

POTRAVNÍ DOPLŇKY S PŘÍMÝM VLIVEM NA SPORTOVNÍ VÝKON V SOUČASNÉ SVĚTOVÉ LITERATUŘE, ČÁST 1: BIKARBONÁT, BETA-ALANIN

NUTRITIVE SUPPLEMENTS AND THEIR INFLUENCE ON SPORTS PERFORMANCE IN CONTEMPORARY WORLD LITERATURE,
PART ONE: BICARBONATE, BETA-ALANINE

ZDENĚK VILIKUS, RADKA PETRÁKOVÁ-DOLEŽALOVÁ,
PAVEL KYSEL, SIMONA MAJOROVÁ

Abstrakt: Úvod: Suplementace bikarbonátem k dosažení lepšího sportovního výkonu je považována za účinnou i v dnešní době. Avšak vzhledem k nutnosti aplikovat bikarbonát v relativně vyso-kých dávkách a rovněž vzhledem k výskytu častých nežádoucích vedlejších účinků hledali sportovci i odborníci na sportovní výživu jiné alternativy. Za nejlepší alternativu bikarbonátu je v současnosti považován β -alanin. Beta-alanin se v posledních dvou dekádách stává běžnou praxí u vrcholových sportovců a také se stal objektem zkoumání odborníků na celém světě. Doplněním β -alaninu dochází k vzestupu koncentrace karnosinu ve svalových buňkách, což vede k oddálení svalové únavy v důsledku metabolické acidózy. Hlavní mechanismus oddálení únavy je připisován intracelulárním pufrovacím schopnostem β -alaninu resp. karnosinu, které jsou nezávislé na bikarbonátovém systému. Cíl: Cílem práce bylo shrnout a objektivně zhodnotit efekt suplementace bikarbonátu a β -alaninu na sportovní výkon na základě nejno-vějších poznatků světového písemnictví. Metodika: Použili jsme dvě databáze odborných prací Google Scholar a Web of Science. Na základě klíčových slov jsme vyhledávali práce od roku 2000 do současnosti. Vybírali jsme jen dvojité zaslepené studie s kontrolní skupinou a place-bem. Výsledky: Nalezli jsme celkem 143 prací požadované kvality a 8 souborných článků typu review. Nejkonzistentnějším pozitivním účinkem po aplikaci β -alaninu bylo snížení nervosva-lové únavy při krátkodobé intenzivní zátěži trvající 30 sekund až 10 minut díky oddálení me-tabolické acidózy. Doporučená denní dávka (DDD) β -alaninu je 1,6 - 6,4 g denně. Jediným nežádoucím účinkem β -alaninu jsou parestesie. Proto se doporučuje rozdělit DDD do více dávek. Závěry: Bikarbonát i β -alanin mohou přímo zvýšit sportovní výkon oddálením metabolické acidózy a tím i svalové únavy. Příčinou rozdílného individuálního účinku β -alaninové suplementace je značná individuální rezpozibilita lidského organismu na suplementaci tímto doplňkem stravy.

Klíčová slova: bikarbonát, β -alanin, karnosin, sportovní výkon

Abstract: *Introduction: Supplementation with bicarbonate to improve sports performance is considered to be efficient either at present time. However, due to the need to apply bicarbonate at relatively high doses and also because of the occurrence of frequent undesirable side effects, athletes and sports-nutrition experts have been looking for other alternatives. The best alternative to bicarbonate is currently β -alanine. β -alanine becomes not only a common practice among elite athletes, but also got into the spotlight of nutrition experts worldwide. Adding of β -alanine leads to increase of of carnosine concentration in muscle cells and following delay of muscle fatigue. The main mechanism of the effect is attributed to the intracellular buffering capabilities of β alanine resp. carnosine which is independent off the bicarbonate buffering system. Objective: Our aim is to summarize and objectively evaluate the effect of bicarbonate and β -alanine supplementation on athletic performance based on the latest knowledge of the world literature. Methods: We used two databases of scientific works Google Scholar and Web of Science. The articles were searched by the key words from the year 2000 to the pre-sent. We chose only double-blind studies with a control group and placebo. Results: We found 143 high-quality work and 8 review articles. Most consistent positive effects after administration of β -alanine was found in decrease of neuromuscular fatigue in the short intensive performance from 30 s to 10 minutes due to delay of metabolic acidosis. The recommended daily allowance (RDA) of beta-alanine was assessed from 1.6 to 6.4 grams per day. The only undesirable effect of β -alanine is paresthesia. It is therefore recommended to divide the RDA into multiple doses per day. Conclusions: Bicarbonate and β -alanine are able to enhance directly the athletic performance by the delay of metabolic acidosis and thus reduce the muscle fatigue. The most probable cause of different individual effect of β -alanine supplementation is considerably different responsibility of individual human organism to this supplement. Key words: bicarbonate, β -alanine, carnosine, sports performance*

ÚVOD

Potravní doplňky tvoří malý, ale potenciálně cenný příspěvek k úspěšnému výkonu nejen u vrcholových, ale i u výkonnostních nebo kondičních sportovců. Většina komerčně propagovaných a prodávaných doplňků je však neúčinná. Doplňků stravy s experimentálně prokázaným účinkem na sportovní výkon není mnoho. Největší skupinou produktů užívaných sportovci jsou doplňky zlepšující přímý nebo nepřímý sportovní výkon. Účinky suplementů se mohou mezi různými jedinci výrazně lišit, což je dáno genetickými dispozicemi, jinými stravovacími návyky, jinou střevní mikroflórou apod.

Suplementy zlepšující sportovní výkon lze rozdělit na ty, které jej zvyšují přímo nebo naopak nepřímo. V této studii se zaměříme na doplňky, které zlepšují výkon přímo. Cílem naší práce bylo zjistit podle nejnovějších poznatků odborné literatury, zda dva často užívané doplňky stravy, **bikarbonát sodný** či modernější **beta-alanin** resp. **karnosin**, skutečně ovlivní sportovní výkon či nikoli.

