

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

Výkonnostní aspekty maratonu: vliv silového tréninku na výkon a ekonomiku běhu  
Bakalářská práce

Autor: Pavel Grepl, tělesná výchova a sport

Vedoucí práce: Mgr. Filip Neuls, PhD.

Olomouc 2019

**Jméno a příjmení autora:** Pavel Grepl

**Název bakalářské práce:** Výkonnostní aspekty maratonu: vliv silového tréninku na výkon a ekonomiku běhu

**Vedoucí bakalářské práce:** Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

**Rok obhajoby bakalářské práce:** 2019

**Abstrakt:** *Úvod* Dlouhé maratonské distance si získaly oblibu u široké veřejnosti a ze stovek maratonských závodů po celém světě se tak staly události s masovou účastí. Silový trénink bývá na úkor velkého tréninkového objemu opomíjen, byť má zřejmě pozitivní vliv na výkon a ekonomiku běhu. *Cíl* Hlavním cílem této bakalářské práce je vytvořit systematický přehled randomizovaných kontrolovaných studií zkoumajících vliv silového tréninku na běžecký výkon a ekonomiku běhu maratonce. *Metodika* Práce je psaná jako systematický přehled, pro vyhledávání byla využita databáze MEDLINE. Ze 149 studií spadajících do vyhledávací strategie bylo vybráno 13 pro finální analýzu. *Výsledky* Většina studií dokládá pozitivní efekt silového tréninku na výkon a ekonomiku běhu. Nebyl sledován nárůst tělesné hmotnosti. Nebyl zaznamenán signifikantní rozdíl výsledků plyometrického a silového tréninku. *Závěry* Silový trénink má pozitivní vliv na ekonomiku běhu a výkon u maratonských běžců ve všech jeho zde uvedených formách. Měl by figurovat v tréninkovém plánu nejméně dvakrát týdně po dobu nejméně šesti týdnů (lépe více) beze změn běžeckého tréninku.

**Klíčová slova:** silový trénink, sportovní trénink, vytrvalostní běh, systematický přehled

**Author:** Pavel Grepl

**Title of the bachelor thesis:** The Performance Aspects of Marathon: The Effects of Strength Training on Running Performance and Running Economy

**Supervisor:** Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

**Department:** Department of natural sciences in kinanthropology

**The year of presentation:** 2019

**Abstract:** *Background* Long marathon distances became popular among the general public and marathons all over the world grew into events with massive attendance. Strength training is often ignored because of the enormous running volume. Despite that, it seems to be useful for enhancing the running performance and the running economy. *Objectives* The aim of this bachelor thesis is to make a systematic review using randomized controlled trials which deal with the effects of strength training on the running performance and the running economy. *Methods* The thesis is a systematic review. The electronic database, MEDLINE, was used as a searching tool. a total of 149 studies were generated (with a help of a searching strategy) and 13 of them were chosen for further analysis. *Outcomes* Most studies suggest a positive effect of strength training on the running performance and the running economy. No increase of body weight was observed in connection with strength training, as well as no differences were suggested when it came to the impact of plyometric and strength training. *Conclusion* Strength training in every form has a positive effect on the running performance and the running economy of marathon runners. Therefore, it should be included in a training plan at least twice a week for at least 6 weeks (the longer period the better) without any other change in training.

**Key words:** strength training, sports training, endurance running, systematic review

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Filipu Neulsovi, PhD. a konzultantu doc. Aleši Gábovi, PhD. za pomoc a cenné rady při zpracovávání bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně s odbornou pomocí Mgr. Filipa Neulse, PhD. a konzultanta doc. Aleše Gáby, PhD. uvedl všechny literární a odborné zdroje a řídil se zásadami vědecké etiky.

