medicine*, 21(6), 421–429. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01349.x>
- Státní úřad pro kontrolu léčiv. (2014). Souhrn údajů o přípravku. Získáno 27. prosinec 2018, z <http://www.sukl.cz/modules/medication/download.php?file=SPC78428.pdf&type=spc&as=kyslik-medicinalni-plynnny-sol-spc>.
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha: Karolinum.
- Suchý, J., Novotný, J., & Tilinger, P. (2010). Porovnání vlivu hyperoxie na krátkodobý anaerobní výkon v nížině a vyšší nadmořské výšce. *Studia Sportiva*, 1, 17–23.
- Suchý, J., Pupiš, M., & Novotný, J. (2012). Vliv kontinuální inhalace vzduchu se zvýšenou koncentrací kyslíku na průběh zatížení při specifických testech v ledním hokeji. *Studia Kineanthropologica*, 13(3), 302–309.
- TC Timing System. (2018). Získáno 18. srpen 2018, z <http://browertiming.com/products/tc-timing-system>.
- Tucker, R., Kayser, B., Rae, E., Rauch, L., Bosch, A., & Noakes, T. (2007). Hyperoxia improves 20 km cycling time trial performance by increasing muscle activation levels while perceived exertion stays the same. *European Journal Of Applied Physiology*, 101(6), 771–781. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0458-z>.
- Vanhatalo, A., Fulford, J., DiMenna, F. J., & Jones, A. M. (2010). Influence of hyperoxia on muscle metabolic responses and the power-duration relationship during severe-intensity exercise in humans: a 31P magnetic resonance spectroscopy study. *Experimental Physiology*, 95(4), 528–540. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2009.050500>.
- World Anti-Doping Agency. (2018). Prohibited list [PDF file]. Získáno z https://www.wada-ama.org/sites/default/files/prohibited_list.2018.en.pdf.
- 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.

Mgr. Jitka Polívková
Univerzita Karlova
Fakulta tělesné výchovy a sportu
José Martího 31, 162 52 Praha 6
jitka-polivkova@seznam.cz