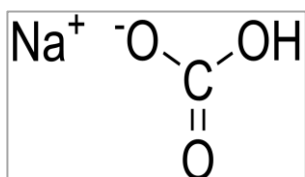
Výkony sportovců dosahují často hranic lidských možností. Zvýšení objemu tréninku by již mohlo být kontraproduktivní. Pokud sportovec odmítne nedovolený doping, jednou z mála možností, jak zvýšit výkon, mo-

hou být doplňky stravy. Karnosin byl objeven před více než sto lety ruským biochemikem Gulevičem. Avšak teprve krátce před OH v Pekingu v roce 2008 se stal velmi populárním. Zájem o něj významně stoupl nejen u vrcholových sportovců, ale i u odborné veřejnosti.

VÝSLEDKY

Bikarbonát sodný (NaHCO_3)

Obr. 1 Strukturální vzorec bikarbonátu sodného



Bikarbonát sodný zvyšuje extracelulární pufovací kapacitu a má potenciální příznivý účinek na vysokou intenzitu cvičení. Působí jako extracelulární plazmatický pufr napomáhající intracelulární regulaci pH zvyšováním koncentrace HCO_3^- a vzestupem mimobuněčného pH a (Katz, 1984, 34). Výsledný gradient pH mezi intracelulárním a extracelulárním prostředím vede k efluxu H^+ a laktátu z namáhaného svalu (Katz, 1984, Mainwood, 1975, 34, 39). Obvykle se podávala jedna dávka NaHCO_3 0,2-0,4 g / kg tělesné hmotnosti aplikovaná 1-2 hodiny před závodem (Carr, 2011, Siegler, 2012; 11, 56). Jiná strategie dávkování byla navržena takto: postupná aplikace 3-4 menších dávek za den do celkové dávky NaHCO_3 0,4 g / kg tělesné hmotnosti (dále jen TH) po dobu 2 až 4 po sobě jdoucích dní před závodem (Burkeová, 2013, Doudros, 2006, 10, 17), aby se předešlo nežádoucím vedlejším účinkům (zvracení, průjem). Podle McNaughtona (2008, 44) se tyto nežádoucí účinky dostavují po bikarbonátu

cca u 10 % sportovců. Účinek bikarbonátu sodného se zvýšil cca o 2 % při krátkodobých intenzivních sprintech trvajících 60 sekund (Carr, 2011, 11), pokud intenzivní výkon překračoval 10 minut, účinek bikarbonátu již byl slabší. (Carr, Slater, 2011, 12). Aby se předešlo zažívacím potížím, doporučují (Carr, Slater 2011, 12) podávat bikarbonát současně s malým množstvím jídla bohatého na sacharidy (cca 1,5 g/kg TH). Jako další možnost je doporučováno použít místo bikarbonátu citronan sodný (Requena 2005, 50). Vzhledem k vysoké pravděpodobnosti gastrointestinálních potíží je dobré si před použitím v soutěži důkladně vyzkoušet nejvhodnější strategii v tréninku.

Bishop (2004, 9) naměřil po aplikaci bikarbonátu zlepšení výkonu při opakovaných cyklistických sprintech (5 x 6 sekund) u mladých žen. (Zajac, 2009, 73). Po bikarbonátu (dvojitě zaslepený pokus) zjistil Painelli (2013, 46) zlepšení plaveckého sprintu na 100 m a 200 m u mladých plavců. Podobně Gao (1988, 21) popsal zlepšení v průměru o 1,52 s při opakovaných plaveckých sprintech na 100 y. Goldfinch (1988, 22) testoval účinky alkalizace vnitřního prostředí bikarbonátem sodným při plaveckých výkonech na 400 m. Testovaní sportovci byli v průměru o 1,52 s ($p < 0,005$) rychlejší než skupina kontrol s placebem. McNaughton 2008 (44) popsal po bikarbonátu v chronickém dávkování (0.5 g/kg) po dobu 5 dní maximální výkon po dobu 60 s na bicyklovém ergometru. Celková práce se zvýšila z 21.1 (± 0.9) MJ na 24.1 (± 0.9) MJ ($p < 0.05$). McNaughton 1999 (43) popsal aplikaci dávky 300 mg/ kg na velmi dobře trénovaných dobrovolnících ($\text{VO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 67,3 \pm 3,3 ml) při 1 hodinovém simulovaném cyklistickém závodě. Experimentální skupina

dosáhla práce $950,9 \text{ kJ} \pm 81,1 \text{ kJ}$, což bylo statisticky významně více než u kontrolní skupiny $835,5 \text{ kJ} \pm 100,2 \text{ kJ}$ ($p < 0,01$). Verbitzky (1997, 69) měřil při cyklistickém výkonu točivý moment m. quadriceps femoris; po podání NaHCO_3 byl točivý moment čtyřhlavého stehenního svalu signifikantně vyšší ($p < 0,05$).