---

jméno a příjmení autora

# Obsah

|                 |                                                      |           |
|-----------------|------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b>       | <b>ÚVOD .....</b>                                    | <b>8</b>  |
| <b>2.</b>       | <b>PŘEHLED POZNATKŮ.....</b>                         | <b>9</b>  |
| <b>2.1.</b>     | <b>HISTORIE.....</b>                                 | <b>9</b>  |
| <b>2.2.</b>     | <b>MARATON JAKO SPORTOVNÍ DISCIPLÍNA.....</b>        | <b>10</b> |
| <b>2.2.1.</b>   | <b>ENERGETICKÉ SYSTÉMY .....</b>                     | <b>11</b> |
|                 | ATP-CP SYSTÉM.....                                   | 11        |
|                 | ANAEROBNÍ GLYKOLÝZA.....                             | 12        |
|                 | AEROBNÍ OXIDACE GLUKÓZY A TUKŮ .....                 | 13        |
| <b>2.2.2.</b>   | <b>DETERMINANTY VYTRVALOSTNÍHO VÝKONU .....</b>      | <b>14</b> |
| <b>2.2.2.1.</b> | <b>MAXIMÁLNÍ SPOTŘEBA KYSLÍKU .....</b>              | <b>14</b> |
| <b>2.2.2.2.</b> | <b>SVALOVÁ VLÁKNA .....</b>                          | <b>15</b> |
|                 | POMALÁ OXIDATIVNÍ VLÁKNA (SO—SLOW OXIDATIVE) .....   | 16        |
|                 | RYCHLÁ GLYKOLYTICKÁ VLÁKNA (FG—FAST GLYCOLYTIC)..... | 16        |
|                 | RYCHLÁ OXIDATIVNÍ VLÁKNA (FO—FAST OXIDATIVE) .....   | 16        |
| <b>2.2.3.</b>   | <b>VÝŽIVA .....</b>                                  | <b>17</b> |
|                 | SACHARIDY .....                                      | 18        |
|                 | LIPIDY .....                                         | 18        |
|                 | PROTEINY .....                                       | 18        |
|                 | VÝŽIVA MARATONSKÝCH BĚŽCŮ.....                       | 19        |
|                 | SACHARIDOVÁ SUPERKOMPENZACE.....                     | 20        |
| <b>2.2.3.1.</b> | <b>HYDRATACE A TERMOREGULACE.....</b>                | <b>21</b> |
| <b>2.2.3.2.</b> | <b>SUPLEMENTY.....</b>                               | <b>24</b> |
| <b>2.2.4.</b>   | <b>REGENERACE .....</b>                              | <b>26</b> |
|                 | MASÁŽE.....                                          | 27        |
|                 | VÍŘIVÉ VANY .....                                    | 27        |
|                 | FOAM ROLLING .....                                   | 28        |
|                 | ZKLIDNĚNÍ .....                                      | 29        |
|                 | SPÁNEK.....                                          | 29        |
|                 | SAUNOVÁNÍ.....                                       | 29        |
|                 | OCHLAZOVÁNÍ VE STUDENÉ VODĚ.....                     | 30        |
| <b>2.2.5.</b>   | <b>ZDRAVÍ.....</b>                                   | <b>30</b> |

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| KŘEČE.....                                         | 32        |
| IMUNITA .....                                      | 32        |
| <b>2.2.6. TRÉNINK.....</b>                         | <b>34</b> |
| OBJEM.....                                         | 35        |
| INTERVALOVÝ TRÉNINK.....                           | 35        |
| SILOVÝ TRÉNINK.....                                | 36        |
| PLYOMETRICKÝ TRÉNINK .....                         | 36        |
| <b>2.2.7. EKONOMIKA BĚHU .....</b>                 | <b>37</b> |
| <b>3. CÍLE A VÝZKUMNÉ OTÁZKY .....</b>             | <b>38</b> |
| <b>3.1. HLAVNÍ CÍL.....</b>                        | <b>38</b> |
| <b>3.2. DÍLČÍ CÍLE.....</b>                        | <b>38</b> |
| <b>3.3. VÝZKUMNÉ OTÁZKY.....</b>                   | <b>38</b> |
| <b>4. METODIKA PRÁCE .....</b>                     | <b>39</b> |
| <b>5. VÝSLEDKY .....</b>                           | <b>42</b> |
| <b>5.1. CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH STUDIÍ.....</b>  | <b>42</b> |
| <b>5.2. CHARAKTERISTIKA ÚČASTNÍKŮ STUDIE .....</b> | <b>42</b> |
| <b>5.3. DESIGN STUDIÍ .....</b>                    | <b>43</b> |
| <b>5.4. POROVNÁNÍ VYBRANÝCH STUDIÍ.....</b>        | <b>43</b> |
| <b>6. DISKUZE.....</b>                             | <b>50</b> |
| <b>6.1. APLIKACE DO PRAXE .....</b>                | <b>51</b> |
| <b>6.2. LIMITY PRÁCE .....</b>                     | <b>51</b> |
| <b>6.3. BUDOUCÍ MOŽNOSTI .....</b>                 | <b>51</b> |
| <b>7. ZÁVĚRY .....</b>                             | <b>52</b> |
| <b>8. SOUHRN .....</b>                             | <b>53</b> |
| <b>9. SUMMARY .....</b>                            | <b>54</b> |
| <b>10. REFERENČNÍ SEZNAM .....</b>                 | <b>55</b> |

