

Analýza efektu vysoce intenzivního intervalového tréninku (HIIT)

The analysis of the effect of high-intensity interval training (HIIT)

Roman Kolínský, Jan Cacek, Kateřina Stražilová, Jiří Zháněl

Fakulta sportovních studií, Masarykova univerzita, Brno

Abstrakt

Pojem „vysoce intenzivní intervalový trénink (HIIT)“ je v odborných publikacích – zejména zahraničních – v posledních letech často frekventovaný a tato tréninková metoda je často implementována do tréninkového procesu v různých sportech. Ne vždy je však sportovcům, resp. trenérům známo, k jakým fyziologickým změnám při této formě zátěže dochází. Z hlediska zkvalitnění tréninkového procesu je rovněž důležité srovnání účinnosti metody HIIT s metodou kontinuální zátěže i s dalšími formami intervalových tréninkových metod.

Cílem předložené publikace je analýza a deskripce efektu různých forem HIIT podle předem zvolených ukazatelů (tzv. markerů). Prvním z analyzovaných markerů je $VO_2\max$ (maximální spotřeba kyslíku) jako důležitý ukazatel účinnosti intervalového tréninku, dalšími markery jsou utilizace lipidů, změny úrovně hormonů a enzymů. Dalším cílem je objasnění souvislostí, týkajících se energetického krytí, metabolismu a kardiopulmonálních funkcí v průběhu použití metody HIIT.

V rámci řešení výzkumného záměru jsme se zaměřili výhradně na zahraniční studie ($n = 150$), z let 1978–2015, z nichž bylo do review vybráno celkem 70 studií z databází SportDiscus, Web of Science, ACSM Journal, PubMed. Výběr byl proveden s ohledem na předem zvolená kritéria, jimiž byla především doba trvání výzkumu, charakter výzkumného souboru, četnost intervencí atd. Pro účely rozšíření teoretických poznatků k problematice energetického krytí, metabolismu a kardiopulmonálních funkcí byly analyzovány i některé starší studie z posledních 10–15 let, analýza jednotlivých markerů byla provedena na základě publikací z posledního desetiletí. Výzkumy prokázaly, že HIIT má významný vliv na zvýšení úroveň $VO_2\max$, dále bylo zjištěno, že k adaptaci na tento typ tréninku dochází již po dvou týdnech, což umožňuje zkrácení doby trvání tréninkového procesu. Při tomto typu tréninku dochází současně s EPOC efektem (pozátěžová spotřeba kyslíku) k vyššímu spalování energie řádově v desítkách hodin.

Prezentované poznatky mohou být využity ve sportovní praxi pro překonání stagnace sportovní výkonnosti a k dosažení výkonnostního zlepšení vlivem uplatnění metody HIIT. V některých studiích bylo zjištěno, že metodu HIIT lze úspěšně aplikovat také u osob s nadváhou, u osob trpících diabetes melitus, resp. u osob se sedavým životním stylem. Vždy je však nutno dbát na individuální přístup a možné riziko přetřénování.

Abstract

The HIIT – High Intensity Interval Training has become an increasingly used term in foreign publications and this method is frequently implemented in training processes of many athletes. However not every athlete or trainer is aware of the physiological changes which are caused by this form of training. In order to improve the training process it is important to compare the effectiveness of HIIT with the continual training method or other forms of the interval training. The aim of this publication is to analyze and describe the effect of various forms of HIIT according to the set markers: primarily $VO_2\max$ (maximal oxygen uptake) – interval training effectiveness marker, secondarily lipid utilization, and last but not least hormonal and enzymatic level changes. Another objective of this publication is the clarification and explanation of energy coverage, metabolism and cardio-respiratory function during the application of HIIT method.

Within the research plan we focused exclusively on the foreign studies ($n = 150$) conducted in years 1978–2015 from which we chose 70 studies from databases such as SportDiscus, Web of Science, ACSM Journal, PubMed. The selection was based on the preselected criteria – length of the research, nature

of the research group and intervention frequency etc. For the purpose to extend the theoretical bases of the problematics of energy coverage, metabolism and cardio-respiratory function were analyzed several chosen studies from last 10–15 years. The analysis of the individual markers was conducted based on the publications from the last decade. The research has shown that the HIIT has a significant effect on the increase of $VO_2\text{max}$. Further findings also showed that the subject is able to adapt to this type of training in just two weeks which enables the duration of training process to shorten. This type of training also leads simultaneously with EPOC effect (post-exercise oxygen consumption) to higher energy consumption in tens of hours.

The presented results can be used in Sports practice to overcome the performance stagnation and lead to performance improvement as a result of the HIIT method implementation.

Certain studies show that the HIIT method is also successfully applicable to the overweight individuals, patients with Diabetes mellitus and people with sedentary lifestyle.

However, it is always necessary to ensure the individual approach and to avoid the risk of over-training.

Klíčová slova: *aerobní/anaerobní vytrvalost, EPOC efekt, HIIT, trénink, utilizace lipidů, $VO_2\text{max}$*

Keywords: *aerobic/anaerobic endurance, EPOC effect, HIIT, training, lipid utilisation $VO_2\text{max}$*

Tato publikace vznikla na Masarykově univerzitě v rámci projektu „Možnosti využití ruční a izokinetické dynamometrie pro diagnostiku úrovně síly a laterálních asymetrií ve sportu“ (MUNI/A/1363/2015) podpořeného z prostředků účelové podpory pro specifický vysokoškolský výzkum, kterou poskytlo MŠMT v roce 2016.

ÚVOD

Vysoce intenzivní intervalový trénink (HIIT z angl. High Intensity Interval Training) je varianta tréninku, která pracuje s variabilním užitím intervalů. Dle některých autorů (Laursen & Jenkins, 2002; Gibala, 2012; Kilpatrick, 2014) se svým způsobem se jedná o jakýsi kruhový trénink, respektive dávky opakovaného zatížení krátkého či středního trvání při intenzitě vyšší, než je hodnota anaerobního prahu (pokud budeme brát v potaz, že $ANP = 60\text{--}80\% VO_2\text{max}$, tak poté hovoříme o HIIT intenzitě $\geq 90\% VO_2\text{max}$). Podle autorů Laursen a Jenkins (2002) a Fernandez-Fernandez et al. (2015) se také často můžeme setkat s určením intenzity zátěže dle tepové frekvence, kdy se jedná přibližně o hodnotu okolo 90 % maxima tepové frekvence. Tzv. intervalové dávky zatížení jsou odděleny krátkými periodami pasivního (inaktivní) nebo aktivního (lehká intenzita) odpočinku, což dovolí organismu částečné zotavení. Cvičení se provádí buď pouze s vlastní vahou těla, v různých sportovních odvětvích jako jsou fotbal, rugby, atletika, cyklistika atd. s těžkými či lehkými cvičebními pomůckami nebo na přístrojích (bicyklový/veslařský trenažér apod.). Autoři Wong et al. (2010) zjistili, že po 8týdenním zapojení HIIT (16×15 s sprintů při 120 % maximální aerobní rychlosti) $2 \times$ týdně společně s tréninkem maximální síly (cviky při 4×6 opakovacího maxima), při současném zachování klasického tréninkového objemu, mají profesionální fotbalisté zvýšenou úroveň explozivní síly (vertikální výskok z $63,5 \pm 1,1$ cm na $66,0 \pm 1,4$ cm), maximální aerobní rychlosti (z $15,9 \pm 0,2$ na $16,4 \pm 0,2$ km/h) a aerobní vytrvalosti (z 3244 ± 83 m na 3542 ± 108 m). Zmíněná maximální aerobní rychlost (MAS) byla vypočítána na základě výsledků z Vam Eval testu – kontinuálně se zvyšující rychlost běhu začínající na 8 km/h a postupně vzrůstající o 0,5 km/h až do vyčerpání, kdy se zaznamenávala poslední dokončená minuta, respektive rychlost v dané minutě, a poté se individuálně vypočítá 120 % MAS. Se zvýšením úrovně maximální rychlosti při užití metody HIIT (taktéž $12\text{--}15 \times 15$ s sprinty při 120 % maximální aerobní rychlosti) souhlasí