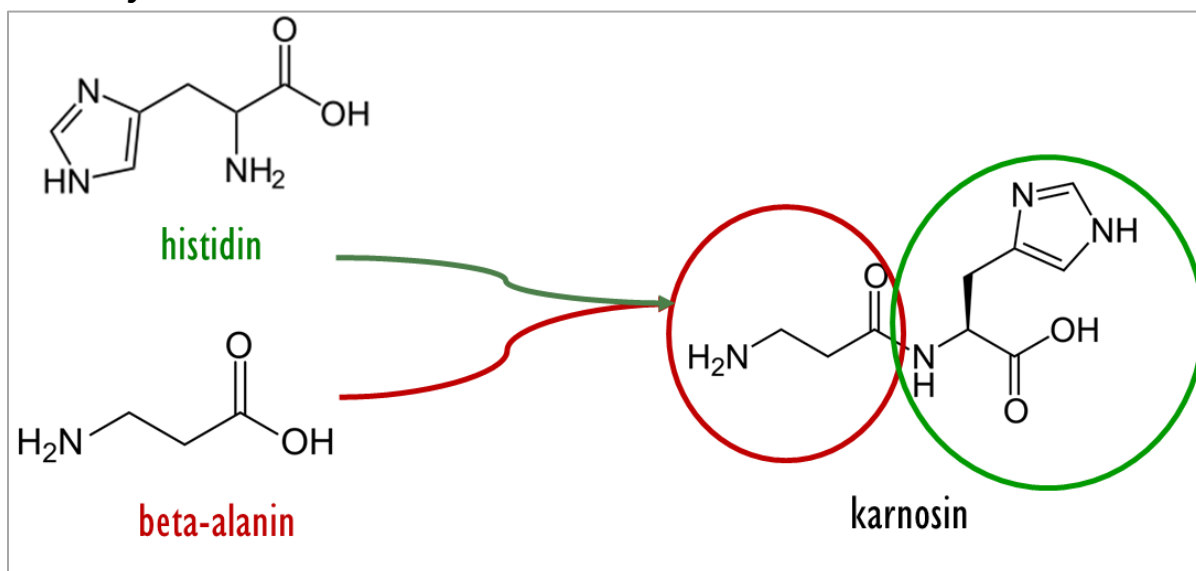
Při alkalizaci bikarbonátem se průměrný čas v běhu na 800 metrů zlepšil o 2,9 s (Wilkes, 1983, 71) a krevní laktát a extracelulární koncentrace H^+ byly vyšší než u kontrol. Tyto výsledky podporují hypotézu, že zvýšení extracelulárního pufrování po požití NaHCO_3 usnadňuje eflux H^+ z buněk zatěžovaného svalu, čímž zpomaluje pokles intracelulárního pH a oddaluje únavu. Podobný efekt zjistil v experimentu u vytrvalostních běžců Bird (1995, 8) v běhu na 1500 m, kdy dosažený čas byl v průměru o 4 sekundy lepší. McNaughton (1992, 42). testoval maximální anaerobní zátěž. Ke zlepšení výkonu došlo u zátěží trvajících 120 a 240 sekund, ale nikoli u krátkodobých zátěží trvajících 10 resp. 30 s. Týž autor McNaughton 1999 43 popsal zlepšení cyklistického výkonu v tzv. hodinovce, tedy v jízdě na bicyklovém ergometru po dobu 60 minut. V běhu na 3000 m uběhli probandi s bikarbonátem danou trať v průměru o 10,7 sekundy

rychleji než kontrolní skupina (Shave, 2001, 55). Cyklistická časovka na 30 km rovněž prokázala účinnost citrátu sodného na vytrvalostní výkon. Zlepšení průměrného času bylo signifikantní ($p \leq 0,05$) u probandů po aplikaci citrátu ($3460 \pm 97,4 \text{ s}$) ve srovnání s kontrolní skupinou s placebem ($3562 \pm 108,5 \text{ s}$) (Potteiger, 1996, 48). Týž autor však nezaznamenal signifikantní změny po bikarbonátu při třicetiminutovém běhu do vyčerpání (Potteiger, 1996, 48).

β -alanin resp. Karnosin

Karnosin je dipeptid skládající se z β -alaninu a L-histidinu. Při zvyšování koncentrace karnosinu ve svalech je limitujícím faktorem jeho prekursor β -alanin (Harris, 2006, 23). Beta-alanin spolu s histidinem jsou prekurzory dipeptidu karnosinu, který se vytváří z těchto dvou aminokyselin ve svalech (Obr. 2). Limitujícím faktorem jeho syntézy je právě beta-alanin, jelikož histidinu je ve svalech nadbytek. Beta-alanin zvyšuje nitrobuněčnou pufrovací kapacitu vnitřního prostředí sportovce a má příznivé účinky na trvale vysokou intenzitu cvičení. Chronická denní suplementace beta-alaninem zvyšuje ve svalech obsah karnosinu (Baguet, 2010, 3, 4).

Obr. 2 Syntéza karnosinu z beta-alaninu a histidinu



Experimenty ukázaly, že denní dávka β -alaninu 1,6 až 6,4 g aplikovaná po dobu 2 až 10 týdnů (Baguet, 2010, Derave, 2007 4, 15) může významně zvýšit koncentraci svalového karnosinu. Zvýšení koncentrace karnosinu ve svalech je po suplementaci β -alaninem výrazné a podle Stellingwerffa (2012, 61) lineárně přímo úměrné dávce ($r=0,921$). Karnosin může zlepšit sportovní výkon zejména tam, kde dochází ke značné metabolické acidóze Maughan 2018 40. Potvrdily to četné studie, byť často s kontroverzními výsledky. Reprodukovatelnost potvrdily další studie, jak u sportovců tak u nespportovců, při dávkách 1,6 – 6,4 g denně a to po dobu 2-10 týdnů (Baguet, 2010, Baguet, 2010, Derave, 2007, Hill, 2007, Stellingwerff, 2012, 3, 4, 15, 24, 61). V rozmezí posledních sedmi let bylo publikováno nejméně 8 (!) review týkajících se ergogenního účinku β -alaninu (2, 7, 14, 26, 44, 52, 67, 72). Všechny tyto meta-analýzy dospěly k závěru, že β -alaninová suplementace má za následek zvýšení svalového karnosinu a dodává sportovnímu výkonu ergogenní

efekt především při krátkodobých zátěžích vysoké intenzity.