## 1. Úvod

Běh se stal v posledních letech celosvětovým trendem. Dlouhé vytrvalostní distance získaly oblibu u široké veřejnosti a ze stovek maratonských závodů po celém světě se tak staly události s masovou účastí. Tím vzrůstá množství rekreačních běžců, jejichž informovanost a odbornost vedení tréninku neodpovídá náročnosti této sportovní disciplíny pro lidský organismus. Snahou dosáhnout svých cílů si tak mohou přivodit zdravotní komplikace.

Světový rekord v maratonu se pořád přibližuje k hranici 2 hodin, a to zejména díky vědeckým poznatkům z oblasti fyziologie a biomechaniky, které pomáhají zlepšovat ekonomiku běhu a zvyšovat udržitelnost sportovního tréninku.

Motivací pro výběr tématu této bakalářské práce bylo vytvořit ucelený, česky psaný přehled, který by pomohl českým běžcům se zorientovat v aktuálních trendech vyplývajících z nejnovějších studií a při přípravě na závod. Velmi opomíjená bývá silová složka tréninku vytrvalců, která může předcházet zranění a zlepšit výkonové aspekty vytrvalostního běhu.



## 2. Přehled poznatků

### 2.1. Historie

Kořeny vytrvalostního běhu sahají do dávných dob, vzhledem k nenáročnosti na vybavení a přirozenosti pohybu se faktický začátek provozování této sportovní disciplíny dá jen těžko určit. Běh patří mezi přirozené lokomoce, takže jej člověk využíval vždy ve chvílích nebezpečí, když potřeboval utéct nebo lovit potravu.

Maraton je město ležící na poloostrově Attika v Řecku 40 kilometrů severovýchodně od Atén. Legenda o poslovi běžícím z Maratonu do Atén sahá až do roku 490 před naším letopočtem, kdy v jedné z nejslavnějších bitev porazila aténská armáda armádu Peršanů. „Řecký posel jménem Filippus (či Fiddippos) měl uběhnout úsek mezi maratonskou planinou a Aténami, aby občanům hlavního města zvěstoval zprávu o vítězství. Když svůj úkol splnil, zhroutil se na zem a zemřel hrdinskou smrtí“ (Narducci, Quercetani, Magnani, & Škorpil, 2005, 8).

Literatura se rozchází ve výkladu legendy, jiné zdroje uvádí rozdílná jména posla i vzdálenost, kterou běžel. s bitvou u Maratonu se váže ještě jedna legenda spjatá s vytrvalostním během. Posel Feidippides měl běžet pro posily z Atén do Sparty vzdálenost 246 km, kterou měl údajně zvládnout do 24 h. Vojska však dorazila na pomoc o den později. Legenda tak dala za vznik závodu jménem Spartathlon.