i výsledky výzkumu Duponta (2004) na profesionálních fotbalistech. Creer (2004) při výzkumu u profesionálních cyklistů zjistil, že trénink nad úroveň anaerobního prahu je efektivnější pro zlepšení ventilace, a to úzce souvisí i s mitochondriální oxidativní kapacitou svalu (svalová biopsie svalu vastus lateralis pod 1% anestézií xylocainem) a jejich práci. Dochází přitom také ke zlepšení kardiiovaskulárních funkcí, a to se může shodovat se sníženou kumulací laktátu v organismu a následně vést ke zlepšení ventilačního prahu. Dříve byla tato metoda užívána především profesionálními sportovci, ale v posledních letech se těší velkému zájmu i u běžné populace, a zažívá proto masový „boom efekt“. V praxi se tak můžeme setkat s HIIT v různých komerčních lekcích, fitness centrech apod. Vždy bychom samozřejmě měli brát v úvahu fakt, že k adaptaci u HIIT dochází při o mnoho nižším objemu práce, což především běžné populaci přináší možné riziko (zranění, přetrénování, vlivem vysoké intenzity vyšší tepová frekvence, tlak krve atd.).

Jak již bylo uvedeno, hlavní ideou této metody je užití kratších intervalů zatížení (IZ, zpravidla 10–60 s) a k tomu stanovení ekvivalentního intervalu odpočinku (IO) v určitém poměru (IZ:IO – 1 : 1; 1 : 2; 1 : 3; 2 : 1 atd.). Trénink pak může vypadat následovně: v klasickém poměru 30 : 30 s (IZ:IO), s delší pauzou 20 : 60 (IZ : IO) nebo nejnámější tzv. Tabata (Tabata, 1996), kdy je poměr 20 : 10 (IZ : IO) a bývá zpravidla kratšího trvání od několika minut do cca půlhodiny (Laursen, & Jenkins, 2002).

Z uvedených skutečností je zřejmé, že pokud chceme zkrátit celkový čas cvičení, nepřímo úměrně vzrůstá intenzita zátěže (submaximální až maximální – dle tepové frekvence od 85 % u submaxima a 95 % a více u maxima; u submaxima se jedná o přechodné anaerobně-aerobní pásmo nad ANP, u maxima anaerobní pásmo; můžeme také uvádět intenzitu dle %VO₂max, Moravec, 2007), a proto je tato metoda účinná především pro zvyšování VO₂max a celkovou kondici (respektive sportovní, kdy vlivem adaptace dochází k určitým změnám organismu – sportovní bradykardie, nižší zátěžová tepová frekvence, nižší dechová frekvence) a v neposlední řadě také na spalování tuků (tabulka 1). Manipulací s intenzitou, celkovým časem práce a intervalem odpočinku totiž změníme relativní požadavky na určité metabolické pochody uvnitř svalové buňky, a stejně tak i dodávku kyslíku do svalu.

Tab. 1: Potřebné množství času pro spálení 100 kcal v průběhu tréninku (orientační normy spalování pro všeobecnou populaci, kde je nutno pohlížet na procentuální údaje TF max s ohledem na trénovatelnost jedince)

% TF max	Minuty / spálené 100 kcal	Typ tréninku
40 %	26	Kontinuální trénink
50 %	17	
60 %	13	
70 %	10	Přechodná úroveň (kombinovaný trénink)
80 %	8	Intervalový trénink (HIIT)
90 %	7	
100 %	6	

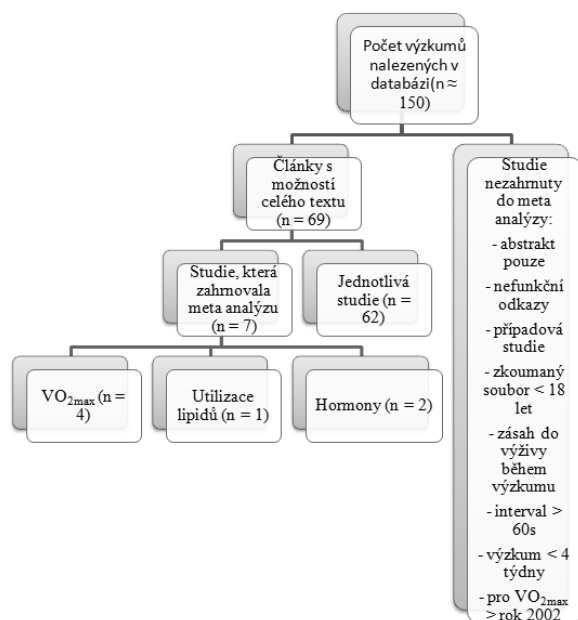
V publikaci jsme se zaměřili na literární rešerši efektu vysoce intenzivního intervalového tréninku a jeho vlivu na úroveň VO₂max a utilizaci tuků. Zajímaly nás výsledky výzkumů zaměřených na posouzení vlivu HIIT formy tréninku na hodnotu VO₂max, popř. srovnání s kontinuální déle trvající zátěží a jejím efektem. Dále jsme chtěli posoudit, která z uvedených forem tréninku je účinnější pro redukci tuků (respektive jejich utilizaci), do jaké úrovně může trénink ovlivnit sekreci hormonů. Původní záměr také počítal s analýzou změn v oblasti anaerobního/aerobního krytí, která se však pro nedostatečné množství výzkumů neuskutečnila.

Výzkumný záměr spočíval ve snaze o vytvoření review na téma „vysoce intenzivní intervalový trénink a ukazatele s ním spojené“. Tématem HIIT se zabývá mnoho publikací (převážně zahraničních), smyslem naší přehledové studie proto bylo poskytnout systematický přehled jako východisko pro další výzkumy. Cílem práce byla deskripce a analýza různých forem HIIT a jejich efektu na jednotlivé markery ($VO_2\max$, utilizace lipidů, hormony) a objasnění souvislostí týkajících se:

1. energetického krytí,
2. metabolismu,
3. kardiorepiračních funkcí.

METODIKA

Z metodologického hlediska se jedná o výzkum typu review. Celkem bylo shromážděno kolem 150 studií uvedených v různých databázích (SportDiscus, Web of Science, ACSM Journal, PubMed), které se zabývaly vysokointenzivním intervalovým tréninkem. Studie, které byly brány v potaz pro analýzy markerů, byly publikovány v letech 1996–2014. Převážná většina studií byla z posledního desetiletí pro zachování nejnovějších trendů a výsledků při zkoumání. Pro teoretickou, ale i částečně výzkumnou část týkající se energetického krytí, metabolismu a kardiorepiračních funkcí byly vybrány i starší studie (některé i z roku 1977), ale opět převažovaly studie z posledních 15 let. V dalším kroku jsme tedy postupným vyřazováním dle námi zvolených kritérií (viz obrázek 1) provedli rešerši publikovaných textů a získali výzkumná data, která jsme posléze implementovali do tabulek. Publikované studie byly analyzovány dle klíčových pojmů, tzv. markerů: $VO_2\max$, utilizace lipidů, hormony, energetické krytí, metabolismus, kardiorepirační funkce.



