

Svalový glykogen jako významný předpoklad optimálního výkonu ve fotbale

Muscle glycogen as an important predisposition for optimal performance in football

Jaroslav Novák

Ústav tělovýchovného lékařství Lékařské fakulty UK v Plzni

Abstrakt

Tělesná zátěž při fotbalovém zápase vede k významnému poklesu glykogenových rezerv. Přerušovaný charakter zátěže včetně opakovaných sprintů maximální intenzity souvisí s rychlým odbouráváním glykogenu. S ohledem na kvalitu tréninkového procesu a na optimální výkon v zápase, zejména při několikazápasovém programu během týdne, je velmi důležitá obnova energetické kapacity jak po tréninku, tak po zápase. Primárním cílem regenerace je obnova glykogenových rezerv. Konzumace glycidů během tréninkové či zápasové zátěže pomáhá udržet výkonnost i technické dovednosti hráče na optimální úrovni po celou dobu trvání zápasu. K dosažení úspěšné regenerace je třeba, aby hráči po zápase konzumovali dostatečné množství (až 9 g na kg tělesné hmotnosti) glycidů přednostně s vyšším glykemickým indexem. Kombinace glycidových a proteinových komponent může zmírnit příznaky opožděné svalové bolestivosti, způsobené excentrickým charakterem některých herních prvků.

Klíčová slova: glykogenové rezervy, únava, fotbal, výživová strategie, resyntéza ATP

Abstract

Physical load during football match evokes significant depletion of glycogen stores. Intermittent nature of exercise including repeated maximal short sprints is associated with rapid muscle glycogen breakdown. With respect to quality of training process and to optimal performance in football game, especially with multiple matches in a week, replenishment of exercise capacity after training and matches is important. Restoration of glycogen stores is a primary focus of recovery. Ingesting carbohydrate during exercise helps support performance and preserves sports skills to optimal extent in course of the whole match duration. Successful recovery requires players to consume an adequate quantity (up to 9 g/kg of body mass) of preferably high glycemic carbohydrates. Carbohydrate-protein mixtures may reduce the delayed onset of muscle soreness caused by eccentric character of some physical loads.

Key words: glycogen reserves, fatigue, football, nutritional strategy, ATP resynthesis

ÚVOD

Energii potřebnou ke svalové kontrakci dodává adenosintrifosfát (ATP), obsažený nejen ve všech svalových buňkách, ale ve všech buňkách lidského těla. ATP je nukleotid tvořený adeninem, ribofuranosou a trifosforečnou kyselinou. Z chemického hlediska se řadí do skupiny tzv. 5' ribonukleotidů, které mají jako cukr ribózu a fosfátové skupiny navázané na 5' uhlíku.

Úkolem ATP není dodávat energii jen pro svalovou kontrakci, ale krýt energetické potřeby každé buňky v závislosti na její funkci. Umožňují to dvě tzv. makroergní fosfátové vazby. Jejich štěpením (hydrolýzou) se uvolní energie, upotřebitelná okamžitě ke svalové práci.

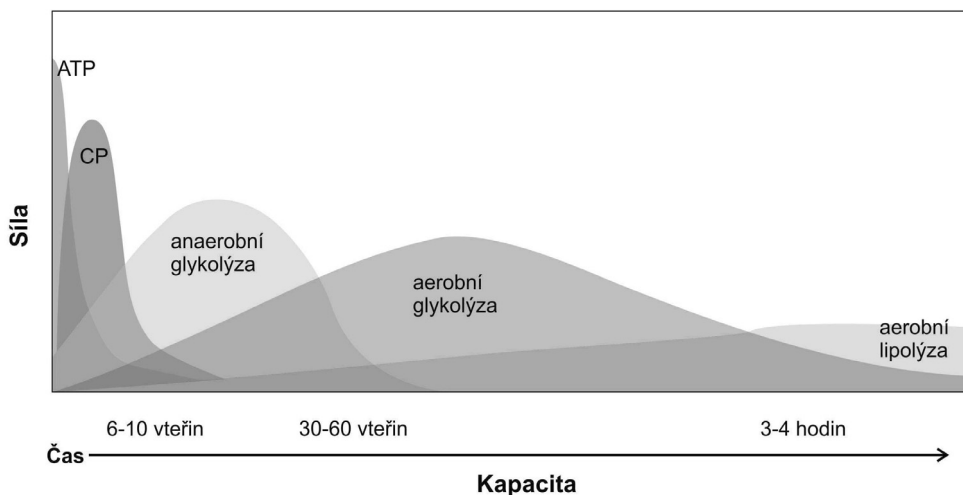
Reakci zajišťuje enzym ATP-áza (adenozintrifosfatáza). Uvádějí se tři hlavní formy ATP-ázy: a) Na^+/K^+ -ATP-áza zajišťuje přesun iontů Na^+ ven z buňky a přesun iontů K^+ do buňky; b) myosin ATP-áza zajišťuje svalovou kontrakci, především energii pro sklopení hlaviček myosinu; c) Ca^{2+} ATP-áza zajišťuje přesun kalciových iontů zpět do sarkoplasmatického retikula, a tím umožňuje svalovou relaxaci. Zastoupení aktivit těchto enzymů je cca 10 % ku 60 % ku 30 % celkové spotřeby ATP.

Většina ATP v těle mnohobuněčných organismů se vyskytuje nitrobuněčně, jen zanedbatelné množství ATP se nachází i mimo vlastní buňky v extracelulárním prostoru. Koncentrace ATP v buňkách se liší druh od druhu a v rámci jednoho těla tkáň od tkáň. I v rámci jednoho buněčného typu se koncentrace ATP liší při srovnání několika jedinců až dvojnásobně. Zhruba však nitrobuněčná koncentrace ATP činí 1–10 mmol/litr (mM/l).^[12]

ATP se vyskytuje i mimo buňku, například v tkáňovém moku či v krvi. Ven z buněk se ATP může dostat v důsledku poranění z odumírajících buněk, ale mnohdy se to děje i za normálních okolností například pomocí speciálních membránových kanálů či exocytózou pomocí váčků např. na synaptické šterbině. V některých tkáních tak může i mimo buňku nabývat koncentrace ATP nanomolárních (nM) či dokonce mikromolárních (μM) koncentrací. Extracelulární ATP má řadu funkcí, např. v nervové soustavě slouží jako pomocný neurotransmitter hrající důležitou roli v procesech paměti, učení a vnímání bolesti. V hladké svalovině ovlivňuje kontrakci, ve varlatech má vliv na uvolňování testosteronu.