Atraktivita sportovní disciplíny vychází z legendy, která stojí za jejím vznikem. Myšlenka okouzila Michaela Bréala, francouzského lingvistu a přítele Pierra de Coubertina. „Bréal mu poradil: Proč do programu olympijských her nezařadit i běh z Marathonu do Athén, na oslavu byť diskutabilní antické epizody?“ (Narducci et al., 2005, 8). „Coubertin sice viděl těžkosti tohoto projektu, zároveň si však uvědomoval, že se v Aténách nesmí zapomenout na nic, co by připomenulo slavné události dávné Hellady. Když návrh oznámil Řekům, ti ho s nadšením realizovali“ (Kršák, 1979, 32). Od roku 1896 je maratonský běh na programu olympijských her. „Ženy vstoupily na maratonské kolbiště zhruba o třicet let později, i když existují zmínky o ojedinělých pokusech i v datech dřívějších“ (Narducci et al., 2005, 11). Na olympijských hrách měl maraton v podání žen premiéru v roce 1984 v Los Angeles.

Délka maratonu se v průběhu let měnila, pohybovala se okolo 40 km, přesná vzdálenost se prvně běžela na olympijských hrách v Londýně v roce 1908. „Toho roku vedl maraton olympijských her po trati, jež probíhala od královského zámku ve Windsoru až na londýnský stadion White City“ (Narducci et al., 2005, 10). Cíl se nacházel před lóží královny Alexandry,

proto ten den museli závodníci uběhnout 42,195 km. Tuto vzdálenost uznala roku 1921 Světová atletická federace za oficiální (Chalfen, 2014).

## 2.2. Maraton jako sportovní disciplína

Běhy o různých délkách jsou samy o sobě sportovními disciplínami v atletice, kromě toho je běh součástí mnoha dalších sportů. Jedná se o cyklický pohyb, což znamená, že se zde pravidelně opakují stejné pohyby, respektive běžecký dvojkrok.

Běžet 42,195km je jedna z největších výzev ve sportu (Burke, 2007). Lidé mají výjimečnou schopnost běhat dlouhé vzdálenosti v suchém a horkém počasí. Tyto schopnosti, unikátní napříč primáty a výjimečné mezi savci, vychází z řady fyziologických vlastností, které umožňují efektivně ukládat a uvolňovat energii a překonat nároky na termoregulaci během dlouhých běhů (Lieberman & Bramble, 2007).

Maraton se řadí mezi vytrvalostní disciplíny, vytrvalost je obecně chápána jako schopnost dlouhodobě provádět tělesnou práci určité intenzity, bez snížení její efektivity (Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnánek, 2017) nebo jako schopnost odolávat únavě (Perič & Dovalil, 2010). „Druhým úkolem vytrvalosti jsou vysoce rozvinuté zotavovací schopnosti“ (Perič & Dovalil, 2010, 106). Vytrvalost se dále dělí podle:

- *Účasti svalových skupin:*
  - **Celková**–pracují obvykle více než 2/3 svalstva–např. běh, bruslení, plavání;
  - **Lokální**–pohybu se účastní méně než 1/3 svalů–opakovaná střelba z místa v basketbalu atd.
- *Typu svalové kontrakce:*
  - **Dynamická**–v pohybu (např. běh na lyžích);
  - **Statická**–bez pohybu (např. udržení určité pozice těla–pozice jezdce při dostizích).
- *Podle délky trvání (považuje se za základní hledisko dělení):*
  - **Dlouhodobá**–délka trvání 8–10 minut a více, energetický je zajišťována ze zóny O<sub>2</sub>;
  - **Střednědobá**–její délka trvání je v rozmezí 3–8 minut a energeticky je zabezpečována LA-O<sub>2</sub> zónou;
  - **Krátkodobá**–doba trvání je kolem 2–3 minut, energetické zabezpečení je prostřednictvím LA zóny;

- *Rychlostní*—je v délce trvání do 20 sekund a energeticky zajišťována zónou ATP-CP.
- *S ohledem na podíl energie uvolněné aerobně a anaerobně:*
  - *Aerobní*
  - *Anaerobní*
- *Je-li vytrvalost spojena s rozvojem jiné pohybové schopnosti, mluvíme např. o silové vytrvalosti, rychlostní vytrvalosti atd. (Perič & Dovalil, 2010)*

Na vytrvalostní výkon můžeme nahlížet z různých stran. Do výkonu vstupuje mnoho proměnných, jak vnější, které ovlivňují činnost organismu, tak vlastní výkonnost organismu. Pro vytrvalostní sportovce je typické zvětšení tepového objemu, snížení klidové tepové frekvence a hypertrofie srdce. Dochází k většímu prokrvení svalů a zvyšuje se množství mitochondrií a myoglobinu. „Běh posiluje dýchací svalstvo, zlepšuje funkčnost plic a tím vytváří předpoklady pro lepší přenos kyslíku do tkání a k orgánům“ (Tvrzník, Škorpil, & Soumar, 2006, 67).