Mechanismus působení karnosinu spočívá v jeho pufovacích schopnostech. Atom dusíku v imidazolovém jádru molekuly karnosinu dokáže snadno vázat vodíkové atomy H⁺ a působí tak jako účinný nitrosvalový pufr (Dunnett, 1999, Abe, 2000, 1, 20). Je tak schopen zvýšit pufovací kapacitu během výkonu až o 15 % (Harris, 2006, Lancha, 2015, 23, 38) a snížit metabolickou acidózu, a to nezávisle (!) na bikarbonátovém systému, až o 19 % Baguet (2010, 4).

Krátkodobá dynamická zátěž

Ergogenní účinky suplementace β -alaninem se potvrdily např. u mladých elitních plavců při sprintech na 100 m resp. na 200 m (skupina s β -alaninem byla v průměru o 1,04 s resp. o 2,76 s rychlejší než kontrolní skupina; $p<0,07$ resp. $p<0,002$) (Painelli, 2013, 46). Zlepšení časů při krátkodobé intervalové zátěži v běžeckém sprintu na 5 x 30 s popsal Cuisinier (2002, 13). U cyklistů došlo ke zlepšení anaerobního výkonu v posledních 10 s při Wingate

testu (Suzuki, 2004, 63, 64). Suzuki (2002, 63) rovněž zjistil pozitivní efekt β -alaninu u cyklistů v druhé polovině jejich sprinterského výkonu. U cyklistů se zvýšila dynamická izokinetická síla při sérii 5x30 s cyklistických sprintů (Derave, 2007, 15). Podle Kerna (2011, 36) β -alanin u sportovců zlepšuje „anaerobní vytrvalost“, lépe řečeno anaerobní výkon.

Velmi zajímavý experiment provedl Van Thienen (2009, 68). Po absolvování dvouhodinového simulovaného cyklistického závodu testoval sprinterské schopnosti závodníků. V opakovaných třicetisekundových spurtech došlo k významným zlepšením maximálního výkonu W_{max} i průměrného výkonu W_{avg} .

Střednědobá dynamická zátěž

Ducker (2013) zjistil u amatérských běžců na střední tratě po čtyřtýdenní aplikaci β -alaninu v dávce $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ denně zlepšení v běhu na 800 m v průměru o -3,6 s ($p < 0,02$) (18). Týž autor po čtyřtýdenní aplikaci 4 g β -alaninu denně naměřil u veslařů zlepšení času v mezičase na 750 m a 1000 m; v cíli veslařského závodu na 2000 m bylo zlepšení mezi skupinou s β -alaninem resp. bez β -alaninu na hranici statistické významnosti ($p < 0,055$) (19). Baguet (2010, 3) naměřil na veslařské trati 2000 m u vrcholových veslařů zlepšení v průměru o -2,8 s. Týž autor prokázal pozitivní korelaci ($r = 0,498$; $p = 0,042$) mezi β -alaninem a veslařským výkonem na 100 m, 500 m, 2000 m a 6000 m rovněž u 17 elitních veslařů Baguet (2010, 4). Podobně Hobson (2013, 25) u veslařů naměřil průměrné zlepšení 1,8 s na 2000 m trati. Po β -alaninu došlo u boxerů nejen ke zvýšení síly úderů, ale také ke zvýšené frekvenci úderů do boxerského pytle naměřených v posledních 10 sekundách

zátěže aplikované po dobu 3 x 3 minuty (Donovan, 2012, 16).

Vytrvalostní dynamická zátěž

Zvýšení anaerobního prahu (AT) a kyslíkové spotřeby na úrovni anaerobního prahu (VO_{2AT}) naměřili Jordan (2010), Kim (2006) a Smith (2009) (33, 37, 57, 58). Stout (2007, 62), potvrdil signifikantní zvýšení ventilačního anaerobního prahu o 14 %, zvýšení pracovní kapacity na úrovni únavového prahu o 13% a celkové doby do vyčerpání o 2,5%, u netrénovaných žen po 28 dnech β -alaninové suplementace v dávkách 3,2 - 6,4 g denně. Účinek β -alaninové suplementace na laktátový anaerobní práh u běžeckého výkonu zjišťoval Jordan (2010, 33); studie byla provedena u 17 mužů se suplementací β -alaninem 6,0 g denně po dobu 28 dní. β -alanin oddálil počátek únavy následkem zvýšení laktátového anaerobního prahu a zvýšil VO_{2AT} . Uvedené výsledky svědčí o skutečnosti, že suplementace β -alaninem může umožnit vytrvalcům zvýšit tréninkové či závodní procento maximální aerobní kapacity a oddálit tak pocit únavy Sale (2010, 53). Tento efekt byl v souladu se studií Zoellera et al. (2007, 74) kteří zjistili signifikantní zvýšení W_{AT} na úrovni laktátového prahu po 4 týdnech suplementace β -alaninem. U výkonnostních cyklistek došlo ke zlepšení W_{170} (Stout 2007, 62). U vrcholových cyklistů naměřili Bellinger (2012, 5) a Howe (2013, 31) zlepšený cyklistický výkon W_{max} .

Vytrvalostní výkon je limitován maximální aerobní kapacitou (VO_{2max}) a kyslíkovou spotřebou na úrovni anaerobního prahu (VO_{2AT}). Zvýšení maximální aerobní kapacity VO_{2max} po suplementaci β -alaninem však nepotvrdil Stout (2007, 62), Smithová (2009,

2012, 58, 59, 62) ani Walter (2010, 70). Podle Stouta (2007, 62), se však po β -alaninu ve srovnání s placebem zvýšily submaximální ukazatele: ventilační anaerobní práh a VO_{2AT} , čas do únavy (TTE) a pracovní kapacita na úrovni únavového prahu (PWC_{FT} , doba W_{170}).

