CELKOVÁ TĚLESNÁ VODA JAKO INDIKÁTOR AKLIMATIZACE VE VYŠŠÍCH NADMOŘSKÝCH VÝŠKÁCH

TOTAL BODY WATER AS THE INDICATOR OF AN ACCLIMATIZATION IN ALTITUDE

M. Semerád¹, P. Bahenský²

¹Univerzita Karlova v Praze, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Laboratoř sportovní motoriky

²Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra tělesné výchovy a sportu

ABSTRACT

The aim of the work was to observe the modifications of Total Body Water (TBW) during training camps of endurance runners at the different levels of altitude (Czech Republic's altitude 1 000 m, Morocco's altitude 1 770 m). The same intervention programme was applied. The goal of this experiment was to find out if modifications of TBW could be used for the indication course in the acclimatization and adaptation. The measuring was of Bioelectrical Impedance (BIA) method with the Bodystat 1500 apparatus. The results of measuring proved nearly identical response of TBW to the training load in above mentioned locations of the camps. An achievement of retention peak differentiated according to the location. An increase of TBW was in altitude of 1000 metres above sea level 1,7–2,1 l. In an altitude of 1770 metres above the sea level was a maximum increase 5,0–6,9 l. The reactions of a body during runner's training in diverse altitude differentiate from the point of TBW's view. In the central range (1 000 metres above sea level) after achieving the maximum individual value of TBW (5th day), subsequently came a continual decrease with the trend of the second increasing wave. In higher altitude of 1 770 metres above sea level, after achieving the retention peak (8th up to 11th day) came a progressive decrease of TBW value above the level of 'incoming' figures. We found the connection between the time essential for an attainment of maximum individual value of TBW and altitude.

Keywords: altitude; total body water (TBW); bioelectrical impedance (BIA); acclimatization

SOUHRN

Úkolem práce bylo sledovat změny celkové tělesné vody (CTV) v průběhu výcvikových táborů běžců vytrvalců v různých nadmořských výškách (Šumava ČR - 1 000 m n. m., Maroko - 1 770 m n. m.). Aplikován byl proporcčně stejný intervenční program. Cílem experimentu bylo zjistit, zda změny celkové tělesné vody lze použít pro indikaci průběhu aklimatizace a adaptace. Měřeno bylo metodou bioelektrické impedance (BIA) a přístrojem Bodystat 1500. Výsledky měření prokázaly téměř shodnou reakci celkové tělesné vody na tréninkové zatížení ve zmiňovaných lokalitách. Dosažení „retenčního“ vrcholu se lišilo podle lokality experimentu. Přírůstek celkové tělesné vody činil v nadmořské výšce 1 000 m n. m. 1,7–2,1 l. V nadmořské výšce 1 770 m n. m. se maximální přírůstek vody pohyboval od 5,0 – 6,9 l. Zjistili jsme rozdíly v reakci těla z pohledu celkové tělesné vody při tréninku v odlišných nadmořských výškách. Ve středohoří (1 000 m n. m. - ČR) po dosažení nejvyšších individuálních hodnot CTV (5. den) následně nastal kontinuální pokles s tendencí druhé vlny nárůstu. Ve vyšší nadmořské výšce (1 770 m n. m. - Maroko) došlo po dosažení retenčního vrcholu (8. až 11. den) k postupnému poklesu hodnot celkové tělesné vody až pod úroveň hodnot naměřených při příjezdu do lokality. Zjistili jsme souvislost mezi dobou nutnou k dosažení maximálních individuálních hodnot celkové tělesné vody a nadmořské výšky.

Klíčová slova: nadmořská výška; celková tělesná voda (CTV); bioelektrická impedance (BIA); aklimatizace