### 2.2.1. Energetické systémy

Významnou roli ve výkonu sportovce hraje skutečnost, jak získává energii pro svalovou práci. To se odvíjí jak od charakteru zatížení, tak od stavu fyzické kondice. „Energetických zdrojů je více a vzájemně se ovlivňují. Některé vystačí na delší dobu, jiné zase zajišťují kratší, intenzivnější pohyby“ (Tvrzník et al., 2006, 59). Byť ve vytrvalostním běhu figuruje zejména aerobní metabolismus, pro úplnost budou zmíněny všechny metabolické dráhy.

„Organismus má k dispozici tři základní energetické cesty, jak zabezpečit poptávku pracujících svalů po dostatečném množství energie ve formě ATP, ať už anaerobně (bez přístupu O<sub>2</sub>) či aerobně (za spotřeby O<sub>2</sub>)“ (Botek et al., 2017, 21),

#### *ATP-CP systém*

„Krátkodobé intenzivní výkony (sprint, vzpírání těžkých vah) je možno po omezenou dobu provádět anaerobně, tj. bez přístupu kyslíku. Během prvních sekund svalové práce je nejprve energie pro pohyb čerpána rozkladem malých zásob ATP uložených ve svalů“ (Grasgruber & Cacek, 2008, 10). „Molekula adenosintrifosfátu (ATP) se skládá z dusíkaté báze (adenin), pětiuhlíkatého monosacharidu (D-ribóza) a tří anorganických fosfátů (Pi)“ (Botek et al., 2017, 23). Energie vzniká odštěpením jednoho fosforu za vzniku adenosindifosfátu. „První energetický zdroj pro resyntézu ADP na ATP je kreatinfosfát (CP), což je látka přítomná v našem organismu také v malém množství, a proto i tento systém stačí

pouze pro časově velmi krátkou svalovou činnost“ (Tvrzník et al., 2006, 59). „Tyto reakce jsou dominantním zdrojem energie po dobu prvních 5–6 sekund a na rozdíl od anaerobní glykolýzy při nich nevzniká laktát“ (Grasgruber & Cacek, 2008, 10).

### *Anaerobní glykolýza*

„Anaerobní rozklad glukózy se rozjíždí pouze s malým zpožděním po ATP-CP systému a už po cca 6 sekundách se podíl obou systémů vyrovnává (Grasgruber & Cacek, 2008, 11). Tento energetický systém je pomalejší, než ATP-CP systém, neboť se skládá z mnoha biochemických reakcí. „Substrátem pro anaerobní glykogenolýzu je svalový glykogen, pokud je zdrojem krevní glukóza přestupující do svalu, hovoříme o glykolýze. Touto cestou tedy mohou být zpracovávány pouze sacharidy“ (Botek et al., 2017, 25). „Systém se uplatňuje v situacích, kdy je intenzita běhu tak vysoká (téměř maximální), že nelze pracujícím svalům dodávat dostatek kyslíku...“ (Tvrzník et al., 2006, 61) .

*„Při produkci energie anaerobní glykolýzou se ve svalů hromadí laktát, a to i přes jeho rychlé vyplavování do krve a další metabolizaci v játrech a ledvinách (tam je použit při syntéze glukózy), nepracujících svalech či v srdci (přeměněn na pyruvát)“ (Grasgruber & Cacek, 2008, 11).*

Při nedostatečné rychlosti zpracovávání laktátu způsobují disociované ionty pokles pH, který ovlivňuje funkce svalu a způsobuje svalovou bolest. Rychlost vyrovnání hladiny pH ovlivňují pufrční mechanismy, jejichž funkce závisí na intenzitě a délce trvání pohybové aktivity. Hranicí je anaerobní práh. Pod jeho úrovní převažuje odbourávání laktátu, na jeho úrovni je rovnováha tvorby a metabolizace, a nad úrovní převažuje tvorba.