Silový výkon

Silový výkon je primárně důležitý především u vzpěračů, silových trojbojařů, kulturistů, ale nepřímo zvyšuje výkon téměř u všech sportů. Potřebuje-li sportovec zvýšit sílu, provádí 1 až 5 opakování v 1 sérii. Potřebuje-li zvýšit svalový objem, provádí 8-12 opakování v 1 sérii Peterson (2004, 47). U silově dobře trénovaných mužů intenzivní trénink s 90sekundovými přestávkami po β -alaninu zvýšil celkový tréninkový objem o 22 % Hoffman (2006, 27) a obdobně Hoffman et al. (2008, 28), prokázali signifikantní zvýšení tréninkového objemu v benchpressu na 4 série po 6–8 opakováních.

Bojové sporty

Zátěže při bojových sportech jsou většinou intermitentní a vysoce intenzivní (box, karate, judo, MMA apod.). Vzhledem k tomu, že při těchto sportech dochází k vysokým vzestupům koncentrace kyseliny mléčné ve svalech a k poklesu pH vnitřního prostředí, lze po aplikaci β -alaninu očekávat zvýšení pufrovací kapacity a zlepšení výkonu. Zatímco aplikace bikarbonátu (Kendrick, 2008, 35) či citrátu sodného (Requena, 2005, 51) zlepšila extracelulární nárazníkovou kapacitu, β -alanin zvýšil intracelulární resp. intramuskulární nárazníkovou kapacitu (Artioli, 2010, 2), (Bellinger, 2015, 7). Tobias

(2013, 66) testoval intermitentní anaerobní výkon u vrcholových judistů formou čtyř po sobě jdoucích třicetisekundových Wingate testech aplikovaných na horní část těla, oddělených třiminutovými přestávkami. Zjistil srovnatelné signifikantní zlepšení maximálního výkonu W_{peak} i průměrného výkonu W_{avg} po aplikaci bikarbonátu a β -alaninu. Při kombinaci obou suplementů se zlepšení výkonu sumovalo, takže bylo dvojnásobné než po aplikaci jednotlivých preparátů odděleně.

Experimentálně neprokázané účinky β -alaninu na sportovní výkon

Naproti tomu, suplementace β -alaninem nepřinesla žádné zlepšení u sportovních výkonů, které lze považovat za analogické některým výše popsaným výkonům. Chung (2012, 32) na rozdíl od Painelliho (2013, 46) nezjistil žádné zlepšení času u elitních plavců na 50-200 m trati ani po 10 týdnech suplementace. Krátké sprinty u rekreačních sportovců se dle Sweeneyho (2010, 65) a Smith-Ryanové (2012, 59) po β -alaninu (na rozdíl od Cuisiniera 2002, 13) nezlepšily. Dle Kerna (2011, 36) zlepšení ve člunkovém běhu na 300 yardů po aplikaci beta-alaninu nebylo signifikantní. Ducker (2013, 19) neprokázal u veslařů zlepšení na trati 2000 m. Podle Stouta, (2007, 62) a Smith-Ryanové (2012, 59) po β -alaninu zůstala VO_{2max} nezměněna. Vytrvalostní cyklistický výkon u cyklistů se rovněž nezlepšil (Chung, 2012, 32). Maximální síla při 1 RM (one Repetition Maximum) zůstaly nezměněny (Hollidge-Horvat 2000, 30). Celková izometrická síla ani tělesné složení se podle Kendricka (2008, 35) nezlepšily.

Dávkování β -alaninu je limitováno jednotlivou dávkou 800 mg, protože

vyšší dávky mohou být provázeny středně silnými až silnými parestesiami (Harris, 2006, Baguet, 2010, 4, 23). Wilson (2010, 72) doporučuje aplikovat 0,8 g každé 3 hodiny, dokud není dosaženo požadované denní dávky. Autoři většiny studií aplikovali absolutní dávky β -alaninu, nevztahovali je k tělesné hmotnosti. Pouze Bellinger (2015, 7) aplikoval denní dávku s ohledem na tělesnou hmotnost $65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ denně s cílem omezit vedlejší účinky především u sportovců menšího vzrůstu. Podle Hoffmana (2006, 27) odezní parestesie do 1 hodiny. Pokud se β -alanin smíchá se sportovním nápojem obsahujícím sacharidy a minerály, výskyt parestesie je zanedbatelný (Hoffman, 2006, 27). Podle Artioliho (2010, 2) je β -alanin velmi bezpečným suplementem. Jako nejvýhodnější se v současné době aplikuje dávkování podle Saunderse (2017, 54), tj. $65 \text{ mg} / \text{kg}$ ve formě rozdělené dávky (tj. 0,8-1,6 g každé 3-4 hodiny) v prodlouženém suplementačním časovém režimu 10-12 týdnů.

Vliv β -alaninu na sportovní výkon není velký, představuje zlepšení o 0,2-3,0 % a to jak při intermitentních tak při vytrvalostních zátěžích trvajících 30 sekund až 10 minut (Baguet, 2010, Chung, 2012, Saunders, 2017, 4, 32, 54). Navíc byly zjištěny značné interindividuální změny v syntéze svalových karnosinů (Nassis, 2017, 45). Nejpravděpodobnější příčinou sporných výsledků je individuální reaktivita na β -alanin, která rozděluje populaci sportovců na tzv. „low responders“ nebo „high responders“ (Derave, 2007, Baguet, 2010, Stellingwerf, 2012, 4, 15, 61). Dosáhnout účinné suplementace je méně snadné u dobře trénovaných než u začínajících sportovců (Bellinger, 2012, 5). Je zapotřebí dalšího zkoumání β -alaninu,

kteří by umožnilo jeho praktické využití při různých specifických sportovních situacích (Hobson, 2012, 26).