Úvod

Znalost specifík aklimatizace a adaptace ve vyšších nadmořských výškách je ve sportu významně využívána při řízení tréninku. Jde o proces přizpůsobení organismu na vyšší nadmořskou výšku a

na denní tréninkové zátěže nebo jiné intervenční programy v atmosféře s nižším tlakem vzduchu. Trénink ve vyšších nadmořských výškách je vytrvalostními sporty často využíván. Opakovanými tréninkovými pobyty je možné vytvořit vhodné

předpoklady pro zlepšení vytrvalostních výkonů. Významným hlediskem očekávaného efektu tréninku ve vyšších nadmořských výškách je délka, lokalita a četnost pobytů. Reakci na pobyt a trénink v tomto prostředí jsou kompenzační pochody v organismu, které částečně vyrovnávají vliv sníženého dílčího tlaku vzduchu (Liška & Písařík, 1985). Doba a průběh aklimatizace je u jednotlivých sportovců rozdílná. Adaptace na vyšší nadmořskou výšku je relativně dlouhodobý komplexní proces. Odborná literatura (např. Dovalil et al., 2000; Fuchs & Reiss, 1990; Pupiš & Korčok, 2007; Suchý, 2012) se shoduje v tom, že ideální pro úspěšnou adaptaci je přibližně 21 dní pobytu a tréninku ve vyšší nadmořské výšce. Autoři uvádějí následující tři základní fáze tohoto procesu: akomodaci, adaptaci, aklimatizaci. Z pohledu efektivity pobytů ve vytypovaných lokalitách se posuzují aspekty sociální, ekonomické, změny sledovaných biomarkerů aj.

Průběh aklimatizace na vyšší nadmořskou výšku závisí na těchto faktorech (Liška & Písařík, 1985):

- na stupni trénovanosti před odjezdem do hor,
- na zdravotním stavu a psychice,
- na nadmořské výšce,
- na délce pobytu,
- na objemu a intenzitě tréninkové zátěže v průběhu pobytu,
- na ročním období, případně etapě tréninkového cyklu.

Jednou z možností jak posuzovat efektivitu a kvalitu tréninkové intervence je hodnocení vybraných proměnných tělesného složení a jejich změn v důsledku aplikovaného pohybového zatížení (Bunc & Skalská, 2012). Novější metody hodnocení tělesného složení umožňují posoudit nejen množství tělesného tuku a beztukovou resp. tukuprostou hmotu, ale současně umožňují posoudit „kvalitu“ svalové hmoty (Bunc, 2013). Celková tělesná voda (CTV resp. TBW) zahrnuje veškerou vodu přítomnou v těle. Normální množství celkové tělesné vody kolísá mezi 60 a 70 % hmotnosti dle věku a pohlaví. Jedním z hlavních úkolů při pobytu ve vyšších nadmořských výškách je minimalizovat dehydrataci a současně intervenčním programem přispět k urychlení adaptačního procesu. Nutnost kvalitního pitného režimu (cca 4 l/den) je nezbytná, neboť v těchto podmínkách může snadněji vzniknout dehydratace (Dovalil a kol., 2000). Otázka dehydratace by vystačila na samostatné téma a není předmětem naší práce. Snížení celkové tělesné vody nastává většinou v důsledku nevyváženosti příjmu a výdajů vody, například nedostatečným příjmem dostatečně kvalitní pitné vody nebo přílišným výdajem vody, který není patřičně vyvážen příjmem - například při velmi silných průjmech, zvracení nebo namáhavých fyzických výkonech doprovázených silným pocením. Přílišné zvyšování (přirůstek) celkové tělesné vody resp. zadržování těles-

né vody organismem pak může aklimatizaci zpomalovat. Přízpůsobení na vyšší nadmořskou výšku se neblíží k optimu plynule, ale postupuje zpravidla v několika fázích. Zhoršený stav (únava) může nastat 4.–6. den pobytu a vrací se později ještě 1–2 krát, poněkud 10.–12. den (Liška & Písařík, 1985; Dovalil et al., 2000). Urychlovat zákonitý průběh aklimatizačních změn není možné. Případným nerespektováním individuálních specifík reakce těla na různé tréninkové druhy intervence lze rychlost a kvalitu aklimatizaci narušit. Tyto poznatky daly možnost vzniknout několika modelům posouzení průběhu adaptace na vyšší nadmořské výšky a změn tělesného složení.