Adenozindifosfát (ADP) nebo adenozinmonofosfát (AMP), vzniklé odštěpením jedné nebo dvou fosfátových komponent, na sebe mohou zpětně využitím dodané energie tyto fosfátové komponenty navázat, a tak obnovit výchozí potenciál. Tuto zpětnou reakci katalyzuje enzym ATP-syntháza. Látkou, která potřebné množství energie může dodat prakticky okamžitě, je kreatinfosfát (CP). Systém ATP-CP je tedy systémem umožňujícím okamžité krytí energetických nároků.

Kolik energie může tento systém poskytnout, uvedli ve své monografii Fox a Matthews (1981). Za předpokladu 70 kg vážícího muže se 30 kg svalové tkáně připadá na ATP celkem 120–180 mmol ATP a 450–510 mmol CP. Vyjádřeno v kcal na celkovou svalovou hmotu jedná se o 1,2–1,8 kcal obsažených v ATP a 4,5–5,1 kcal obsažených v CP, tedy celkem 5.7 až 6.9 kcal, připadajících celkem na ATP-CP systém. Není to mnoho, jak o tom svědčí další údaj – při výkonu maximální intenzity, jakým je např. běžecký nebo cyklistický sprint, tyto rezervy nepokryjí delší než několika-vteřinový výkon (do 10 s). (Obr. 1).



Obr. 1 Kapacita energetických rezerv při maximálním výkonu různého trvání

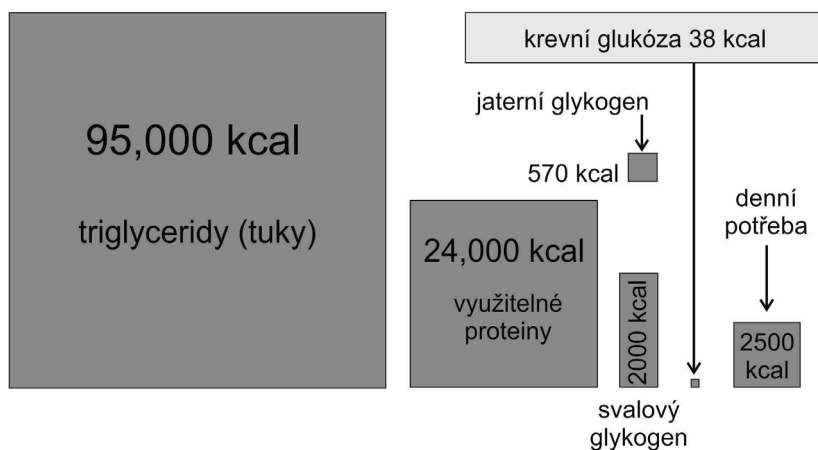
K obnově ATP při déletrvajících výkonech tedy musí dodávat energii další mechanismy. Zdrojem této energie jsou živiny, přijímané v potravě a ukládané do zásobáren v lidském těle. Zásobárnou glycidů v lidském těle je glykogen v kosterních svalech a v játrech, zásobárnou lipidů je tuková tkáň. Za mimořádných podmínek, zejména při objemově náročných vytrvalostních zátěžích a negativní dusíkové bilanci, mohou být jako zdroj této energie využívány také aminokyseliny.

Podíl substrátů, tedy především glycidů a mastných kyselin, na krytí energetických nároků pohybové činnosti závisí na intenzitě zátěže. Čím vyšší je intenzita zátěže, tím vyšší je podíl glycidů. Objektivně tento poměr dokumentují změny respiračního kvocientu (R), snadno měřitelné v laboratorních podmínkách při spiroergometrickém vyšetření, ale s využitím současných technologií měřitelné i v terénu. Odpovídá-li klidová hodnota $R=0,8$ krytí metabolických nároků z glykogenových rezerv zhruba z jedné třetiny, pak $R=0,9$ při pohybové činnosti znamená již dvoutřetinový podíl glycidů a $R=1,0$ výhradní podíl glycidů na krytí metabolických nároků pohybové činnosti vysoké intenzity.

Krátkodobé výkony maximální intenzity trvající do jedné minuty jsou kryty převážně anaerobními systémy. U těch nejkratších – několikavteřinových – hraje nejdůležitější roli zmíněný ATP-CP systém, u výkonů v délce trvání desítek sekund se rozhodující měrou uplatňuje anaerobní glykolytický systém. Zde je výhradním zdrojem energie pro resyntézu ATP anaerobní odbourávání glykogenu s konečným produktem kyselinou mléčnou a průvodní změnou vnitřního prostředí ve smyslu metabolické acidózy.

U výkonů trvajících 75 s až 2 minuty se uplatňují anaerobní a aerobní mechanismy krytí metabolických nároků přibližně půl na půl, tedy oba mají přibližně poloviční podíl na krytí těchto nároků. U výkonů delšího trvání postupně nabývá stále vyššího významu aerobní krytí metabolických nároků. Někteří autoři rozlišují dva aerobní systémy krytí metabolických nároků – aerobní glykolytický systém, uplatňující se u vytrvalostních výkonů vysoké intenzity, ale relativně krátkého trvání (minuty až desítky minut), a aerobní lipolytický systém, uplatňující se u vytrvalostních výkonů maratónského a ultramaratónského charakteru (hodiny až desítky hodin).

Zatímco během výkonu jsou energetické nároky kryty převážně ze zásobáren představovaných svalovým a jaterním glykogenem a tukovou tkání, v průběhu zotavení jsou tyto zásobárny postupně obnovovány ze zdrojů obsažených v potravě. V porovnání energetické hodnoty těchto energetických dep jsou u zdravého jedince zásobárny lipidů prakticky nevyčerpatelné (u dospělého 65kg muže cca 75 000 kcal), zatímco zásobárny glycidů v podobě glykogenu představují pouhý zlomek tohoto množství (okolo 1500 kcal, tedy okolo 2 % celkových energetických rezerv). (Obr. 2).



Obr. 2 Poměrné zastoupení všech energetických rezerv v lidském těle

Tyto glycidové rezervy lze během výkonu zcela nebo téměř vyčerpat. V krajním případě může sval krátkodobě využít energie z glukózy, obsažené v krevním řečišti. Následná hypoglykémie však vede k intenzivnímu pocitu únavy a výrazně negativně ovlivňuje výkon sportovce (Newsholme a Leech, 1984).

Pro krytí energetických nároků pohybové činnosti jsou glycidy substrátem první volby. Představují současně výhradní zdroj energie pro činnost mozku a celého centrálního nervového systému. Jako zdroj energie jsou svalovou tkání zvýšeně využívány při jakékoliv formě pohybové činnosti (Mann a Truswell, 2002).