ZÁVĚRY

Podle současné odborné literatury patří jak **bikarbonát sodný** tak **β -alanin** k ne mnoha potravním doplňkům, které přímo a nepochybně zlepšují sportovní výkon. Přesto je nutno mít na paměti, že jejich účinek je mnohem menší než účinek prostředků patřících mezi zakázaný doping. Navíc účinek potravních doplňků se může individuálně lišit. Pokud je to možné, doplňky stravy by si měl sportovec důkladně otestovat v tréninku, který by se svým charakterem co nejvíce podobal soutěžnímu výkonu a soutěžním podmínkám. Sportovci by měli rovněž zvážit, zda jim nevelké zvýšení výkonu stojí za riziko, že dojde k projevům možných nežádoucích účinků suplementu, případně zda neriskují pozitivní dopingový test díky kontaminaci některými zakázanými látkami přidanými k suplementu neseriózním výrobcem.

LITERATURA

1. **ABE H.** Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle. *Biochemistry (Mosc)*. 2000; 65(7): 757-765.
2. **ARTIOLI GG, GUALANO B, SMITH A, STOUT J, LANCHI AHJ.** Role of β -alanine Supplementation on Muscle Carnosine and Exercise Performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42: 1162-73.
3. **BAGUET A, BOURGOIS J, VANHEE L, et al.** Important role of muscle carnosine in rowing performance. *J Appl Physiol* 2010; 109: 1096–101.

4. **BAGUET A, KOPPO K, POTTIER A, et al.** Beta-alanine supplementation reduces acidosis but not oxygen uptake response during high-intensity cycling exercise. *Eur J Appl Physiol* 2010; 108: 495-503.
5. **BELLINGER PM, HOWE S, SHING C, FELL JW.** The effect of combined β -alanine and NaHCO₃ supplementation on cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44: 1545-51.
6. **BELLINGER PM.** β -Alanine supplementation for athletic performance: an update. *J Strength Cond Res* 2014; 28: 1751–70.
7. **BELLINGER PM.** β -alanine supplementation for athletic performance: An update. *Journal of Strength and Conditioning Research Publish Ahead of Print.* 2015; 29: 1-44.
8. **BIRD SR, WILES J, ROBBINS J.** The effect of sodium bicarbonate ingestion on 1500-m racing time. *J Sports Sci*, 1995, 13, 399-403.
9. **BISHOP D, EDGE J, DAVIS C, et al.** Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated-sprint ability. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36: 807-813.
10. **BURKE LM.** Practical considerations for bicarbonate loading and sports performance. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser*, 2013;75:15–26.
11. **CARR AJ, HOPKINS WG, GORE CJ.** Effects of acute alkalosis and acidosis on performance: a meta-analysis. *Sports Med*, 2011; 41: 801–14.
12. **CARR AJ, SLATER GJ, GORE CJ, et al.** Effect of sodium bicarbonate on (HCO₃⁻), pH, and gastrointestinal symptoms. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2011; 21: 189–94.
13. **CUISINIER C, DE WELLE JM, ROGER K et al.** Role of taurine in osmoregulation during endurance exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2002; 87: 489–95.
14. **DERAVE W, EVERAERT I, BEECKMAN S, BAGUET A.** Muscle carnosine metabolism and β -alanine supplementation in relation to exercise and training. *Sports Med.* 2010;40:247-63.
15. **DERAVE W, ÖZDEMİR MS, HARRIS RC, POTTIER A, REYNGOUDT H, KOPPO K, WISE JA, ACHTEN E.** β -Alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *J Appl Physiol.* 2007;103:1736-1743.
16. **DONOVAN T, BALLAM T, MORTON JP, CLOSE GL.** β -alanine Improves Punch Force and Frequency in Amateur Boxers During a Simulated Contest. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* Published ahead of print, 2012.
17. **DOUROUDOS II, FATOUROS IG, GOURGOULIS V, et al.** Dose-related effects of prolonged NaHCO₃ ingestion during high-intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2006; 38: 1746–53.
18. **DUCKER KJ, DAWSON B, WALLMAN KE.** Effect of β -alanine Supplementation on 800 m Running Performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, published ahead of print, 2013.
19. **DUCKER KJ, DAWSON B, WALLMAN KE.** Effect of β -Alanine Supplementation on 2000 m Rowing Ergometer Performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2013; 23:336-43.

20. **DUNNETT M.** Influence of oral beta-alanine and L-histidine supplementation on the carnosine content of the gluteus medius. *Equine Vet. J. Suppl.* 30: 499-504, 1999
21. **GAO J, COSTILL D, HORSWILL C, PARK SH.** Sodium bicarbonate ingestion improves performance in interval swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988; 58: 171-174.
22. **GOLDFINCH J, MCNAUGHTON L, DAVIES P.** Induced metabolic alkalosis and its effects on 400 m racing time. *Eur J Appl Physiol Occup* 1988; 57: 45-48.
23. **HARRIS RC, TALLON MJ, DUNNETT M, et al.** The absorption of orally supplied beta-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids.* 2006; 30(3): 279-289.
24. **HILL CA, HARRIS RC, KIM HJ, HARRIS BD, SALE C, BOOBIS LH, KIM CK, WISE JA.** Influence of β -alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids.* 2007; 32: 225-33.
25. **HOBSON RM, HARRIS RC, MARTIN D, SMITH P, MACKLIN B, GUALANO B, SALE C.** Effect of β -alanine, with & without sodium bicarbonate, on 2000 m rowing performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2013; 26:26.
26. **HOBSON RM, SAUNDERS B, BALL G, et al.** Effects of β -alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. *Amino Acids* 2012; 43: 25–37.
27. **HOFFMAN J, RATAMESS N, KANG J, MANGINE G, FAIGENBAUM A, STOUT J.** Effect of creatine and beta-alanine supplementation on performance and endocrine responses in strength/power athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2006; 16: 430-46.
28. **HOFFMAN JR, RATAMESS NA, ROSS R, et al.** β -Alanine and the hormonal response to exercise. *Int J Sports Med.* 2008; 29: 952-8.
29. **HOFFMAN JR, EMERSON NS, STOUT JR:** β -Alanine Supplementation. *Current Sports Medicine Reports.* 2012; 11(4): 189-95.
30. **HOLLIDGE-HORVAT MG, PAROLIN ML, WONG D, et al.** Effect of induced metabolic alkalosis on human skeletal muscle metabolism during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2000; 278: E316–E329.
31. **HOWE ST, BELLINGER PM, DRILLER MW, SHING CM, FELL JW.** The effect of β -Alanine supplementation on isokinetic force and cycling performance in highly-trained cyclists. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* Published ahead of print, 2013.
32. **CHUNG W, SHAW G, ANDERSON ME, et al.** Effect of 10 week beta-alanine supplementation on competition and training performance in elite swimmers. *Nutrients* 2012; 4: 1441–53.
33. **JORDAN T, LUKASZUK J, MISIC M, UMOREN J.** Effect of β -alanine supplementation on the onset of blood lactate accumulation (OBLA) during treadmill running: Pre/post 2 treatment experimental design. *J Int Soc Sports Nutr.* 2010;7: 20.
34. **KATZ A, COSTILL DL, KING DS, et al.** Maximal exercise tolerance after induced alkalosis. *Int J Sports Med* 1984; 5: 107–10.