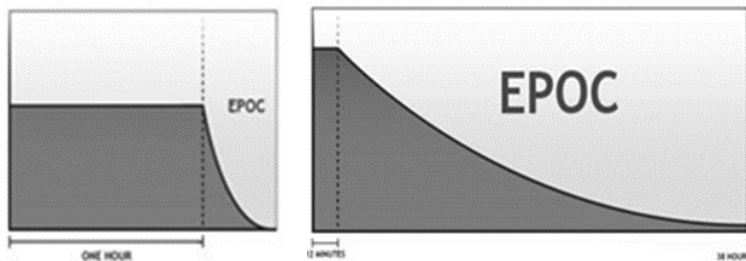
Obr. 1: Diagram výběru adekvátních článků a výzkumů pro naši problematiku

VÝSLEDKY A DISKUZE

Při zpracování výsledků jednotlivých studií jsme vycházeli ze skutečnosti, že adaptace se dostaví relativně rychle v krátkém časovém období několika dnů, avšak pro posun úrovně VO_{2max} , kapilární density svalů, mitochondrií (jejich oxidativní kapacitu u kosterního svalstva, ale i jejich schopnost β -oxidovat mastné kyseliny), hladiny laktátu a dalších proměnných je třeba delší časové periody (Daussin et al., 2008). Tím je myšlena četnost cca 3× týdně po dobu několika týdnů. Proto byl náš výzkum zaměřen na výzkumy s délkou trvání minimálně 4 týdnů.

Energetické krytí

Energie pro HIIT program se pokrývá jak anaerobní, tak i aerobní formou, což má za následek zvýšení úrovně klidového metabolismu (Meuret, 2007; King, 2001; Treuth, 1996; Broeder, 1992). Pokud se totiž podíváme na obrázek (obrázek 2), tak lze vyčíst, že při kontinuální zátěži spálíme velké množství kalorií při samotném cvičení, kdežto vlivem intervalového HIIT spálíme část při cvičení, především několik hodin po relaci samotné (Smith, 2008), a to díky pozátěžové extrémní spotřebě kyslíku, která po dalších 24 hodin zvýší klidový metabolismus. Pozátěžová spotřeba kyslíku navíc úzce souvisí s hodnotou laktátu. Nárůst spotřeby je především vlivem požadavků organismu pro zpracování laktátu tělem (Smith, 2008). Tento mechanismus je nazýván **EPOC** (Excess Post-Exercise Oxygen Consumption, česky pozátěžová spotřeba kyslíku) a měl by mít v konečném důsledku za efekt zvýšení VO_{2max} . Můžeme jej definovat jako zotavnou fázi po cvičení (kardiovaskulární), kdy je zvýšená spotřeba kyslíku. Může to být popsáno jako množství spotřebovaného kyslíku během zotavení nad úroveň spotřeby v klidovém stavu. Některé faktory, které se podílejí na EPOC hodnotě, zahrnují doplnění kreatinfosfátu a adenosinfosfátu, přeměnu laktátu na pyruvát a resyntézu glykogenu. Zvýšený požadavek spotřeby kyslíku během zotavné fáze je navíc zapojený do úpravy zvýšené tělesné teploty, tepové frekvence a plicní ventilace na klidovou úroveň, ale také do reoxygenace hemoglobinu v krvi.



Obr. 2: Efekt pozátěžového spalování a rozdíl mezi kontinuálním tréninkem (vlevo, cca 60 min) a intervalovým tréninkem (vpravo, několik minut) z hlediska doby zvýšeného klidového metabolismu (shapingconcepts.com)

Metabolismus

Tímto typem tréninku dochází k adaptaci metabolismu (indukování) a dle Westona (1996) a Edge (2006) k signifikantnímu nárůstu 25 %, zvýšení pufrovací kapacity (schopnost stabilizace svalového pH potřebného pro anaerobní zatížení) skeletálního svalstva, stejně jako u kontinuální zátěže, ale při nižším objemu cvičení. Pokud bychom měli tedy srovnat HIIT a kontinuální formu tréninku, můžeme říci, že HIIT ji předčí v několika směrech – a to ve vyšším množství klidového glykogenu a jeho snížené úrovni utilizace, snížené úrovni laktátu a zvýšení oxidativní kapacity lipidů pro skeletální svalstvo. HIIT vede také ke zvýšené sekreci HGH (růstový hormon) oproti

vytrvalostnímu zatížení o stejném objemu práce. Rozdíl může být právě v tom, že růstový hormon podporuje růst svalů, spalování tuků a zvýšení inzulínové senzitivity (Rakobowchuk, 2008).

Kardiorespirační funkce

Co se týče zlepšení v oblasti cévního řečiště, můžeme hovořit o endotelových buňkách (udržení optimálního průtoku krve) a jejich funkčnosti (zprostředkovaná dilatace průtokem krve; zlepšení z 8,3 % na 11,4 % při užití 8týdenního HIIT intervalu, Hermann et al., 2011), které mají v cévách na starost produkci vasodilatačního NO (oxid dusnatý). Účelem nitridu je zachovat správnou vasodilataci (rozšíření cév) pro udržení distribuce látek krví a efektivní krevní tok. Dochází také k adaptaci srdečního svalu, respektive ke zvýšení objemu krve v srdci přibližně o 10 %, ale i ke zvýšení minutového objemu krve. U respiračních funkcí je to převážně zvýšení objemu vdechu (Guiraud, 2012; Wisloff, 2009).

Analýza jednotlivých markerů (VO_2max , utilizace lipidů, hormonální změny) objevujících se ve sledovaných publikacích přinesla následující poznatky:

VO_2max

VO_2max neboli maximální spotřeba kyslíku – je brán jako ukazatel tělesné zdatnosti. Čím vyšší hodnotu jedinec má, tím má většinou lepší vytrvalostní výkony. Z části je dědičný (25–60 %), zbytek ovlivnitelný tréninkem (Stejskal, 2009).

Vždy je důležitá počáteční hodnota před výzkumem, která je velmi důležitá pro další zlepšení při výzkumu nebo tréninku (obrázek 3). Proto může u některých výzkumů (viz tabulka 3a, 3b) dojít k velkému a rapidnímu zvýšení této hodnoty (zapříčiněné nižší počáteční hodnotou VO_2max), což může odporovat výsledkům některých autorů (Bouchard et al., 1995 a 1998). Oproti tomu u trénovaných bude nárůst pozvolný nebo minimální (tabulka 2, 3a,3b) (Daussin et al., 2008; Laursen, & Jenkins, 2002).

V tabulce 2 jsou uvedeny výsledky výzkumů týkajících se VO_2max zpracované autory Laursem a Jenkinsem (2002), které dokumentují u převážné většiny studií nárůst této hodnoty vlivem HIIT u osob se sedavým životním stylem a rekreačně aktivních jedinců. Většinou se jednalo v průměru o 6–8 týdenní intervenci, 2–3× týdně, kde byl patrný nárůst VO_2max . U jednoho výzkumu zůstala hodnota nezměněná, to však je dle našeho názoru vlivem menšího počtu intervenčních jednotek (5) za delší dobu (12 týdnů) a fakt, že autoři se zaměřili spíše na zjištění posunu laktátového prahu.

Ve studii srovnávající sportovce, aktivní jedince a jedince se sedavým životním stylem, autoři stanovili vztah mezi oxidativní kapacitou svalu a VO_2max . Zlepšení právě ve výše zmíněné oxidativní kapacitě se jeví jako faktor zapojující se do efektu zvýšení VO_2max při reakci na vytrvalostní trénink. Výsledky se zdají být proto v souladu s konceptem symorfózy, což je bráno jako těsné spojení konstrukčních parametrů s funkčními požadavky organismu (Daussin et al., 2008; Burgomaster a kol., 2008). Tento stav definovali přesněji autoři Weibel, Taylor & Hoppeler (1991) jako stav konstrukčního designu vyplývajícího z morfogeneze, který je regulován tak, aby odpovídal funkčním požadavkům.