METABOLICKÉ NÁROKY FOTBALU

Jakou zátěž pro hráče představuje fotbal? Podle řady dnes již rutinních měření urazí výkonný hráč během zápasu 10 až 13 kilometrů (Bangsbo et al., 1991; Mohr et al., 2003; Bangsbo et al., 2006). Většina z této vzdálenosti připadá na chůzi nebo pomalý běh – poklus, mnoho kratších úseků však hráč absolvuje ve vysokém až maximálním tempu. Právě četnost těchto úseků vysoké až maximální intenzity během utkání odlišuje hráče nejvyšší výkonnosti od hráčů jen průměrných. Počítačové vyhodnocení ukázalo, že hráči nejvyšší mezinárodní úrovně naběhají o 28 % více tempem vysoké intenzity (2,43 km proti 1,90 km) a sprintují o 58 % více (650 m proti 410 m) než profesionální hráči nižší výkonnostní úrovně (Mohr et al., 2003). V dánské lize naběhali ve vysokém tempu hráči vrcholných týmů o 30 až 40 % více než hráči středu či dna tabulky (Ingebrigtsen et al., 2012).

Samotná suma naběhaných metrů během utkání není ve fotbale zdaleka jedinou formou pohybové zátěže. Dalšími náročnými prvky vysoké intenzity jsou obraty, akce s míčem, výskoky, osobní souboje, krátké akcelerace, změny směru a další (Smodlaka 1978, Rohde & Espersen, 1988, Ali & Farrally, 1991, Bangsbo 2014). Hráči anglické Premier League provedou během zápasu okolo 700 obrátů a okolo 110 akcí s míčem (Bloomfield et al., 2007).

Pokles sprintérských úseků, celkové metráže absolvované vysokou intenzitou a celkovým počtem naběhaných metrů během druhého poločasu ve srovnání s poločasem prvním ukazuje, že v průběhu zápasu výkon hráčů negativně ovlivňuje postupně narůstající únava (Reilly & Thomas, 1979; Bangsbo et al., 1991; Bangsbo, 1994; Mohr et al., 2003). Týká se to hráčů jak elitní, tak „subelitní“ výkonnosti.

Podle různých autorů dosahuje průměrná hodnota tepové frekvence (TF) během utkání 85 % maxima a nejvyšší hodnoty TF (98 %) se maximu blíží (Reilly & Thomas, 1979; Ekblom, 1986; Ali & Farrally, 1991; Bangsbo, 1994). Energetické nároky posuzované podle spotřeby kyslíku se během utkání pohybují v průměru na 70 % VO_{2max} (Ekblom, 1986).

Během utkání provedou elitní hráči 150 až 250 krátkých akcí vysoké intenzity, vyžadujících okamžité krytí energetických nároků (Mohr et al., 2003). To může nabídnout pouze rezerva kreatinfosfátu (CP), resp. rozštěpení makroergní fosfátové vazby CP. K jeho obnově může dojít vzápětí v průběhu pohybové aktivity nižší intenzity (Bangsbo, 1994). Přímé stanovení obsahu CP ve svalových biopsiích 15 až 30 vteřin po takových intenzivních zápasových činnostech ukázalo, že obsah CP dosahoval jen 75 % výchozí úrovně. Lze předpokládat, že během této doby mohla proběhnout poměrně rychlá resyntéza CP a že pokles CP mohl být daleko hlubší. Po opakovaných úsecích vysoké intenzity může pravděpodobně CP klesnout i na méně než 30 % výchozí úrovně (Krustrup et al., 2006).

Laktacidémie (LA) po utkání svědčí o podílu anaerobního glykolytického mechanismu na krytí energetických nároků. Záleží samozřejmě na tom, s jak velkým odstupem od zatížení tohoto typu byl proveden odběr krve k analýze a jaký byl charakter zátěže vyšetřeného hráče v závěru utkání. Naměřené hodnoty LA se proto pohybují v širokém rozmezí 2 až 10 mmol/l s individuálními ma-

ximy okolo 12 mmol/l (Krustrup et al., 2006). I tyto nálezy ukazují, že v průběhu zápasu dochází ke zvýšené produkci svalového laktátu. Hodnoty svalového laktátu v bioptických vzorcích odebraných během přátelského utkání amatérských mužstev dosahovaly čtyřnásobně úrovně ve srovnání s výchozím stavem (tj. 15 mmol/kg d.w.) s maximem 35 mmol/kg d.w. v jednom případě (Krustrup et al., 2006). Pokud byly zachyceny vysoké hodnoty laktacidémie během zápasu (Bangsbo, 1994; Ekblom, 1986; Krustrup et al., 2006), jednalo se spíše o odezvu na opakovanou sérii intenzivních herních zátěží než o reakci na jednorázovou zátěž anaerobního charakteru. Zátěže tohoto typu však během zápasu nejsou nijak výjimečné.

UYČERPÁNÍ GLYKOGENU BĚHEM FOTBALOVÉHO UTKÁNÍ

Rozhodující podíl na krytí energetických nároků v průběhu fotbalového utkání má aerobní glykolytický a lipolytický systém. U intenzivnějších běžeckých úseků se uplatňují jako zdroj energie glycidy reprezentované glykogenovými depy. U úseků absolvovaných v poklusu, chůzi či výjimečně pasivním stáním se mohou uplatnit triglyceridy a mastné kyseliny mobilizované z tukových rezerv. Řada studií vycházejících z přímého stanovení obsahu svalového glykogenu v bioptických vzorcích potvrzuje předpoklad výrazného poklesu glykogenových rezerv v průběhu utkání v důsledku výrazného uplatnění těchto rezerv při krytí metabolických nároků svalové práce.

Golnick et al. (1973) zjistili, že nepřetržitá vytrvalostní zátěž vede již během 50 minut k úplnému vyčerpání glykogenu v pomalých vláknech, po dvouhodinové zátěži jsou téměř vyčerpány rezervy i ve vláknech rychlých.

Saltin (1973) pozoroval významný pokles glykogenových rezerv téměř k nulovým hodnotám během prvního poločasu v případě, že výchozí úroveň glykogenových rezerv byla nízká. Hráči, u nichž byl výchozí obsah glykogenu na uspokojivé úrovni, tj. okolo 100 mmol/kg w.w., měli v poločase ještě dostatečnou rezervu, i ti však končili zápas s prakticky vyprázdněnými rezervami (okolo 10 mmol/kg w.w.).