35. **KENDRICK I**, HARRIS R, KIM H, KIM C, DANG V, LAM T, BUI T, SMITH M, WISE J. The effects of 10 weeks of resistance training combined with β -alanine supplementation on whole body strength, force production, muscular endurance and body composition. *Amino Acids*. 2008;34:547-54.
36. **KERN BD AND ROBINSON TL**. Effects of β -alanine supplementation on performance and body composition in collegiate wrestlers and football players. *J Strength Cond Res*. 2011;25: 1804-15.
37. **KIM HJ**, KIM CK, LEEYW, HARRIS RC, SALE C, HARRIS DB, WISE JA. The effect of a supplement containing beta-alanine on muscle carnosine synthesis and exercise capacity, during 12 wk combined endurance and weight training. *J Int Soc Sports Nutr*. 2006;3:S9.
38. **LANCHA JUNIOR AH**, PAINELLI VS, SAUNDERS B, et al. Nutritional strategies to modulate intracellular and extracellular buffering capacity during high-intensity exercise. *Sports Med* 2015;45 (Suppl 1):71–81.
39. **MAINWOOD GW**, WORSLEY-BROWN P. The effects of extracellular pH and buffer concentration on the efflux of lactate from frog sartorius muscle. *J Physiol* 1975; 250: 1–22.
40. **MAUGHAN RJ**, BURKE LM, et al. IOC Consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med* 2018; 52: 439–455
41. **MCNAUGHTON L**, THOMPSON D. Acute versus chronic sodium bicarbonate ingestion and anaerobic work and power output. *J Sports Med Phys Fitness*. 2001;41:456–62.
42. **MCNAUGHTON L.**, CEDARO J.. Sodium citrate ingestion and its effects on maximal anaerobic exercise of different durations. *Eur. J. Appl. Physiol*. 64:36–41. 1992.
43. **MCNAUGHTON LR**, DALTON B, PALMER G. Sodium bicarbonate can be used as an ergogenic aid in high intensity, competitive cycle ergometry of 1 hour duration. *Eur J Appl Physiol* 1999; 80: 64-69.
44. **MCNAUGHTON LR**, SIEGLER J, MIDGLEY A. Ergogenic effects of sodium bicarbonate. *Curr Sports Med Rep* 2008;7(4):230-6.
45. **NASSIS GP**, SPORER B, STATHIS CG. β -alanine efficacy for sports performance improvement: from science to practice. *Br J Sports Med* 2017;51.
46. **PAINELLI V**, ROSCHEL H, SALE C et al. The ergogenic effect of beta-alanine combined with sodium bicarbonate on high-intensity swimming performance. *Appl Physiol Nut Metab*. 2013;38:525-32.
47. **PETERSON MD**, RHEA MR, ALVAR BA. Maximizing strength development in athletes: A meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res*. 2004;18:377–82.
48. **POTTEIGER JA.**, NICKEL GL., et al.. Sodium citrate enhances 30km cycling performance. *Int. J. Sports Med*. 17:7–11. 1996.
49. **POTTEIGER JA.**, WEBSTER GL, NICKEL GL., et al. The effects of buffer ingestion on metabolic factors related to distance running performance. *Eur. J. Appl. Physiol*. 72:365–371. 1996