*„Malé množství laktátu se tvoří i v klidu (klidový obsah La v krvi 1–1,1 mmol.l<sup>-1</sup>, ve svalů 1–2 mmol.kg<sup>-1</sup>). Při maximální zátěži trvající alespoň 1 min toto množství ale velmi výrazně vzroste na 25–30 mmol.kg<sup>-1</sup> ve svalů, resp. 10–20 mmol.l<sup>-1</sup> v krvi“ (Botek et al., 2017, 27).*

Pokud dojde při velmi intenzivní pohybové aktivitě k nahromadění laktátu a následnému poklesu pH pod 6,4, potom přestává fungovat anaerobní metabolismus, což vede k silné acidóze, která dráždí nervová zakončení, které způsobují pálení a bolest svalů. v takové situaci sportovec „tuhne“ a není schopen dále vykonávat pohybovou aktivitu (Botek et al., 2017). Po skončení fyzické zátěže tohoto charakteru trvá 20–180 minut, než dojde k obnovení homeostáze resp. zracování přebytečného laktátu (Tvrzník et al., 2006).

### *Aerobní oxidace glukózy a tuků*

„Při výkonech trvajících déle než cca 60–70 sekund dominuje jako zdroj svalové energie oxidace glukózy (tj. štěpení glukózy za přítomnosti kyslíku)“ (Grasgruber & Cacek, 2008, 14). „Aerobní metabolismus představuje pomalejší, ale energeticky efektivnější cestu tvorby ATP, která je alaktátová (nevznikají během ní kyselé metabolity)“ (Botek et al., 2017, 30). Aby mohla oxidativní fosforylace v elektronovém transportním řetězci proběhnout, je zapotřebí kyslík, adenosindifosfát a anorganický fosfát (Hargreaves & Spriet, 2006). Aerobní tvorba ATP probíhá v mitochondrii a zahrnuje dvě spolupracující metabolické cesty: Krebsův cyklus a elektronový transportní řetězec. Primární funkcí Krebsova cyklu je provést oxidaci sacharidů, tuků nebo proteinů za použití koenzymů NAD (nikotinamidadeninukleotid) a FAD (flavinadeninukleotid), kteří fungují jako přenašeči  $H^+$  a  $e^-$ . Při katabolismu makronutrientů vzniká pyruvát, MK, některé AK a další uhlíkaté řetězce. Konečným produktem elektronového transportního řetězce je ATP, metabolická voda a  $CO_2$  (Botek et al., 2017; Powers & Howley, 1997). z toho je tedy jasné, že aerobní způsob získávání energie je pro tělo ekonomičtější a udržitelnější po delší dobu (Botek et al., 2017).

Jako energetické substráty jsou využívány primárně sacharidy a tuky. Proteiny se významně nepodílí na tvorbě energie, nicméně jejich využití roste během dlouho trvajících hladovění a dlouhého úsilí (>90 min). v klidu pochází 70 % produkce ATP z tuků a 30 % ze sacharidů. Na začátku aktivity nebo s rostoucí intenzitou se podíl využívaných substrátů mění (Haff & Triplett, 2016; Tvrzník et al., 2006). k maximálnímu využití tuků při tvorbě ATP dochází na úrovni 55–75 %  $VO_{2max}$ , s přihlédnutím k individuálním aerobním schopnostem jedince. Botek et al. (2017) uvádí 55–65 %  $VO_{2max}$ . Během cvičení o vysoké intenzitě je téměř 100 % energie získáváno ze sacharidů, pokud jsou dostupné respektive doplňovány v průběhu aktivity, za minimálního přispění tuků a proteinů (Haff & Triplett, 2016). Na schopnost využívat tuky jako zdroje energie má vliv tréninkový status, intenzita cvičení, délka trvání, pohlaví a strava. Vytrvalostní trénink trvající déle než 2 h usnadňuje adaptace usnadňující metabolismus tuků (Purdom, Kravitz, Dokladny, & Mermier, 2018).