V tabulkách 3a a 3b jsme se pokusili prezentovat námi nalezené studie, které se zaměřily na VO_2max , a jak jsme již popsali v diagramu (obrázek 1), zároveň splňovaly naše předem určená kritéria.

Tab. 2: Analýza výzkumů VO₂max při různých trénincích (Laursen, & Jenkins, 2002)

Autor	Počet	Varianta	Délka výzkumu	Počet relací	Počet opakování	Intenzita	Interval zátěže	Interval odpočinku	Závěr
Hickson et al.	8 mužů	C a R	10 týdnů	6×/týden	6×	100% VO ₂ max	5 min	2 min	↑VO ₂ max, ↑T _{lim}
Green et al.	10 mužů	C	1 týden	1×/týden	16×	90% VO ₂ max	6 min	54 min	↑PCr, ↑Gly, ↓Lac ⁻
Green and Fraser	6 mužů	C	1 týden	3×/týden	12–24×	120% VO ₂ max	1 min	4 min	↑UA
Keith et al.	7 mužů	C	8 týdnů	2–4×/týden	2×	T _{lc} + 30%	7.5 min	30 min	↑VO ₂ max, ↑P _{peak} , ↑CS, ↑β-HCoA, ↑T _{lc}
Keith et al.	8 mužů	C	8 týdnů	2–4×/týden	1×	T _{lc}	30 min	0	↑VO ₂ max, ↑P _{peak} , ↑CS, ↑β-HCoA, ↑T _{lc}
Burke et al.	21 žen	C	7 týdnů	4×/týden	–	85–98% VO ₂ max	30–120 sec	30–120 sec	↑VO ₂ max, ↑T _{lim} , ↑T _{vent}
Simoneau et al.	10 mužů, 14 žen	C	15 týdnů	4–5×/týden	4–15×	60–90% P _{peak}	15–90 sec	HR = 120–130 bpm	↑type I, ↑type IIb, ↔type IIa
Rodas et al.	5 mužů	C	2 týdny	7×/týden	4–7×	All-out	15–30 sec	45 sec – 12 min	↑PCr, ↑Gly, ↑CK, ↑PFK, ↑LDH, ↑β-HCoA, ↑CS, ↑VO ₂ max, ↑T _{peak} ↔WIN
Parra et al.	5 mužů	C	6 týdnů	2×/týden	4–7×	All-out	15–30 sec	45 sec – 12 min	↑PFK, ↑ALD, ↑β-HCoA, ↑CS, ↑P _{peak} , ↑WIN
MacDougall et al.	12 mužů	C	7 týdnů	3×/týden	4–10×	All-out	30 sec	2.5–4 min	↑HK, ↑PFK, ↑CS, ↑SD, ↑MD, ↑Ppeak, ↑WIN, ↑VO ₂ max
Limossier et al.	8 mužů, 2 ženy	C	7 týdnů	4×/týden	8–13×	All-out	5 sec	55 sec	↑WIN, ↑Lac ⁻ , ↑PFK, ↑LDH, ↑type I, ↓type IIb, ↔type IIa
Simoneau et al.	10 mužů, 9 žen	C	15 týdnů	2–3×/týden	10–15×	60–90% P _{peak}	15–30 sec	HR = 120–130 bpm	↑HK, ↑PFK, ↑LDH, ↑MD, ↑3-HCoA, ↑OGDH
Henrítze et al.	23 žen	C	12 týdnů	5×/týden	1×	T _{lc} – T _{lc} + 69 W	–	–	↑Tlac, ↔VO ₂ max
Nevill et al.	4 muži, 4 ženy	R	8 týdnů	3–4×/týden	2–10×	All-out	6–30 sec	1–10 min	↑WIN, ↑Lac ⁻ , ↑NE, ↔β _{mf} , ↑H ⁺
Tabata et al.	7 mužů	C	6 týdnů	5×/týden	7–8×	170% VO ₂ max	20 sec	10 sec	↑VO ₂ max, ↑AN _{ep}
Ray	6 mužů	C	6 týdnů	4×/týden	5×	90–100% VO ₂ max	5 min	3 min	↑VO ₂ max, ↓HR _{rest} , ↓MAP, ↓MSNA
Harmer et al.	7 mužů	C	7 týdnů	3×/týden	4–10×	All-out	30 sec	3–4 min	Before maximum work-rate: ↑T _{lim} , ↓Lac ⁻ , ↓H ⁺ , ↓ATP _{mp} , ↓ATP _{mp} , ↓Gly, ↓ATP _{mp} , ↓K ⁺ , ↓NE After maximum work-rate: ↔Lac ⁻ , ↓Lac ⁻ , ↓H ⁺ , ↑H ⁺ , ↑NE, ↓ATP _{mp} , ↓ATP _{mp} , ↓IMP

3-HCoA = 3-hydroxyacyl coenzyme A dehydrogenase activity; ALD = aldosterone; AN_{ep} = anaerobic ATP production; AN_{ep} = anaerobic capacity; ATP_{deg} = ATP degradation; C = cycle training; CK = creatine kinase activity; CS = citrate synthase activity; Gly = glycogen content; H⁺ = hydrogen ions; HK = hexokinase activity; HR = heart rate; HR_{rest} = resting HR; IMP = inosine monophosphate; K⁺ = potassium ions; Lac⁻ = lactate; LDH = lactate dehydrogenase activity; m = muscle; MAP = mean arterial pressure; MD = malate dehydrogenase activity; MSNA = muscle sympathetic nerve activity; NE = plasma norepinephrine (noradrenaline); OGDH = oxoglutarate dehydrogenase activity; PCr = phosphocreatine; PFK = phosphofructokinase activity; pl = plasma; P_{peak} = peak power output, R = run training; SD = succinate dehydrogenase activity; T_{lc} = lactate threshold; T_{lim} = time to exhaustion; T_{vent} = ventilatory threshold; type I, IIa, IIb = type I, IIa, and IIb muscle fibres; UA = uric acid; VO₂max = maximal oxygen uptake; WIN = Wingate anaerobic test performance; β = buffering capacity; ↓ = decrease; ↑ = increase; ↔ = no change.