Metodika

Bioelektrická impedance (BIA) je metoda založená na šíření střídavého proudu o malé intenzitě biologickými tkáněmi. Používá se jednofrekvenční, nebo vícefrekvenční metody. U této metody vycházíme z předpokladu, že tukuprostá hmota je díky svému složení dobrým vodičem elektrického proudu, zatímco tuková tkáň se chová jako izolátor (Kushner, 1992). Odporové měření nám umožňuje získat údaje o objemu vody (elektrolytu) v tělesných tkáních. Měřeno je pouze množství vody absorbované tělesnými tkáněmi (Kushner et al., 1992). Zvýšení objemu celkové tělesné vody v organismu, například při onemocnění renálního systému a souběžné zvýšení tělesné hmotnosti může překrýt úbytek svalové tkáně a zkreslí tak naměřená data. Pro experiment tohoto měření celkové tělesné vody v terénu resp. při výcvikových táborech běžců jsme použili monofrekvenční přístroj Bodystat 1500 (5kHz). Výhodou použití tohoto přístroje je možnost terénních měření, cena, transportovatelnost, bezpečnost a jednoduchá obsluha.

Pro experiment byla probandům (N = 3) stanovena konstantní denní doba měření (8:00 ráno, lačno) a požití 2 dl pitné vody z individuálního resp. místního zdroje, a to 20min před vlastním měřením. Věk sledovaných osob byl 21,5 až 23 let. Běžecským, tréninkovým prostředkem (intervenční program) bylo zatížení v zónách rozděleno na AE, AE-ANA a ANA oblasti, podle rychlostí běhu (pásma OV, TV₁, TV₂, a další STU) a úrovně laktátu (LA - laktátoměr typ Lactate Pro – Arkray Inc. Europe). Dvojici probandů byl stanoven vždy doporučeně stejný trénink s doporučenými parametry. Pohyb probandů ve zvolených energetických zónách byl zjišťován měřením SF (palpačně + sportestery Garmin Forerunner) a La. V obou sledovaných případech bylo využito zkušeností trenéra s předchozí přípravou ve zvolených lokalitách přípravy.

Vysvětlení zkratk:

AE	aerobní zóna zatížení
AE – ANA	aerobně – anaerobní zóna (smíšená zóna)

ANA	anaerobní zóna
OV	obecná vytrvalost
TV ₁	tempová vytrvalost (tempo nejbližší delší závodní trati)
TV ₂	tempová vytrvalost (oblast anaerobního prahu)
STU	speciální tréninkové ukazatele
VT	výcvikový tábor
CTV	celková tělesná voda
LA	laktát
SF	srdeční frekvence

Výsledky

Dynamika změn celkové tělesné vody v průběhu obou výcvikových táborů se lišila. Naměřené maximální přírůstky celkové tělesné vody v nadmořské výšce 1000 m n. m. se pohybovaly od 1,7 l do 2,1 l a vrcholu retence dosáhly shodně 5. den. V nadmořské výšce 1 770 m n. m. se přírůstky celkové tělesné vody pohybovaly od 5,0 l do 6,9 l a vrcholu dosáhly individuálně. U probanda muže došlo k větší retenci (6,9 l) v kratším časovém úseku (5. den). U probanda ženy jsme naměřili přírůstek 5,0 l celkové tělesné vody s vrcholem retence 11.

Tabulka 1. Profily probandů.

Table 1. Profile of study subjects.

Jméno	Rok narození	Zdravotní stav	Délka cíleného běžeckého tréninku (roky)	Osobní rekord
P. K.	1991	velmi dobrý	4	36 min 17 s (10 km)
M. D.	1992	velmi dobrý	5	2:08,62 min (800 m)
M. J.	1991	velmi dobrý	2	31 min 22 s (10 km)

Legenda: P. K. – žena, M. D. – žena, M. J. – muž

Graf 1. + 2. Průběh změn celkové tělesné vody při výcvikovém táboře v nadmořské výšce 1 000 m n. m. (ČR, Šumava).

Figure 1. + 2. The course of changes total body water in altitude 1 000 m (Czech Republic).

den. Při výcvikovém táboře v nadmořské výšce 1 000 m n. m. s kratší dobou pobytu (10 dní) jsme pozorovali tendenci k druhé vlně nárůstu celkové tělesné vody. Při pobytu a tréninku v nadmořské výšce v 1 770 m n. m. (19 dní) dosahovaly hodnoty celkové tělesné vody u obou probandů při odjezdu nižších hodnot než naměřených při příjezdu do místa pobytu.

Tabulka 2. Proporční rozdělení zatížení při výcvikovém táboře (10dní) v nadmořské výšce 1 000 m n. m. (ČR, Šumava).