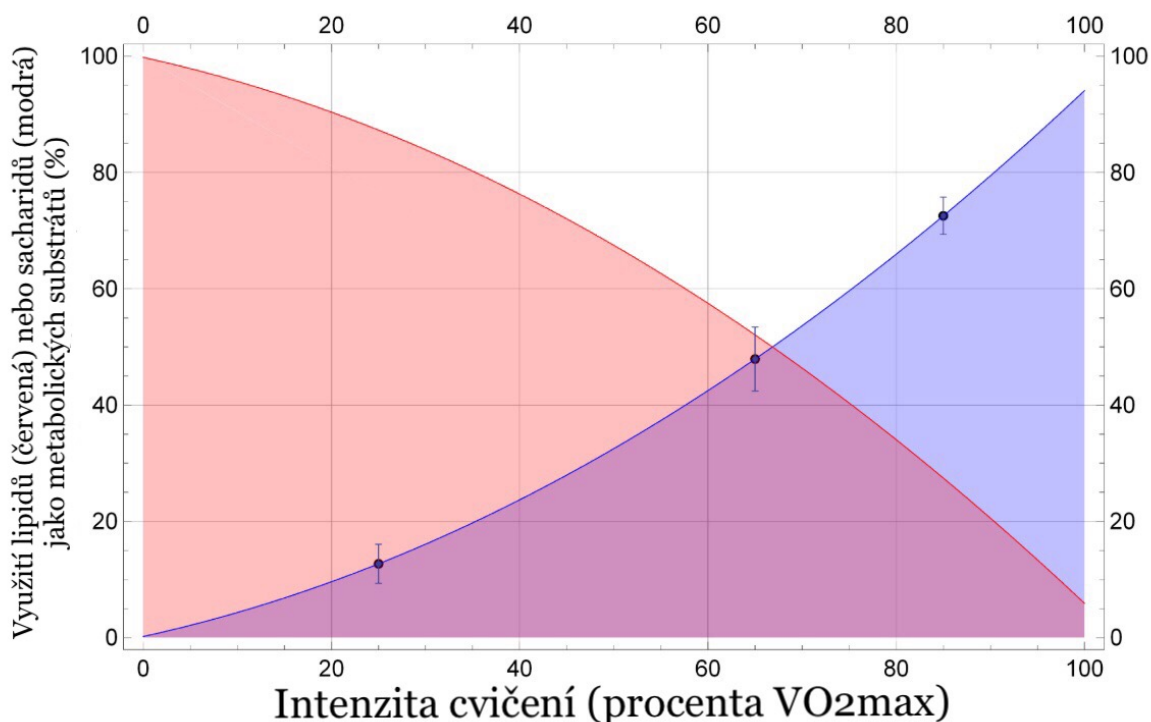
## 2.2.2. Determinanty vytrvalostního výkonu

### 2.2.2.1. Maximální spotřeba kyslíku

Zásadní vliv má na výkon u běžců na dlouhé tratě schopnost maximálního využití kyslíku. „Maximální příjem či spotřeba kyslíku představuje základní parametr zdatnosti a výkonnosti člověka, protože vyjadřuje horní limit aerobní zátěžové tolerance, odráží jak kapacitu plic, schopnost srdce a krve transportovat kyslík k pracujícímu svalstvu, tak i využití kyslíku ve svalstvu při zatížení“ (Heller, 2018, 43).