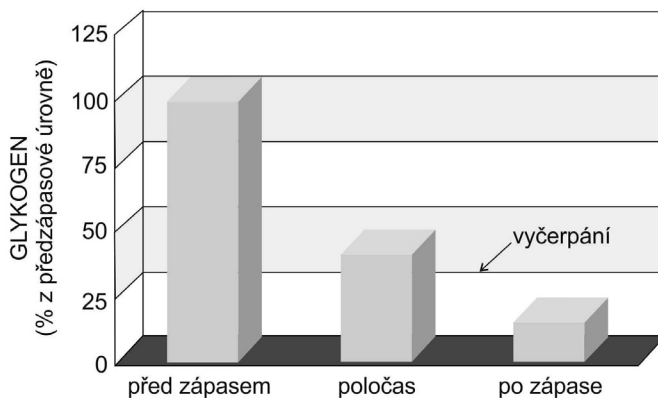
Že se utkání dohrává s vyprázdněnými glykogenovými rezervami, neplatí pochopitelně obecně. Vždy záleží na pozici a úkolech hráče v mužstvu, na kvalitě soupeře, nasazení, výchozí úrovni glykogenových rezerv, také na klimatických podmínkách, hydrataci a dalších faktorech. Proto řada dalších autorů po utkání nenašla tak výrazné vyčerpání glykogenových rezerv a jejich pozápasové hodnoty se pohybovaly okolo 40 až 65 mmol/kg w.w. (Jacobs et al. 1982, Krustrup et al., 2006). V každém případě však pokles glykogenových rezerv navozuje výrazný pocit únavy (Krustrup et al., 2006).

Podle Agnevik (1970) jsou na hráči patrné známky vyčerpání nejpozději poté, co výchozí úroveň glykogenu poklesne pod 25 % výchozí úrovně. Již během prvního poločasu lze očekávat pokles ke 40 % předzápasového stavu, ve druhém poločase dochází k dalšímu poklesu, který výrazně negativně ovlivní herní výkon. (Obr. 3).

Významný a výkon ovlivňující pokles svalového glykogenu během opakovaných sprintérských výkonů potvrdili také Saltin (1973), Nevill et al. (1993) a další autoři.

Při utkání v kopané dojde k vyčerpání glykogenových rezerv v obou typech svalových vláken, tedy jak pomalých, tak rychlých. Bendiksen et al. (2012) konstatovali, že po utkání došlo k úplnému nebo téměř úplnému vyčerpání glykogenových rezerv (pod 20 % mmol/kg w.w.) u 80 % vláken. Sprintérský výkon se v testu 2 × 20 m po simulovaném utkání zhoršil o 7 %. Na zhoršení rychlostních schopností v souvislosti s vyčerpáním glykogenových rezerv v rychlých vláknech typu II upozornili také Greenhaff et al. (1994) a Bangsbo et al. (1994).

Ve svalovém vlákně je většina glykogenu rozptýlena v intermyofibrilárním prostoru (IMF glykogen) v těsném sousedství sarkoplasmatického retikula a mitochondrií (IMF glykogen), menší



Obr. 3 Úbytek glykogenu v kosterním svalu během fotbalového zápasu ve srovnání s výchozí úrovní v % (dle Agnevik, 1970)

frakce glykogenu se nachází mezi kontraktilními filamenti v myofibrilách (Intra-glykogen) a sub-sarkolemálním prostoru těsně pod povrchovou membránou svalového vlákna (SS glykogen). K poklesu svalového glykogenu dochází u všech uvedených frakcí, pokles glykogenu v oblasti sarkoplasmatického retikula negativně ovlivňuje schopnost přesouvat vápníkové ionty (Ca^{2+}), a tím postihuje kontraktilní schopnosti svalu (Nielsen et al., 2011). Zajistit dostatečnou dodávku glycidů před výkonem a během výkonu tak má základní význam pro udržení energetického potenciálu svalu.

Vyčerpání svalového glykogenu nemá jen dopad na energetické zásobárny svalu, ale také na činnost centrálního nervového systému. Vyčerpání glykogenových rezerv vede ke zhoršení v přesnosti provedení technických prvků, ke zhoršení rozhodovacích schopností a je provázáno vyšším rizikem zranění (Rahnama et al., 2002; Nybo, 2003; Jensen & Richter 2012; Gejl et al., 2014; Medina et al., 2014). V závěrečných fázích zápasu tak hráči, kteří si dokáží udržet svalový glykogen, jsou schopni výrazněji uplatnit své sprintérské schopnosti, zvládnout hru ve vysokém nasazení a přehrát více vyčerpaného soupeře (Mohr et al., 2003). Dopřát hráčům přiměřenou dodávku glycidů před utkáním a během něho patří k zásadám strategie, jak oddálit nástup únavy.

VLIV NÍZKÉHO OBSAHU GLYKOGENU VE SVALU NA VÝKON

K obdobným výsledkům docházejí i další autoři, zabývající se problematikou výkonnosti hráčů týmových sportů, kde významnou roli hrají opakované úseky s vysokou až maximální intenzitou, střídané úseky relativně „odpočinkovými“ (ragby, americký fotbal, lední hokej, florbal, vodní pólo a další). Akermark et al. (1996) u ligových hráčů ledního hokeje naměřili velmi nízké hodnoty svalového glykogenu po ligovém zápase. Tři dny po zápase byl o 45 % vyšší vzestup svalového glykogenu u hráčů s vysoce glycidovou stravou ve srovnání s hráči s „normální“ stravou. Pokles glykogenu po následujícím zápase byl u skupiny s glycidovou stravou ve srovnání s výchozí úrovní výraznější, avšak nedosahoval takové úrovně jako u kontrolní skupiny, u níž byla dosažená úroveň ještě nižší. U skupiny s glycidovou stravou byl dosažen významně vyšší výkon při utkání, posuzovaný počtem naježděných metrů a dobou nasazení na ledě.

Balsom et al. (1999) porovnali vliv glycidové stravy na výkony hráčů v průběhu fotbalového zápasu. U skupiny s 65% podílem glycidů v denní výživové bilanci naměřili jednak významně vyšší

obsah svalového glykogenu ve srovnání se skupinou s pouhým 30% podílem glycidů ve výživě, jednak také zaznamenali o 33 % více pohybových aktivit vysoké intenzity během zápasu. U technických prvků během zápasu rozdíly nebyly, nebyly ani rozdíly v hladině laktátu.