Tab. 3a: Analýza HIIT výzkumů týkající se $VO_2\max$

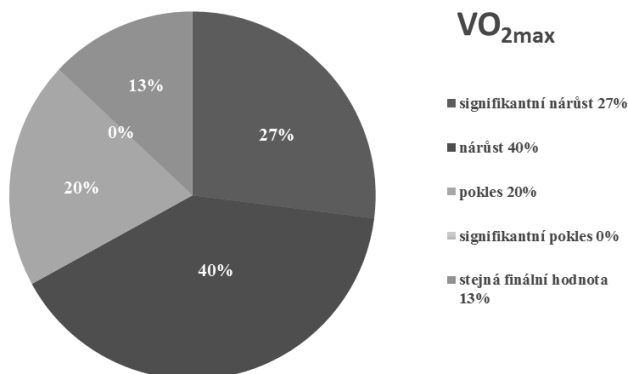
Autor výzkumu	Počet jedinců	Délka výzkumu	Počet relací	Interval zátěže	Interval odpočinku	Závěr	Porovnání
Hurst R.	–	8 týdnů	3× týdně	5 × 5 s sprint max. úsilí, bicykl. ergometr	30 s aktivní IO 4 min IOmS	↑ ↑ $VO_2\max$ (+18,7 %) ↑ Oxidativní kapacita svalů	SIT, ET (18,3%), COMB (16,1%), CG (–5,8 %)
Smith a kol.	n = 5	4 týdny	2× týdně	5 × V_{\max} při 60–75 % T_{\max}	1 : 2	↑ $VO_2\max$, ↑ V_{\max} (rychlost)	–
Burgomaster, Rakobowchuk a kol.	n = 20 (ve skupině 5M a 5Ž)	6 týdnů	3× týdně	4–6 × 30s max. úsilí – wingate test	4,5min aktivní odpočinek (30 W)	↑ $VO_2\max$	SIT, ET
Daussin a kol.	n = 11, 6M a 5Ž, věk: 45 ± 3 let	8 týdnů	3× týdně	1. týden 20 min, každé 2 týdny +5 minut, 1 min 90 % P_{\max}	4min na úrovni 1. VT – ventilačního prahu	↑ ↑ $VO_2\max$ (15%) ↑ Oxidativní kapacita svalů	HIT (SIT), ET (9 %)
Billat a kol.	n = 8	4 týdny	1× týdně	50 % T_{\max}	1 : 1	↑ V_{\max} (+5 %), ↔ $VO_2\max$	–
Smith a kol.	n = 26	4 týdny	2× týdně	8 × 60/70 % T_{\max}	1 : 2	↔ V_{\max} ↔ $VO_2\max$	60 % T_{\max} oproti 70 % T_{\max} u olymp. běžců
Dunham, Harms	n = 8 + 7 muži ± 20,5 let	4 týdny	3× týdně	5 × 60 s 90 % maximálního výkonu	1 : 3	↑ $VO_2\max$ (9,6 %)	ET (5,5 %)
Bayati a kol.	n = 8 + 8	4 týdny	3× týdně	3–4 × 30 s maximální výkon / 6–8 × 30 s 125 % P_{\max}	1 : 4	↑ $VO_2\max$ (9,6 % vs. 9,7 %)	HIIT vs. HIIT
Macpherson a kol.	n = 10 + 10	6 týdnů	3× týdně	4–6 × 30 s maximální výkon	1 : 6	↑ ↑ $VO_2\max$ (11,5 %)	ET (12,5 %)

Tab. 3b: Analýza HIIT výzkumů týkající se $VO_2\max$

Rakobowchuk a kol.	n = 11, ±23,1 let	6 týdnů	3× týdně	20–27 × 30 s 100 % P_{\max}	1 min	↑ ↑ $VO_2\max$ (15,4 %)	–
Esfarjani, Laursen	n = 6 + 5, 19 let	10 týdnů	2× týdně	7–12 × 30 s 130 % $VO_{2\max}$	4,5 min	↑ $VO_2\max$ (6,2 %)	ET (2,1 %)
Barnes a kol.	n = 5, 24,9 let	6 týdnů	2× týdně	8–16 × 40 s 110 % $VO_{2\max}$	1 : 3	↓ $VO_2\max$ (3,6 %)	–
Laursen a kol.	n = 10 + 10 25 let	4 týdny	2× týdně	12 × 30 s 175 % P_{\max}	4 min	↑ $VO_2\max$ (3,1 %)	ET (0,8 %)
Dalleck a kol.	n = 10 + 10 21,1 let	6 týdnů	1× a 2× týdně	6–8 × 30 s 110–120 % P_{\max}	3,5 min	↓ $VO_2\max$ (–0,7 %) vs. (0,6 %)	HIIT vs. HIIT
Iaia a kol.	n = 9 + 8 33,9 let	4 týdny	4× týdně	8–12 × 30 s 93 % V_{\max} (max rychlosti – 22,4 km/h)	3 min	↓ $VO_2\max$ (–2,4 %)	ET (0,5 %)

↑ hodnota vyšší oproti počáteční ($10 > x > 2$) % ↑ ↑ signifikantně vyšší hodnota oproti počáteční (>10 %) ↓ nižší hodnota v porovnání s počáteční (<0 %) ↓ ↓ signifikantně nižší v porovnání s počáteční (<10 %) ↔ hodnota zůstala nezměněna nebo s minimálním rozdílem (<2 %)

Jak vyplývá z tabulek 3a a 3b a obrázku 3, převážná většina výzkumů (67 %) se shoduje v nárůstu $VO_2\max$ hodnot (vezmeme-li v potaz sloučení signifikantního nárůstu a nárůstu). Ve 13 % výzkumů došli autoři k závěru, že vlivem HIIT se hodnota $VO_2\max$ nemění příliš rapidně nebo téměř vůbec, rozdíl byl jen několik procent oproti počátečním hodnotám. Pozoruhodná je skutečnost, že 20 % autorů vyvodilo z výsledků fakt, že dojde k poklesu $VO_2\max$. Tento stav však může být způsobený vyšší počáteční hodnotou, jak jsme již zmiňovali. Signifikantní pokles hodnot oproti původním nezaznamenal žádný výzkum.



Obr. 3: Zhodnocení procentuálního podílu změn VO₂max

Utilizace lipidů

Utilizace lipidů je žádaná především při redukci nadváhy, avšak i pro své energetické využití (1 g = 38 kJ). Několik studií poukazuje na fakt, že vlivem HIIT se může zvýšit oxidace lipidů v porovnání s kontinuálním tréninkem.

Dříve bylo doporučováno právě cvičení ve střední intenzitě jako hlavní metoda pro snížení nadváhy a tukové složky (Atkinson, & Walberg-Rankin, 1994), avšak nedávné studie ohledně HIIT přišly se zjištěním, že má potenciál být ekonomičtější a efektivnější pro redukci obezity a nadváhy (tabulka 4), a to především vlivem negativní energetické bilance (Talanian a kol., 2007). Jev je pravděpodobně zapříčiněn vysokou intenzitou práce v anaerobní oblasti a následným EPOC efektem. HIIT snižuje insulinovou resistenci a vede k adaptaci (většinou dochází k větším změnám při menším objemu práce) skeletálního svalstva, které v konečném důsledku zvyšují oxidaci tuků u svalů a zlepšují glukózovou toleranci (Boutcher, 2010).

Tab. 4: Vyobrazení analýz změn v oblasti podkožního a abdominálního tuku vlivem HIIT metody u nemocných obézních lidí či lidí trpících DM

Autor výzkumu	Délka výzkumu	Počet relací	Interval zátěže	Interval odpočinku	Podkožní tuk	Abdominální tuk	Porovnání
Boudou a kol.	8 týdnů	3× týdně	ET + 5×2 min	3 min	↓ ↓ 18 %	↓ ↓ 44 %	-
Dunn	12 týdnů	3× týdně	60×8s sprint	12 s nízká intenzita	↓ 8 %	↓ 6 %	HIIT 20 min vs. ET 60 % VO ₂ max 40 min
Mourier a kol.	8 týdnů	2× týdně ET + 1× týdně HIIT	ET + 5×2 min	3 min	↓ ↓ 18 %	↓ ↓ 48 %	-
Tjønnå a kol.	12 týdnů	3× týdně	4×4 min	3 min	↓ 7 %	↓ 8 %	-
Trapp a kol.	15 týdnů	3× týdně	60×8 s sprint	12 s nízká intenzita	↓ 10 %	↓ 10 %	HIIT 20 min vs. ET 60 % VO ₂ max 40 min
Tremblay a kol.	24 týdnů	-	15×30 s	30s	↓ ↓ 15 %	↓ 12 %	ET o stejném výkonu

HIIT – vysoce intenzivní intervalový trénink, ET – vytrvalostní trénink, VO₂max – maximální spotřeba kyslíku, ↓ ↓ signifikantní pokles (od 12 %), ↓ pokles (do 12 %)

Dle některých studií (Zouhal et al., 2008) můžeme navíc tvrdit, že reakce katecholaminů na HIIT protokol je odlišná oproti reakci na kontinuální zátěž, která vede jen k malé míře zvýšení adrenalinu a noradrenalinu. Reakce má totiž podle dalších autorů (Issekutz, 1978; Bracken, 2009; Laforgia, 2006) být stěžejní pro tento typ cvičení. Studie (Issekutz, 1978; Christmas, 1999; Trapp, 2007; Boutcher, 2010; Vincent, 2004) prokázaly, že epinefrin (adrenalin) řídí lipolýzu a zčásti zodpovídá za uvolňování tukových zásob z podkožních a intramuskulárních oblastí.