50. **REQUENA B, ZABALA M, PADIAL P,** et al. Sodium bicarbonate and sodium citrate: ergogenic aids? *J Strength Cond Res.* 2005; 19: 213–24.
51. **REQUENA B, ZABALA M, PADIAL P,** et al. Sodium bicarbonate and sodium citrate: ergogenic aids? *J Strength Cond Res.* 2005; 19(1): 213-24.
52. **SALE C, HILL C, PONTE J, HARRIS R.** β -alanine supplementation improves isometric endurance of the knee extensor muscles. *J Int Soc Sports Nutr* 9: 1-7, 2012.
53. **SALE C, SAUNDERS B, HARRIS R.** Effect of β -alanine supplementation on muscle carnosine concentrations and exercise performance. *Amino Acids.* 2010; 39: 321-33.
54. **SAUNDERS B, ELLIOTT-SALE K, ARTIOLI GG,** et al. β -alanine supplementation to improve exercise capacity and performance: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2017; 51.
55. **SHAVE R., WHYTE G,** et al.. The effects of sodium citrate ingestion on 3,000-meter time-trial performance. *J. Strength Cond. Res.* 15:230–234. 2001.
56. **SIEGLER JC, MARSHALL PW, BRAY J,** et al. Sodium bicarbonate supplementation and ingestion timing: does it matter? *J Strength Cond Res* 2012; 26: 1953–8.
57. **SMITH A, MOON J, KENDALL K, GRAEF J, LOCKWOOD C, WALTER A, BECK T, CRAMER J, STOUT J.** The effects of β -alanine supplementation and high-intensity interval training on neuromuscular fatigue and muscle function. *Eur J Appl Physiol.* 105:2009;357-63.
58. **SMITH A, WALTER A, GRAEF J, KENDALL K, MOON J, LOCKWOOD C, FUKUDA D, BECK T, CRAMER J, STOUT J.** Effects of β -alanine supplementation and high-intensity interval training on endurance performance and body composition in men; a double-blind trial. *J Int Soc Sports Nutr.* 2009; 6:1-9.
59. **SMITH-RYAN AE, FUKUDA DH, STOUT JR, KENDALL KL.** High-velocity intermittent running: effects of β -alanine supplementation. *J Strength Cond Res,* 26(10): 2798-2805, 2012.
60. **SMITH-RYAN AE, WOESSNER MN, MELVIN MN** et al. The effects of beta-alanine supplementation on physical working capacity at heart rate threshold. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2014;34:397-404.
61. **STELLINGWERFF T, DECOMBAZ J, HARRIS R, BOESCH C.** Optimizing human in vivo dosing and delivery of β -alanine supplements for muscle carnosine synthesis. *Amino Acids.* 2012;43:57-65.
62. **STOUT JR, CRAMER JT, ZOLLER RF, TOROK D, COSTA P, HOFFMAN JR, HARRIS RC, O’KROY J.** Effects of β -alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. *Amino Acids.* 2007; 32: 381-6.
63. **SUZUKI Y, ITO O, MUKAI N, TAKAHASHI H, TAKAMATSU K.** High Level of Skeletal Muscle Carnosine Contributes to the Latter Half of Exercise Performance during 30s Maximal Cycle Ergometer Sprinting. *Jpn J Physiol.* 2002; 52: 199-205.
64. **SUZUKI Y, ITO O, TAKAHASHI H, TAKAMATSU K.** The Effect of

- Sprint Training on Skeletal Muscle Carnosine in Humans. *Int J Sport Health Sci.* 2004; 2: 105-10.
65. **SWEENEY** KM, **WRIGHT** GA, **GLENN BRICE** A, **DOBERSTEIN** ST. The Effect of β -Alanine Supplementation on Power Performance During Repeated Sprint Activity. *J Strength Cond Res* 2010; 24(1): 79-87.
 66. **TOBIAS** G, **BENATTI** FB, **PAINELLI** VS, **ROSCHEL** H, **GUALANO** B, **SALE** C, **HARRIS** RC, **LANCHA AH JR.**, **ARTIOLI** GG. Additive effects of beta-alanine and sodium bicarbonate on upper-body intermittent performance. *Amino Acids.* 2013;45:309-317.
 67. **TREXLER** ET. International society of sports nutrition position stand: Beta-Alanine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* [online]. 2015; 12(1), 1 [cit. 2016-05-24]. DOI: 10.1186/s12970-015-0090-y. ISSN 1550-2783.
 68. **VAN THIENEN** R, **VAN PROEYEN** K, **VANDEN EYNDE** B, **PUYPE** J, **LEFERE** T, **HESPEL** P. β -alanine improves sprint performance in endurance cycling. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41:898-903.
 69. **VERBITSKY** O, **MIZRAHI** J, **LEVIN** M, et al. Effect of ingested sodium bicarbonate on muscle force, fatigue, and recovery. *J Appl Physiol* 1997; 83: 333-337.
 70. **WALTER** AA, **SMITH** AE, **KENDALL** KL, **STOUT** JR, **CRAMER** JT. Six weeks of high-intensity interval training with and without β -alanine supplementation for improving cardio-vascular fitness in women. *J Strength Cond Res.* 2010; 24: 1199-207.
 71. **WILKES** D, **GLEDHILL** N, **SMYTH** R. Effect of acute induced metabolic alkalosis on 800-m racing time. *Medicine and Science in Sports and Exercise* [01 Jan 1983, 15(4):277-280]
 72. **WILSON** JM, **WILSON** GJ, **ZOURDOS** MC, **SMITH** AE, **STOUT** JR. β -alanine supplementation improves aerobic and anaerobic indices of performance. *Strength Cond J.* 2010; 32: 71-8.
 73. **ZAJAC** A, **CHOLEWA** J, **POPRZECKI** S, et al. Effects of sodium bicarbonate ingestion on swim performance in youth athletes. *J Sports Sci Med* 2009; 8: 45-50.
 74. **ZOELLER** RF, **STOUT** JR, **O'KROY** JA, **TOROK** DJ, **MIELKE** M. Effects of 28 days of β -alanine and creatine monohydrate supplementation on aerobic power, ventilatory and lactate thresholds, and time to exhaustion. *Amino Acids.* 2007;33:505-10.

KONTAKT

Doc. MUDr. Zdeněk Vilikus, CSc.
 Ústav tělovýchovného lékařství 1. LF
 UK a VFN, Praha
 e-mail: zvili@lf1.cuni.cz

Mgr. Pavel Kysel, DIS.
 Vysoká škola tělesné výchovy a sportu
 PALESTRA spol. s r.o., Praha
 e-mail: kysel@palestra.cz

MUDr. Radka Petráková-Doležalová, Ph.D.
 FTVS Univerzita Karlova
 Praha

MUDr. Simona Majorová
 FTVS Univerzita Karlova
 Praha