Zmírnit negativní dopad poklesu glykogenu v zatěžovaných svalech na výkon hráče během utkání lze dvojím způsobem. Jednou z možností je zvýšit obsah glykogenových rezerv pomocí některé z výživových strategií v kombinaci s vhodnou úpravou tréninkového zatížení (Saltin & Hermansen, 1967, Karlsson & Saltin, 1971, Marquet et al., 2016).

Druhou možností je optimální konzumace glycidů ve vhodné úpravě před zápasem a také v průběhu zápasu. Totéž platí i pro zatížení tréninkové, dostupnost občerstvení v podobě glycidové suplementace během tréninku není nijak limitována. Doporučení, jak optimálně doplnit glykogenové rezervy, lze nalézt řadu (Blom et al., 1986; Coyle et al., 1986; Leatt and Jacobs 1989; Ivy 1988; Baker et al., 2015, Thomas et al. 2016). Podrobný rozbor jídelníčku však může ukázat, že glycidy ve stravě hráčů nesplňují požadované množství, což se pak promítá do nižší úrovně glykogenových rezerv (Jacobs et al., 1982, McInerney et al., 2005).

Hráči by měli konzumovat zvýšené porce na glycidy bohatých jídel, případně glycidových doplňků již v tréninku, zejména pokud je tréninková zátěž kondičně zaměřená. Případný deficit může doplnit dávka glycidů ve výši 2,5 g/kg tělesné hmotnosti, požitá nejpozději tři hodiny před utkáním. Časový odstup od začátku zápasu je důležitý, neboť příliš vysoké množství zejména jednoduchých glycidů v období 15 až 45 minut před zápasem může naopak vyvolat zvýšené vyplavení inzulínu s následnou hypoglykemií (Wilmore & Costill, 1994).

V průběhu zápasu (případně také tréninku) lze zpomalit vyčerpání glykogenových rezerv konzumací cca 60g glycidů za hodinu, podávaných v menších dávkách. Lze tím udržet svalový glykogen na úrovni umožňující podávat maximální výkon po celé utkání až do závěru. Glycidy mohou být podány v různé formě, tedy např. jako tyčinky müsli, jako gely, žvýkačky bonbóny či v nápojové formě. I v těchto formách dochází k jejich rychlému a efektivnímu využití (Pfeiffer et al., 2010). Během zápasu je někdy obtížné tato doporučení dodržet, je proto nutné mít glycidové doplňky připravené a využít předem neplánovaných přerušení hry k rychlému občerstvení. Tím spíše to platí o přestávce mezi poločasy.

Při kombinaci glycidů, elektrolytů a dalších látek v nápojích je třeba určitě opatrnosti. Kingsley et al. (2014) porovnali účinek tří druhů nápojů na výkon při simulovaném fotbalovém utkání. Při pití nápoje obsahujícího vedle glycidů a elektrolytů také kofein sice hráči dosahovali nejlepších výsledků ve sprinterských úsecích, byla však zaznamenána také nejvyšší dehydratace. Vyšší tzv. oxidační účinnost (Jeukendrup, 2004) vykazují nápoje obsahující kombinaci několika glycidů, a tím využívající k absorpci v trávicím traktu lépe glycidové transportní kapacity (Jentjens et al., 2004).

OBNOVA SVALOVÉHO GLYKOGENU

V průběhu tréninkového procesu a zejména v situacích, kdy hráče čeká několik zápasů s krátkými odstupy mezi sebou, je třeba pečovat o co nejefektivnější doplnění glykogenových rezerv po jejich vyčerpání jak tréninkovém (Costill et al., 1971, Williams 2014), tak zejména zápasovém. Je proto třeba co nejdříve po výkonu hráči zabezpečit dostatečnou nabídku glycidy bohatých potravin (Ivy 1988; Casey et al. 2000). Pokud se k takové nabídce hráč dostane až s několikahodinovým odstupem, obnova glykogenových rezerv se výrazně zpomalí (Ivy, 2004).

I přes časnou nabídku glycidy bohatých potravin může být obnova zejména svalového glykogenu pomalejší, než při zátěžích cyklického vytrvalostního charakteru. Časté přerušení pohybové aktivity v týmových sportech (tzv. „stop-go“ aktivity) je spojeno s prvky výrazně excentrické svalové zátěže a případného mikrotraumatického poškození svalu. Obnova energetického potenciálu je tím

negativně ovlivněna (Asp et al., 1998). Jacobs et al. (1982) uvedli, že k obnově glykogenu po utkání nedošlo ani po 48 hodinách, ačkoliv hráči konzumovali 8 g/kg tělesné hmotnosti glycidů denně. Podle Krustrupa et. (2011) došlo k obnově původní úrovně glykogenových rezerv u fotbalistů po zápase až po 72 hodinách, přestože konzumovali vysoce glycidovou stravu.

Obnova svalového glykogenu probíhá nejrychleji v prvních dvou hodinách po výkonu (MacDougal et al., 1977). Konzumace glycidů ve výši 9 g/kg tělesné hmotnosti po intenzivní přerušované zátěži vede k rychlejší obnově sprintérské výkonnosti než obvyklá konzumace glycidů ve výši 5 g/kg tělesné hmotnosti (Nicholas et al., 1997). Po přerušovaných zátěžích sprintérského charakteru se zdá, že rychleji dochází k obnově glykogenových rezerv v rychlých vláknech (Piehl 1974).

Jacobs (1988) zdůraznila, že vyčerpání glykogenových rezerv během utkání je významným faktorem únavy, která pak ovlivňuje výkon hráče. Již pokles na 50 % výchozí úrovně svalového glykogenu výrazně snižuje schopnost anaerobně krýt metabolické nároky vysoce intenzivní zátěže pomocí anaerobní glykolýzy (Jacobs 1981). Upozornila, že často nebývá výchozí úrovně svalového glykogenu dosaženo ani 24 hodin po výkonu a jako příčinu uvádí malou pozornost, kterou mužstva problematice obnovy svalového glykogenu výběrem vhodné výživy věnují.

Vedle glukózy a jejích polymerů je při resyntéze svalového a jaterního glykogenu stejně efektivní i sacharóza, tedy běžně dostupný komerční cukr řepného či třtinového původu (Wallis & Wittekind, 2013).

Podle některých doporučení je vhodné přidávat v časném zotavném období ke glycidovým zdrojům také proteiny, které mohou napomáhat resyntéze glykogenu a urychlit obnovu funkční kapacity svalu. Ačkoliv některé studie toto tvrzení nepodporují (Gunnarson et al., 2013; Betts & William, 2010), zdá se, že doplnění vysoce glycidové stravy o proteiny může přinejmenším zvýšit chuťovou toleranci potravin, i když resyntéza glykogenu má obdobný průběh jako bez proteinové suplementace (Williams & Rollo, 2015).