I když se hladina laktátu při HIIT zvyšuje, transport VMK (volné mastné kyseliny) vzrůstá, respektive je patrně vyšší množství glycerolu, což poukazuje na fakt, že se více uvolňují mastné kyseliny (Trapp, 2007). Možný mechanismus účinku HIIT na redukci tuku může být vlivem navýšené oxidace tuků jak při zátěži, tak v pozátěžovém stavu (vlivem efektu EPOC a navýšení klidového metabolismu). Opačně je tomu u kontinuální zátěže, kde dochází především ke spalování tuků při samotné zátěži.

Hormonální a enzymatické změny

HIIT a jeho vlastnosti na hladiny hormonů a enzymů a dalších látek u několika studií (tabulka 5). Pro naše účely jsme se zaměřili především na CS (citrát syntázu), PFK (fosfofruktokinázu), PCr (kreatin fosfát) a CK (kreatin kináza).

Tab. 5: Hormonální změny vlivem různých forem tréninků

Autor výzkumu	Počet jedinců	Délka výzkumu	Počet relací	Interval zátěže	Interval odpočinku	Závěr	Porovnání
Keith a kol.	n = 7 mužů	8 týdnů	2–4× týdně	2×7,5 min T _{lac} + 30 %	30 min	↑ CS, ↑ 3-HcoA, ↑ P _{peak}	ET 30 min T _{lac}
Rodas a kol.	n = 5 mužů	2 týdnů	7× týdně	4–7×15–30 s max	45 s–12 min	↑ PCr, ↑ Gly, ↑ CK, ↑ PFK, ↑ 3-HcoA, ↑ CS	–
Parra a kol.	n = 5 mužů	6 týdnů	2× týdně	4–7×15–30 s max	45 s–12 min	↑ PFK, ↑ 3-HcoA, ↑ CS	–
Mac Dougall a kol.	n = 12 mužů	7 týdnů	3× týdně	4–10×30 s max	2,5–4 min	↑ PFK, ↑ CS	–
Simoneau a kol.	n = 10 M a 9 Ž	15 týdnů	2–3× týdně	10–15×15–30 s 60–90 % P _{peak}	Dle TF (120–130)	↑ PFK, ↑ 3-HcoA	–
Weston a kol.	n = 6	4 týdnů	2× týdně	6–8×5 min 80 % max	60 s	↑ β, ↔HK, ↔PFK, ↔CS, ↔3-HcoA	–
Christmas a kol.				20 min – 6 s/24 s	9 s/36 s	↑ norepinephrine	Dlouhé vs. krátké HIIT
Trapp a kol.				20 min – 8 s/12 s	12 s/24 s	↑ norepinephrine ↑ epinefrine	Dlouhé vs. krátké HIIT
Bracken a kol.	n = 12 mužů			10×6 s sprint	30 s	↑ epinefrine (6,3×) ↑ norepinephrine (14,5×)	

Jak uvádějí Gaitanos et al. (1993), metoda HIIT vede k patrnému zvýšení glukózy ($3,9 \pm 0,2$ mmol/l v klidu, $4,6 \pm 0,5$ mmol/l po devíti 6s intervalech s odpočinkem 30 s, $5,6 \pm 0,6$ mmol/l v 5. minutě zotavné fáze) v krvi jak po 5 minutách, tak 30 minut po zátěži (Vincent, 2004), a speciální dramatický vliv má na jedince s DM 1. typu. Bussau a kol. (2006) zkoumali efekt jednoho 10s maximálního sprintu po střední kontinuální zátěži jako prevenci hypoglykémie, kterou zažívali právě tito jedinci. Zjistili, že při 20minutové středně intenzivní kontinuální zátěži došlo k výraznému poklesu úrovně glykémie. Zatímco pouhým přidáním jednoho 10s maximálního sprintu hladina glykémie již dále neklesala po dobu 120 minut, bez sprintu klesala dále. Autoři mají za to, že stabilizaci glykémie vlivem jednoho přidaného sprintu můžeme asociovat s navýšenou úrovní katecholaminů, růstového hormonu a kortizolu. Navíc se tak sníží riziko hypoglykémie, které hrozí u fyzicky aktivních jedinců s DM 1. typu (Bussau et al., 2006).

S ohledem na metabolické odezvy vede HIIT zpočátku ke snížení ATP (adenosintrifosfát) a PCr (kreatin fosfát) zásob, následovanému snížením glykogenových zásob skrze anaerobní glykolýzu (Tomlin, & Wenger, 2001). Gaitanos a kol. (1993) se proto domnívají, že na konci relace HIIT, která zahrnovala několik sprintů, může dojít k inhibici anaerobní glykogenolýzy,

a tím k možnosti resyntézy ATP převážně z degradace PCr a intramuskulárních zásob TAG (triacylglycerol). Toto tvrzení však bohužel není s určitostí potvrzené.

Zvýšená úroveň tzv. EPOC je během zotavné periody spojována s odstraněním laktátu a H^+ (vodíkového kationtu), zvyšováním kardiopulmonálních funkcí, zvýšenou tělesnou teplotou, katecholaminy a resyntézou glykogenu (Tomlin, & Wenger, 2001). Proto se EPOC jeví jako jeden z klíčových mechanismů pro redukci tuků při HIIT (respektive jejich lepší oxidaci). Také vyšší úroveň HGH zaznamenaná po HIIT se může podílet na nárůstu energetického výdeje, a tím i oxidaci tuků (Nevill et al., 1996).

ZÁVĚR

Na základě analýzy publikovaných studií bylo zjištěno, že účinek HIIT na adaptaci organismu na námi sledované markery sestává ze dvou fází. Primárně je to akutní reakce organismu (která má rychlý nástup), což chápeme jako signifikantní nárůst tepové frekvence během zátěže, vyšší hladinu katecholaminů, kortizolu, růstového hormonu, krevního laktátu, množství glukózy ve tkáni (glykémie), glycerolu, ale i markantního poklesu parasympatické reaktivace po HIIT (respektive prodloužení sympatické aktivace v zotavné fázi po HIIT a potlačení parasympatické reaktivace (Borresen & Lambert, 2008; Skelly et al., 2014)) a vyčerpání ATP, PCr a glykogenových zásob. Sekundárně je to přechod do chronické odpovědi na HIIT, což je zvyšující se aerobní a anaerobní kapacita, adaptace skeletálního svalstva a současně i snížení hladiny inzulínu nalačno a inzulínové resistance a větší procento utilizovaného množství lipidů.