Table 2. Proportional distribution the load on the running camp (10 days) in altitude 1 000 m (Czech Republic).

Tabulka 3. Shrnutí průběhu změn celkové tělesné vody na výcvikovém táboře běžců v nadmořské výšce 1 000 m n. m.

Table 3. Summary the course of changing total body water on the running camp in 1 000 m altitude.

	věk (roky)	den retenčního vrcholu (počet)	přírůstek CTV (l)	délka VT (počet dní)
M. D.	22,6	5	2,1	10
P. K.	21,5	5	1,7	10

Graf 3.+4. Průběh změn celkové tělesné vody na výcvikovém táboře v nadmořské výšce 1 770 m n. m. (Maroko).

Figure 3.+4. The course of changes total body water in altitude 1 770 m (Maroko).

Tabulka 4. Proporční rozdělení zatížení při výcvikovém táboře běžců (16 dní) v nadmořské výšce 1 770 m n. m. (Maroko).

Table 4. Proportional distribution the load on the running camp (16 days) in altitude 1 770 m (Maroko).

Tabulka 5. Shrnutí průběhu změn celkové tělesné vody na výcvikovém táboře běžců v nadmořské výšce 1770 m n. m. (Maroko).

Table 5. Summary the course of changing total body water at the running camp in altitude 1 770 m (Maroko).

	Věk (roky)	Den retenčního vrcholu (počet)	Přírůstek CTV (l)	Délka VT (počet dní)
P. K.	22,9	11	5,0	16
M. J.	23,0	8	6,9	16

Diskuze

Znalost dynamiky změn biomarkerů spojených s příslušným druhem sportovního odvětví a typu tréninkové intervence je důležitým úkolem tréninkového procesu. Nezastupitelné místo zaujímá zvláště v oblasti kontroly, vyhodnocení a zpětné vazby tréninku. Naše práce využila možnosti použít metody bioelektrické impedance (BIA) pro měření celkové tělesné vody pro posouzení aklimatizace v přípravě běžců v různých nadmořských výškách. Většina doporučení vychází z dlouhodobých opakovaných měření v tradičních lokalitách. Z obecného pohledu existuje řada odhadů, čím se řídit a jak postupovat. Naše práce se pokusila být konkrétní a představuje BIA metodu jako alternativu a individuální posouzení průběhu aklimatizace. V souladu s údaji z literatury zabývající se touto problematikou např. (Liška & Písařík, 1985; Neumann, Pfützner & Hottenrott, 1993; Noakes, 2000.) jsme naměřili maximální přírůstek celkové tělesné vody v nadmořské výšce 1 000 m n. m. 5. den pobytu (1,7–2,1 l). Liška & Písařík (1985) i Dovalil et al. (2000) uvádí zhoršení stavu reakce organismu sportovce (únava, slabost) 4.–6. pobytový den. Dosažení retenčního vrcholu (zadržování vody) z pohledu celkové tělesné vody může podle našeho mínění být jedním z faktorů, který by mohl detekovat adaptační proces. V případě nadmořské výšky 1 770 m n. m. (Maroko) jsme naměřili maxima retence 8. den (muž) a 11. den. Dovalil et al. (2000) udává nástup druhé vlny nepříznivého aklimatizačního stavu 10.–12. pobytový den. Myslíme si, že přírůstek celkové tělesné vody by mohl být jedním z biomarkerů, které únavu mohou způsobovat respektive rychlost adaptace ztěžovat. Z praktického hlediska by údaje celkové tělesné vody umožňovaly zacílit individuálně průběh aklimatizace a adaptace

na tréninkovou zátěž. Domníváme se, že tento průběh je většinou empiricky odhadován. Pro další, přesnější posouzení celkové tělesné vody by bylo zajímavé zjistit, kolik z celkového přírůstku připadá na vodu extracelulární (ECW) a intracelulární (ICW). To však přístroj Bodystat 1500 použitý pro tento experiment nedovoluje. Jsme si vědomi faktu nízkého počtu osob a nehomogenosti výzkumného souboru. Tato skutečnost nám dovoluje interpretovat získaná data pouze jako věcně významná.