Podání glycidů se středním až vysokým glykemickým indexem (GI) hned po zátěži využívá pohotovosti buněk co nejrychleji doplnit jaterní a svalové glykogenové zásobárny, a to rychleji, než při podání glycidů s nízkým glykemickým indexem (Burke et al., 1993, Burke et al., 2004). Příkladem potravin s vysokým GI nad 70 jsou kukuřičné lupínky, vařené brambory, předvařená rýže, med, burizony, bramborové lupínky, glukóza aj., příkladem glycidů s nízkým GI pod 55 většina ovoce a zeleniny, ořechy, tmavá rýže, fruktóza, černý chléb, jogurt aj. Pokud občerstvovací nápoje obsahují kombinaci glycidů a elektrolytů, dochází nejen k obnově glycidových rezerv, ale také k postupné rehydrataci. Doplnění nápojů o proteiny může přispět ke zmírnění příznaků opožděné svalové bolestivosti (DOMS), které provázejí výkon v řadě týmových sportů (Cockburn et al., 2010). Přidáním proteinů k potravě po náročné zátěži navíc poskytuje substrát ke zvýšené pozátěžové proteosyntéze (Philips, 2011; Pasiakos et al., 2014).

Naléhavost problému s obnovou energetického potenciálu svalu narůstá v případě utkání jdoucích po sobě v krátkém časovém sledu či v případě nastavení nebo prodloužení normální hrací doby. Opakovaně byly zaznamenány nízké úrovně obsahu svalového glykogenu již před utkáním, související s nedostatečnou výživovou strategií po předchozím vyčerpání (Hawley et al., 1994). Vhodná suplementace glycidovými doplňky výživy během utkání může vést až k 39% úspoře svalového glykogenu s významným výkonovým a výsledkovým přínosem – hráči naběhali více metrů v průběhu 2. poločasu a zaznamenali více vstřelených a méně obdržených branek.

ZÁVĚRY

Fotbalisté často nemají ve výživě dostatečné zastoupení glycidů. Náročné pohybové aktivity s přerušovanými úseky vysoké intenzity, jak je tomu u fotbalu a řady dalších týmových sportů, mají

za následek postupný pokles výkonnosti do značné míry v důsledku vyčerpání svalového glykogenu. Během tréninku a nejlépe i během zápasu se doporučuje dodávat 60 až 90 g glycidů za hodinu v podobě nápojové, polotuhé (gely) nebo pevné. Konzumace nápojů s obsahem glycidů a elektrolytů ovlivňuje výkon hráče v několika směrech: zvyšuje pohybovou výkonnost (u fotbalistů počet naběhaných metrů) a udržuje sprintérské schopnosti a technické dovednosti až do konce utkání.

Bohatá nabídka glycidů okamžitě po zátěži je základním předpokladem úspěšné a rychlé regenerace (Curie et al. 1981). Promyšlený výživový režim po zátěži a před následující zátěží je důležitý jednak při náročném dvoufázovém tréninku, jednak při rychlém sledu utkání s krátkým intervalem mezi nimi. K obnově glykogenových rezerv po náročné zátěži je zapotřebí dodat 9–10 g glycidů na kg tělesné hmotnosti. V kombinaci s proteiny lze dosáhnout zmírnění pozátěžových příznaků opožděné svalové bolestivosti. Sestavit optimální jídelníček by měl u týmů vrcholné výkonnosti kvalifikovaný výživový poradce s přihlédnutím k výživovým a chuťovým zvyklostem jednotlivých hráčů. Vedle obnovy glykogenových rezerv však k základním předpokladům dokonalé regenerace patří také rehydratace a přiměřený odpočinek (Williams 2014).

Je třeba připomenout, že ATP potřebná k zajištění energetických nároků se v lidském těle za klidových podmínek obnovuje rychlostí 9×10^{20} molekul za vteřinu. Představuje to okolo 65 kg ATP denně u dospělého člověka. Při intenzivní pohybové činnosti je nutnost obnovy ATP ještě podstatně vyšší (Rich P., 2003). Takový výkon není myslitelný bez dokonalé funkce mitochondriálního dýchacího řetězce, který tvoří terminální fázi aerobního katabolického procesu známého jako buněčné dýchání. Jedná se o elektronový transportní řetězec, na jehož konci vzniká napříč membránou tzv. protonový gradient, umožňující za účasti ATP-syntázy vznik ATP (Barrientos et al., 2009). Předpokladem správné funkce mitochondriálního dýchacího řetězce je optimální dodávka glukózy a mastných kyselin, poskytujících v citrátovém cyklu příp. pomocí beta-oxydace energii potřebnou k obnově ATP.

Reference

- Agnevik, G. (1970), *Fotboll. Rapport Indrottsfysiologi* (Football: Exercise physiology). Stockholm: Trygg-Hansa.
- Akermark, Ch., Jacobs, I., Rasmusson, M., & Karlsson, J. (1996), Diet and muscle glycogen concentration in relation to physical performance in Swedish elite ice hockey players. *International Journal of sports nutrition*. 6: 272–284.
- Ali, A., & Farrally, M. (1991), Recording soccer players' heart rates during matches. *Journal of sports science*. 9(2): 183–189.
- Ali, A., & Williams, C. (2009), Carbohydrate ingestion and soccer skill performance during prolonged intermittent exercise. *Journal of sports sciences* 27(14), 1499–1508.
- Asp S., Daugaard J., Kristiansen S., Kiens B., & Richter E. (1998), Exercise metabolism in human skeletal muscle exposed to prior eccentric exercise. *Journal of physiology*, 509, 305–313.
- Baker, L. B., Rollo, I., Stein, K. W., & Jeukendrup, A. E. (2015), Acute effects of carbohydrate supplementation on intermittent sports performance. *Nutrients*. 7(7): 5733–5763.
- Balsom, P. D., Wood, K., Olsson, P., & Ekblom, B. (1999), Carbohydrate intake and multiple sprint sports: with special reference to football (soccer). *International Journal of Sports Medicine*, 20(1): 48–52.
- Bangsbo, J. (1994), Energy demands in competitive soccer. *Journal of Sports Sciences* 12, S5–S12.
- Bangsbo, J. (1994), The physiology of soccer – with special reference to intense intermittent exercise. *Acta physiologica scandinavica. Supplementum* 619: 1–155.
- Bangsbo, J. (2014), Physiological demands of football. *Sports Science Exchange*, 27(125): 1–6.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006), Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports science* 24(7): 665–674.
- Bangsbo, J., Nørregaard, L., & Thorsø, F. (1991), Activity profile of competition soccer. *Canadian journal of sport sciences = Journal canadien des sciences du sport*, 16: 110–116.
- Barrientos, A., Fontanesi, F., & Díaz, F. (2009), Evaluation of the mitochondrial respiratory chain and oxidative phosphorylation system using polarography and spectrophotometric enzyme assays. *Current protocols of human genetics: Chapter: Unit* 19.3.
- Bendixsen, M., Bischoff, R., Randers M. B., Mohr, M., Rollo, I., Suetta, C., Bangsbo J. & Krstrup P. (2012), The Copenhagen Soccer Test: physiological response and fatigue development. *Medicine and science in sports and exercise* 44(8), 1595–1603.
- Betts, J. A., & Williams, C. (2010), Short-term recovery from prolonged exercise: exploring the potential for protein ingestion to accentuate the benefits of carbohydrate supplements. *Sports medicine* 1; 40(11): 941–959.