Ze závěrů analyzovaných výzkumů lze vyvodit, že HIIT má významný vliv na úroveň VO_{2max} (což je nejčastěji zmiňovaná charakteristika vytrvalostní úrovně v námi analyzovaných výzkumech) a s tím spojenou aerobní kapacitu. Ve většině studií bylo konstatováno, že HIIT forma tréninku má oproti klasické kontinuální zátěži výhodu v tom, že adaptace na tento typ tréninku byla neúčinnější v první fázi, a to většinou v období přibližně dvou týdnů. Zde je možno vidět časovou úsporu v průběhu tréninkového procesu a její možné využití v jiných oblastech (technika, taktika atd.). Vyšší účinnost HIIT formy tréninku se projevuje rovněž při utilizaci lipidů, která může být způsobena negativní energetickou bilancí, vyčerpáním glykogenu a následnou resyntézou. V organismu přitom zůstává určité množství glykogenu a vlivem adaptace na HIIT program dochází k vyšší utilizaci tuků, což je potvrzeno vyšší hodnotou hydroxyacyl-CoA-dehydrogenázy a proteinu vázajícího mastné kyseliny. Proto současně s EPOC efektem dochází k vyššímu spalování až po tréninkové jednotce, řádově v desítkách hodin (obnova pH a odstranění laktátu). Další zaměření vědeckého výzkumu v oblasti HIIT tematiky je možno vidět především v oblasti anaerobní a aerobní vytrvalosti, neboť jen malá část námi analyzovaných studií se touto problematikou zabývalo.

Lze konstatovat, že využití metody HIIT lze doporučit trenérům i sportovcům k zařazení do tréninkových plánů, neboť umožňuje překonání stagnace sportovního výkonu, resp. jeho zlepšení. HIIT protokol lze rovněž úspěšně využít u osob trpících nadváhou, diabetes melitus, či se sedavým životním stylem. Je ovšem nutno dbát na riziko přetrénování, respektive přetížení. V neposlední řadě je výhodou HIIT programu také jeho psychologický efekt (kratší čas, ne stereotypní cvičení), který je důležitý především u osob obézních a nemocných.

Literatura

- Atkinson, R. L., Walberg-Rankin, J., Bouchard, C., Shephard, R. J., & Stephens, T. (1994). Physical activity, fitness, and severe obesity. In *Physical activity, fitness, and health: international proceedings and consensus statement*. (pp. 696–711). Human Kinetics Publishers.
- Barnes, K., Kilding, A., Hopkins, W., McGuigan, M., & Laursen, P. (2012). Effects of different uphill interval-training programs on running economy and performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15, S14.
- Barnett, A. (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes. *Sports medicine*, 36(9), 781–796.
- Bayati, M., Farzad, B., Gharakhanlou, R., & Agha-Alinejad, H. (2011). A practical model of low-volume high-intensity interval training induces performance and metabolic adaptations that resemble 'all-out' sprint interval training. *Journal of sports science & medicine*, 10(3), 571.
- Billat, V. L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., & Koralsztejn, J. P. (1999). Interval training at VO₂max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31, 156–163.
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise. *Sports medicine*, 38(8), 633–646.
- Boudou, P., Sobngwi, E., Mauvais-Jarvis, F., Vexiau, P., & Gautier, J. F. (2003). Absence of exercise-induced variations in adiponectin levels despite decreased abdominal adiposity and improved insulin sensitivity in type 2 diabetic men. *European Journal of Endocrinology*, 149(5), 421–424.
- Bouchard, C., Daw, E. W., Rice, T., Pérusse, L., Gagnon, J., Province, M. A., ... & Wilmore, J. H. (1998). Familial resemblance for VO₂max in the sedentary state: the HERITAGE family study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(2), 252–258.
- Bouchard, C., Leon, A. S., Rao, D. C., Skinner, J. S., Wilmore, J. H., & Gagnon, J. (1995). The HERITAGE family study. Aims, design, and measurement protocol. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(5), 721–729.
- Boutcher, S. H. (2010). High-intensity intermittent exercise and fat loss. *Journal of obesity*.
- Bracken, R. M., Linnane, D. M., & Brooks, S. (2009). Plasma catecholamine and nephrine responses to brief intermittent maximal intensity exercise. *Amino Acids*, 36(2), 209–217.
- Broeder, C. E., Burrhus, K. A., Svanevik, L. S., & Wilmore, J. H. (1992). The effects of either high-intensity resistance or endurance training on resting metabolic rate. *The American journal of clinical nutrition*, 55(4), 802–810.
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of physiology*, 586(1), 151–160.
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of physiology*, 586(1), 151–160.
- Bussau, V. A., Ferreira, L. D., Jones, T. W., & Fournier, P. A. (2006). The 10-s Maximal Sprint A novel approach to counter an exercise-mediated fall in glycemia in individuals with type 1 diabetes. *Diabetes Care*, 29(3), 601–606.
- Creer, A. R., Ricard, M. D., Conlee, R. K., Hoyt, G. L., & Parcell, A. C. (2004). Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 25(2), 92–98.
- Dalleck, L., Bushman, T. T., Crain, R. D., Gajda, M. M., Koger, E. M., & Derksen, L. A. (2010). Dose-response relationship between interval training frequency and magnitude of improvement in lactate threshold. *International journal of Sports Medicine*, 31(8), 567–571.
- Daussin, F. N., Zoll, J., Dufour, S. P., Ponsot, E., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., ... & Richard, R. (2008). Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 295(1), 264–272.
- Dunham, C., & Harms, C. A. (2012). Effects of high-intensity interval training on pulmonary function. *European journal of applied physiology*, 112(8), 3061–3068.
- Dunn, S. L. (2009). *Effects of exercise and dietary intervention on metabolic syndrome markers of inactive premenopausal women* (Doctoral dissertation, University of New South Wales).
- Dupont, G., Akakpo, K., & Berthoin, S. (2004). The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 584–589.
- Esfarjani, F., & Laursen, P. B. (2007). Manipulating high-intensity interval training: Effects on the lactate threshold and 3000m running performance in moderately trained males. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(1), 27–35.
- Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., Sarabia, J. M., & Moya, M. (2015). Preseason Training: The Effects of a 17-Day High-Intensity Shock Microcycle in Elite Tennis Players. *Journal of sports science & medicine*, 14(4), 783.
- Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H., & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of applied physiology*, 75(2), 712–719.
- Gibala, M. J., Little, J. P., MacDonald, M. J., & Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of physiology*, 590(5), 1077–1084.
- Guiraud, T., Nigam, A., Gremeaux, V., Meyer, P., Juneau, M., & Bosquet, L. (2012). High-intensity interval training in cardiac rehabilitation. *Sports medicine*, 42(7), 587–605.