Závěr

Zjistili jsme souvislost mezi úrovní nadmořské výšky a retencí celkové tělesné vody. Nižší nadmořské výšky vyžadují nižší počet dní dosažení retenčního vrcholu. Zajímavým faktem je dynamika celkové tělesné vody v nadmořské výšce 1 770 m n. m., kdy naměřená hodnota CTV při odjezdu dosáhla nižší hodnoty, než bylo naměřeno při příjezdu do lokality. Průkazný je trend poklesu celkové tělesné vody po zařazení volného dne při pobytu na výcvikovém táboře běžců v Maroku. Bližší souvislosti s proporcemi intervenčních programů nebyly předmětem experimentu. Použití metody bioelektrické impedance pro měření celkové tělesné vody se nám v praxi osvědčilo. Pro detailnější posouzení celkové tělesné vody by bylo potřeba použít přístroje, který by rozlišil vodu extracelulární a intracelulární. Zvláště v případě pobytů ve vyšších nadmořských výškách by tato metoda mohla přispět k rozšíření dosavadních poznatků o aklimatizaci a adaptaci. Metoda nabízí individuální posouzení stavu a dynamiky celkové tělesné vody, kontrolu nad případným stavem dehydratace a současně retence. Myslíme si, že v současných podmínkách a možnostech dostupnosti

sportovní přípravy v různých světadílech, lokalitách, nadmořských výškách apod., by tato metoda mohla přispět k větší efektivitě řízení a kontroly tréninkové zátěže. Trendem v tomto směru je ve vrcholovém sportu nastolení takových programů, které současně nezpůsobí úbytky svalové hmoty. Pokud přijmeme za skutečnost, že sval je tvořen ze 72–73 % vody mohla by tato metoda najít své uplatnění.

Domníváme se, že sledování změn celkové tělesné vody bioelektrickou impedancí při výcvikových táborech ve vyšších nadmořských výškách by mohlo pomoci k posouzení aklimatizace a přispělo tak k větší efektivitě řízení tréninku.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali Prof. Ing. Václavu Buncovi, CSc. za vytvoření materiálních i vědomostních podmínek pro uskutečnění tohoto experimentu. Poděkování také patří laboratoři sportovní motoriky FTVS UK v Praze za zapůjčení přístroje Bodystat 1500.

Literatura

- Bunc, V. (2012). Diagnostika ve sportu. *Trenér biatlonu*, 1 - 17.
- Bunc, V. (2013). Tělesné složení jako indikátor předpokladů pohybové činnosti. *Sport dětí a mládeže*. Praha: UK FTVS, 85-90.
- Bunc, V., & Skalská, M. (2012). Funkční a pracovní charakteristiky zdravotnických záchranářů. *Česká kinantropologie*, 16(3), 89-100.
- Dovalil, J. et al. (2000). *Sportovní výkon a trénink ve vyšší nadmořské výšce*. Praha: Český olympijský

výbor a Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy, Olympia, a.s.

Fuchs, U., & Reiss, M. (1990). *Höhentraining das Erfolgskonzept der Ausdauersportarten (Trainerbibliothek 27)*. Münster: Philippka Verlag.

Kushner, R. (1992). Bioelectrical impedance analysis: A review of principles and applications. *Journal of the American College of Nutrition*, 11, 199-209.

Kushner, R., Schoeller, D.A., Fjeld, C.R., & Danford, L. (1992). Is the impedance index (ht²/R) significant in predicting total body water? *American Journal of Clinical Nutrition*, 56, 835-839.

Liška, J., & Pisářík, M. (1985). *Běhy na střední a dlouhé tratě*. Praha: ÚV ČSTV.

Neumann, G., Pfützner, A., & Hottenrott, K. (1993). *Alles unter Kontrolle*. Aachen: Meyer & Meyer.

Noakes, T. (2000). *Lore of Running*. Champaign: The Premier Publisher for Sports & Fitness.

Pupiš, M., & Korčok, P. (2007). *Hypoxia jako súčasť športovej prípravy*. Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela FHV.

Suchý, J. (2012). Fáze adaptace na vyšší nadmořskou výšku. In Suchý, J. Využití hypoxie a hypoxie ve sportovním tréninku (pp. 42-43). Praha: Univerzita Karlova v Praze, Karolinum.

Mgr. Miroslav Semerád
LSM FTVS UK v Praze
Šaldova 11
186 00 Praha
mira.semerad@email.cz