- Blom, P., Costill, D. L., & Vollestad, N. K. (1986), Factors affecting changes in muscle glycogen concentration during and after prolonged exercise. *Acta physiologica scandinavica*, 128, Supplementum 556: 67–74.
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007), Physical demands of different positions in FA Premier league soccer. *Journal of sports science and medicine* 6(1), 63–70.
- Burke, L. M., Collier, G. R., & Hargreaves, M. (1993), Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feedings. *Journal of applied physiology*, 75, 1019–1023.
- Burke, L. M., Kiens, B & Ivy, J. L. (2004), Carbohydrates and fat for training and recovery. *Journal of Sports Sciences*, 22, 15–30.
- Casey, A., Mann, R., Banister, K., Fox, J., Morris, P. G., Macdonald, I., & Greenhaff, P. L. (2000), Effect of carbohydrate ingestion on glycogen resynthesis in human liver and skeletal muscle, measured by ¹³C MRS. *American journal of physiology*, 278: E65–E75
- Cockburn, E., Stevenson, E., Hayes, P., Robson-Ansley, P., & Howatson, G. (2010), Effect of milk-based carbohydrate-protein supplement timing on the attenuation of exercise-induced muscle damage. *Applied physiology nutrition and metabolism*, 35: 270–277.
- Costill, D. L., Bowers, R., Branam, G., & Sparks, K. (1971), Muscle glycogen utilization during prolonged exercise on successive days. *Journal of applied physiology*, 31 (6), 834–838.
- Curie, D., Bonen, A., Belcastro, A. N., Kirby, R. L., Souper, M., & Richards, A. L. (1981), Glycogen utilization and circulating substrate responses during match play soccer and soccer training sessions [abstract]. *International journal of sports medicine*, 2: 271.
- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hemmert, M. K. & Ivy, J. L. (1986), Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *Journal of applied physiology* 61(1): 165–172.
- Eklom B. (1986), Applied physiology of soccer. *Sports medicine*, 3: 50–60.
- Esposito, F., Impellizzeri, F. M., Margonato, V., Vanni, R., Pizzini, G, & Veicsteinas A. (2004), Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *European journal of applied physiology*, 93(1–2): 167–172.
- Gatorade SS Institute, Carbohydrate: The Football Fuel. Sports science exchange. June 2014.
- Gejl, K. D., Hvid, L. G., Frandsen, U., Jensen, K., Sahlin, K., & Ortenblad, N. (2014): Muscle glycogen content modifies SR Ca²⁺ release rate in elite endurance athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(3): 496–505.
- Golnick, P. D., Armstrong, R. B., Saubert, C. W., Sembrowich, W. L., Shepherd, R. E. & Saltin, B. (1973), Glycogen depletion patterns in human skeletal muscle fibres during prolonged work. *Pflügers Archiv*, 344: 1–12.
- Greenhaff, P. L., Nevill, M. E., Soderlund, K., Bodint, K., Boobis, L. H., William, C., & Hulman, E. (1994), The metabolic responses of human type I and II muscle fibres during maximal treadmill sprinting. *Journal of physiology* 478(1): 1249–155.
- Gunnarsson, T. P., Bendiksen, M., Bischoff, R., Christensen P. M., Lesivig, B., Madsen K., Stephens F., Greenhaff P, Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2013), Effects of whey protein- and carbohydrate-enriched diet on glycogen resynthesis during the first 48 h after a soccer game. *Scandinavian journal of medicine and science in sports* 23(4): 508–515
- Hawley, J. A., Dennis, S. C., & Noakes, T. D. (1994), Carbohydrate, fluid, and electrolyte requirements of the soccer player: a review. *International Journal of Sports Nutrition*, 4(3): 221–236.
- HSS Nutrition (2016): A Guide to Proper Nutrition for Football Players. September 18.
- Ingebrigtsen, J., Bendiksen, M., Randers, M. B., Castagna, C., Krstrup, P., & Holtermann, A. (2012), Yo-Yo IR2 testing of elite and sub-elite soccer players: performance, heart rate response and correlations to other interval tests. *Journal of sports sciences*. 30(13): 1337–1345.
- Ivy, J. L., Lee, M. C., Brozinick, Jr., J. T., & Reed, M. J. (1988), Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *Journal of applied physiology*, 65: 2018–2023.
- Ivy, J. (1988), Glycogen resynthesis after exercise: effect of carbohydrate intake. *International journal of sports medicine*. 19: S142–S145.
- Ivy, J. (2004), Maximizing muscle and glycogen synthesis. In: Ivy J., Portman R.: *The performance zone. Your nutrition action plan for greater endurance and sports performance*. Basic Health Publication Inc., 2004. ISBN13 (EAN): 9781591201489
- Jacobs, I. (1981), Lactate, muscle glycogen and exercise performance in man. *Acta physiologica scandinavica* 495: 1–35.
- Jacobs, I. (1981), Lactate concentration after short, maximal exercise at various glycogen levels. *Acta physiologica scandinavica* 111(4): 465–469.
- Jacobs, I. (1988), Nutrition for the elite footballer. In: Reilly, T., Lees, K., Davids K., & Murphy, W. J. (eds.), *Science and football*. New York, Routledge, 23–32.
- Jacobs, I., Westlin, N., Karlsson, J., Rasmusson, M., & Houghton, B. (1982), Muscle glycogen and diet in elite soccer players. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 48(3), 297–302.
- Jensen, T. E., & Richter, E. A. (2012), Regulation of glucose and glycogen metabolism during and after exercise. *Journal of physiology*, 590 (Pt 5), 1069–1076.
- Jeukendrup, A. E. (2004), Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition* 20, 669–677.
- Jentjens, R. L., Venables, M. C., Jeukendrup, A. E. (2004), Oxidation of exogenous glucose, sucrose and maltose during prolonged cycling exercise. *Journal of applied physiology*, 96(4), 1285–1291.
- Karlsson, J., & Saltin, B. (1971), Diet, muscle glycogen, and endurance performance. *Journal of applied physiology* 31(2), 203–206.
- Kigsley, M., Penas-Ruiz, C., & Terry, C. (2014): Effects of carbohydrate-hydration strategies on glucose metabolism, sprint performance and hydration during a soccer match simulation in recreational players. *Journal of science and medicine in Sport* 17 (2), 239–243.

- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2006), Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 38 (6), 1165–1174.
- Krustrup, P. N., Ortenblad, N., Nielsen, J., Nybo, L., Gunnarsson, T. P., Isis, F. M., Madsen, K., Stephens, F., Greenhaff, P., & Bangsbo, J. (2011), Maximal voluntary contraction force, SR function and glycogen resynthesis during the first 72 hours after a high-level competitive soccer game. *European journal of applied physiology* 111, 2987–2995.
- Leatt, P. B. & Jacobs I. (1989), Effect of glucose polymer ingestion on glycogen depletion during a soccer match. *Canadian journal of sports sciences* 14 (2), 112–116.
- MacDougall, J. D., Ward, G. R., Sale, D. G., & Sutton, J. R. (1977), Muscle glycogen repletion after high-intensity intermittent exercise. *Journal of applied physiology* 42: 963–967.
- Mann, J., & Truswell A.S. (eds.) (2002), *Essentials of human nutrition*. Oxford; New York: Oxford University Press.
- Marquet, L. A., Hausswirth, C., Molle, O., Hawley J. A., Burke, L. M., Tiollier, E., & Brisswalter, J. (2016), Periodization of carbohydrate intake: Short-Term Effect on Performance. *Nutrients* 25, 8(12), E755.
- McInerney, P., Lessard, S. J., Burke, L. M., Coffey, V. G., Lo Giudice, S. L., Southgate, R. J., & Hawley, J. A. (2005): Failure to repeatedly supercompensate muscle glycogen stores in highly trained men. *Medicine and science in sports and exercise* 37(3), 404–411
- Medina, D., Lizarraga, A., and Drobnick, F. (2014), Injury prevention and nutrition in football. *Sports science exchange*. 27, 132, 1–5.
- Mohr, M., Krustrup, P., & Bangsbo, J. (2003), Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sports sciences* 21(7), 519–528.
- Nevill, M. E., Williams, C., Roper, D., Slater, C., & Nevill, A. M. (1993); Effect of diet on performance during recovery from intermittent sprint exercise. *Journal of sports sciences*, 11(2), 119–126.
- Newsholme, E., & Leech, T.: *The Runner* (1984), Fitness Books. Roosevelt, N.J., Walter L. Meagher.
- Nicholas, C., Green, P., Hawkins, R., & Williams, C. (1997), Carbohydrate intake and recovery of intermittent running capacity. *International journal of sports nutrition* 7, 251–260.
- Nielsen, J., Holmberg, H.-Ch., Schröder H. D., Saltin, B., & Ørtenblad, N. (2011), Human skeletal muscle glycogen utilization in exhaustive exercise: role of subcellular localization and fibre type. *Journal of physiology* 589 (Pt 11), 2871–2885.
- Nybo, L. (2003), CNS fatigue and prolonged exercise: effect of glucose supplementation. *Medicine and science in sports and exercise* 35 (4), 589–594.
- Pasiakos, S., Lieberman, H., & McLellan, T. (2014), Effect of protein supplements on muscle damage, soreness and recovery of muscle function and physical performance: a systematic review. *Sports medicine* 44, 665–670.
- Philips, S. (2011), Exercise and protein nutrition: the science of muscle hypertrophy: making dietary protein count. *Proceedings of the nutrition society* 70, 100–103.
- Piehl, K. (1974), Time course for refilling of glycogen stores in human muscle fibres following exercise-induced glycogen depletion. *Acta physiologica scandinavica* 90(2), 297–302.
- Rahnama, N., Reilly, T., & Lees, A. (2002), Injury risk associated with playing actions during competitive soccer. *British journal of sports medicine* 36(5), 354–359.
- Reilly, T., & Thomas, V. (1979), Estimated energy expenditures of professional association footballers. *Ergonomics* 22, 541–548.
- Reilly, T., & Williams, A. M. (2003), *Science and soccer*. New York, Routledge.
- Rich, P. (2003), Chemiosmotic coupling: The cost of living. *Nature* 421, 583.
- Rohde, H. C., & Espersen, T. (1988), Work intensity during soccer-match play. In: Reilly, T., Lees, A., Davids, K., Murphy, W. J. (eds.), *Science and football*. London/New York, E & FN Spon, 68–75.
- Saltin, B. (1973), Metabolic fundamentals in exercise. *Medicine and science in sports and exercise* 5(3), 137–146.
- Saltin, B., & Hermansen, L. (1967), Glycogen stores and prolonged severe exercise. In: Blix, G. (ed.): *Nutrition and physical activity*. Uppsala, Almqvist and Weksells.
- Smodlaka, V. J. (1978), Cardiovascular aspects of soccer. *Physician and sports medicine* 18, 66–70.
- Thomas, D. T., Erdman, K. A., & Burke L. M., Academy of Nutrition and Dietetics, American College of Sports Medicine, and Dietitians of Canada (2016). Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *Journal of the academy of nutrition and dietetics*. 116, 3: 501–528.
- Wallis, G. A, Wittekind, A. (2013), Is there a specific role for sucrose in sports and exercise performance? *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 23, 571–583.
- Williams, C. (2014), Recovery from exercise: role of carbohydrate nutrition. *Movement, health & exercise*, 3, 1–13.
- Williams, C., & Rollo, I. (2015), Carbohydrate nutrition and team sports performance. *Sports science exchange* 28, 140: 1–7.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1994), *Physiology of sport and exercise*. Champaign, Ill., *Human Kinetics*.

Korespondující autor:

MUDr. Jaroslav Novák, Ph.D.,
Ústav tělovýchovného lékařství Lékařské fakulty v Plzni
Univerzita Karlova v Praze
Lidická 6, 301 00 Plzeň
novakj@lfp.cuni.cz