- Hermann, T. S., Dall, C. H., Christensen, S. B., Goetze, J. P., Prescott, E., & Gustafsson, F. (2011). Effect of High Intensity Exercise on Peak Oxygen Uptake and Endothelial Function in Long-Term Heart Transplant Recipients. *American Journal of Transplantation*, 11(3), 536–541.
- Christmass, M. A., Dawson, B., & Arthur, P. G. (1999). Effect of work and recovery duration on skeletal muscle oxygenation and fuel use during sustained intermittent exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 80(5), 436–447.
- laia, F. M., Hellsten, Y., Nielsen, J. J., Fernström, M., Sahlin, K., & Bangsbo, J. (2009). Four weeks of speed endurance training reduces energy expenditure during exercise and maintains muscle oxidative capacity despite a reduction in training volume. *Journal of applied physiology*, 106(1), 73–80.
- Issekutz, B. (1978). Role of beta-adrenergic receptors in mobilization of energy sources in exercising dogs. *Journal of applied physiology*, 44(6), 869–876.
- Keith, S. P., Jacobs, I., & McLellan, T. M. (1992). Adaptations to training at the individual anaerobic threshold. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 65(4), 316–323.
- Kilpatrick, M. W., Jung, M. E., & Little, J. P. (2014). High-intensity interval training: a review of physiological and psychological responses. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 18(5), 11–16.
- King, J. W. (2001). *A comparison of the effects of interval training vs. continuous training on weight loss and body composition in obese pre-menopausal women* (Doctoral dissertation, East Tennessee State University).
- Kovacs, M. S., & Baker, L. B. (2014). Recovery interventions and strategies for improved tennis performance. *British journal of sports medicine*, 48(Suppl 1), i18-i21.
- Laforgia, J., Withers, R. T., & Gore, C. J. (2006). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of sports sciences*, 24(12), 1247–1264.
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports Medicine*, 32(1), 53–73.
- Laursen, P. B., Blanchard, M. A., & Jenkins, D. G. (2002). Acute high-intensity interval training improves Tvent and peak power output in highly trained males. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 27(4), 336–348.
- Laursen, P. B., Shing, C. M., Peake, J. M., Coombes, J. S., & Jenkins, D. G. (2002). Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, (34), 1801–7.
- MacDougall, J. D., Hicks, A. L., MacDonald, J. R., McKelvie, R. S., Green, H. J., & Smith, K. M. (1998). Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of applied physiology*, 84(6), 2138–2142.
- Macpherson, R. E., Hazell, T. J., Olver, T. D., Paterson, D. H., & Lemon, P. W. (2011). Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(1), 115–122.
- Meuret, J. R., Sirithienthad, P., Moffatt, R. J., & Panton, L. B. (2007). A Comparison Of The Effects Of Continuous Aerobic, Intermittent Aerobic, And Resistance Exercise On Resting Metabolic Rate At 12 And 21 Hours Post-Exercise: 2153: Board# 66 June 1 8: 00 AM-9: 30 AM. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(5), S384-S385.
- Moravec, R., Kampmiller, T., Vanderka, M., & Laczo, E. (2007). Teória a didaktika výkonnostného a vrcholového športu. *Bratislava: FTVŠ UK a SVSTVŠ*.
- Mourier, A., Gautier, J. F., De Kerviler, E., Bigard, A. X., Villette, J. M., Garnier, J. P., ... & Cathelineau, G. (1997). Mobilization of visceral adipose tissue related to the improvement in insulin sensitivity in response to physical training in NIDDM: effects of branched-chain amino acid supplements. *Diabetes Care*, 20(3), 385–391.
- Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2013). Recovery in Soccer. *Sports Medicine*, 43(1), 9–22.
- Nevill, M. E., Holmyard, D. J., Hall, G. M., Allsop, P., Van Oosterhout, A., Burrin, J. M., & Nevill, A. M. (1996). Growth hormone responses to treadmill sprinting in sprint-and endurance-trained athletes. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 72(5–6), 460–467.
- Parra, J., Cadefau, J. A., Rodas, G., Amigo, N., & Cusso, R. (2000). The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 169(2), 157–165.
- Rakobowchuk, M., Harris, E., Taylor, A., Baliga, V., Cubbon, R. M., Rossiter, H. B., & Birch, K. M. (2012). Heavy and moderate interval exercise training alters low-flow-mediated constriction but does not increase circulating progenitor cells in healthy humans. *Experimental physiology*, 97(3), 375–385.
- Rakobowchuk, M., Tanguay, S., Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Gibala, M. J., & MacDonald, M. J. (2008). Sprint interval and traditional endurance training induce similar improvements in peripheral arterial stiffness and flow-mediated dilation in healthy humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 295(1), 236–242.
- Rodas, G., Ventura, J. L., Cadefau, J. A., Cussó, R., & Parra, J. (2000). A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *European journal of applied physiology*, 82(5–6), 480–486.
- Simoneau, J. A., Lortie, G., Boulay, M. R., Marcotte, M., Thibault, M. C., & Bouchard, C. (1985). Human skeletal muscle fiber type alteration with high-intensity intermittent training. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 54(3), 250–253.
- Skelly, L. E., Andrews, P. C., Gillen, J. B., Martin, B. J., Percival, M. E., & Gibala, M. J. (2014). High-intensity interval exercise induces 24-h energy expenditure similar to traditional endurance exercise despite reduced time commitment. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(7), 845–848.
- Smith, M. J. (2008). *Sprint Interval training – it's a HIIT*. (2nded.). Southlake: TX
- Smith, T. P., Coombes, J. S., & Geraghty, D. P. (2003). Optimising high-intensity treadmill training using the running speed at maximal O2 uptake and the time for which this can be maintained. *European journal of applied physiology*, 89(3–4), 337–343.

- Smith, T. P., McNaughton, L. R., & Marshall, K. J. (1999). Effects of 4-wk training using Vmax/Tmax on VO₂max and performance in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(6), 892–896.
- Stejskal, M. (2009). Preskripce pohybové aktivity. In: *Světová medicína stručně*. s. 3–11
- Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M., & Yamamoto, K. (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(10), 1327–1330.
- Talanian, J. L., Galloway, S. D., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *Journal of applied physiology*, 102(4), 1439–1447.
- Tjonna, A., Stolen, T., Bye, A., Volden, M., Slordahl, S., Odegard, R., ... & Wisloff, U. (2009). Aerobic interval training reduces cardiovascular risk factors more than a multitreatment approach in overweight adolescents. *Clinical science*, 116, 317–326.
- Tomlin, D. L., & Wenger, H. A. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine*, 31(1), 1–11.
- Trapp, E. G., Chisholm, D. J., & Boutcher, S. H. (2007). Metabolic response of trained and untrained women during high-intensity intermittent cycle exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 293(6), 2370–2375.
- Trapp, E. G., Chisholm, D. J., Freund, J., & Boutcher, S. H. (2008). The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *International journal of obesity*, 32(4), 684–691.
- Tremblay, A., Simoneau, J. A., & Bouchard, C. (1994). Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. *Metabolism*, 43(7), 814–818.
- Treuth, M. S., Hunter, G. R., & Williams, M. (1996). Effects of exercise intensity on 24-h energy expenditure and substrate oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(9), 1138–1143.
- Vincent, S., Berthon, P., Zouhal, H., Moussa, E., Catheline, M., Bentué-Ferrer, D., & Gratas-Delamarche, A. (2004). Plasma glucose, insulin and catecholamine responses to a Wingate test in physically active women and men. *European journal of applied physiology*, 91(1), 15–21.
- Wahl, P., Zinner, C., Grosskopf, C., Rossmann, R., Bloch, W., & Mester, J. (2013). Passive recovery is superior to active recovery during a high-intensity shock microcycle. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(5), 1384–1393.
- Weibel, E. R., Taylor, C. R., & Hoppeler, H. (1991). The concept of symmorphosis: a testable hypothesis of structure-function relationship. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88(22), 10357–10361.
- Weston, A. R., Myburgh, K. H., Lindsay, F. H., Dennis, S. C., Noakes, T. D., & Hawley, J. A. (1996). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 75(1), 7–13.
- Wiewelhoe, T., Fernandez-Fernandez, J., Raeder, C., Kappenstein, J., Meyer, T., Kellmann, M., ... & Ferrauti, A. (2015). Acute responses and muscle damage in different high-intensity interval running protocols. *The Journal of sports medicine and physical fitness*.
- Wiewelhoe, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2016). Effect of Repeated Active Recovery During a High-Intensity Interval Training Shock Microcycle on Markers of Fatigue. *International journal of sports physiology and performance*.
- Wisloff, U., Ellingsen, Ø., & Kemi, O. J. (2009). High-intensity interval training to maximize cardiac benefits of exercise training?. *Exercise and sport sciences reviews*, 37(3), 139–146.
- Wong, P. L., Chaouachi, A., Chamari, K., Dellal, A., & Wisloff, U. (2010). Effect of preseason concurrent muscular strength and high-intensity interval training in professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(3), 653–660.
- Zouhal, H., Jacob, C., Delamarche, P., & Gratas-Delamarche, A. (2008). Catecholamines and the effects of exercise, training and gender. *Sports Medicine*, 38(5), 401–423.

Příloha

Obrázek č. 2 – efekt pozátěžového spalování, zdroj:

http://www.shapingconcepts.com/blog/wp-content/uploads/2011/08/epoc_effect.jpg