„Hodnota  $VO_2\max$  je definována jako maximální množství z objemu přijatého  $O_2$ , které je organismus schopen využít při maximální svalové práci“ (Botek et al., 2017, 114). „Více kyslíku spotřebovaného ve svalech znamená více energie vytvářené efektivním aerobním způsobem, méně odpadních látek a tím i vyšší výkon a oddálení únavy“ (Grasgruber & Cacek, 2008, 42). Hodnota je udávána v absolutních ( $l \cdot \min^{-1}$ ) nebo v relativních ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$ ) hodnotách. „Pro běh je vhodnější použít hodnoty toho parametru přepočtené na kg hmotnosti“ (Tvrzník et al., 2006, 68), „...což umožňuje vzájemné porovnání sportovců s odlišnou tělesnou hmotností“ (Botek et al., 2017, 115). „Úroveň  $VO_2$  se stanovuje při práci velkých svalových skupin zpravidla v progresivně stupňovaných zátěžových testech do ‚vita maxima‘, s využitím různých ergometrů, zpravidla na běhacím pásu nebo na

Obrázek 1. Vztah využití metabolických substrátů v závislosti na intenzitě (Rapoport, 2010)



bicyklovém ergometru“ (Heller, 2018, 44). Výběr ergometru značně ovlivňuje výsledky vzhledem k energetické náročnosti pohybu. v některých vytrvalostních sportech nemá laboratorní měření maximální aerobní kapacity takovou váhu, protože jedinec zapojuje jiné svalové skupiny v odlišném množství ve srovnání s jeho sportem. Výsledky  $VO_{2max}$  změřené na běžeckém ergometru kupříkladu bývají o 5–10 % (ale někdy až o 20 %) vyšší než na bicyklovém ergometru, protože se při běhu zapojuje více svalových skupin (Grasgruber & Cacek, 2008). s problémy s měřením se můžeme setkat například u plaveckých vytrvalců.

Hodnota  $VO_{2max}$  je tréninkem ovlivnitelná a je možné ji zvětšit v průměru o 20 % u vysoce predisponovaných sportovců při víceletém tréninku až o 50 %  $VO_{2max}$  (Lehnert et al., 2014). „Vyšší úroveň naší trénovanosti také znamená, že jsme stále více schopni hradit energetické nároky našeho organismu aerobní cestou (vyšší aerobní kapacita, což znamená, že se kyslíkový dluh začíná vytvářet až při vyšší intenzitě běhu“ (Tvrzník et al., 2006, 68).

*Průměrné hodnoty  $VO_{2max}$ . u fyzicky neaktivních mladých mužů se pohybují mezi 3–3,5  $l.min^{-1}$  (=cca 45–50  $kg^{-1}.min^{-1}$ ), u žen mezi 2–2,5  $l.min^{-1}$  (=cca 35–40  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ). Vrcholoví sportovci dosahují absolutních hodnot mezi 5–7  $l.min^{-1}$  (muži), resp. 3,5–5  $l.min^{-1}$  (ženy). Za vynikající je u mužů možno považovat relativní  $VO_{2max}$ . vyšší než cca 70  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ , u žen 60  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ . u špičkových vytrvalců se však setkáváme s hodnotami mezi 75–90  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ .... Nejvyšší hodnoty (na běžeckých ergometrech) byly naměřeny u běžců na lyžích (nejmenovaný švédský šampion dosáhl 94  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ !), (Grasgruber & Cacek, 2008).*

#### 2.2.2.2. Svalová vlákna

Výkon běžce značně ovlivňuje druh svalových vláken a jejich parciální zastoupení v těle. Máme 3 základní typy svalových vláken, které se liší například svojí unavitelností, reaktivitou, rychlostí stahu, průměrem a velikostí. „Pomalé vlákno potřebuje na dosažení maximálního zkrácení přibližně dvojnásobek času v porovnání s rychlým vláknem“ (Botek et al., 2017, 49). Janura (2007) uvádí jako odlišnosti stupeň aerobní kapacity a ATP aktivity, od čehož se odvíjejí výše zmíněné vlastnosti. „Sval zpravidla obsahuje všechny skupiny vláken ... v různém složení, které je určeno geneticky. Lidské svaly tedy nejsou složeny z jednoho typu svalových vláken ...“ (Janura, 2007, 47).

### *Pomalá oxidativní vlákna (SO–slow oxidative)*

Nebo též označovaná jako vlákna typu I, slouží pro dlouhotrvající opakující se kontrakce a podporují aktivity vytrvalostního charakteru, jako běh či cyklistika (Ehrman, Kerrigan, & Steven, 2018). Pomalá vlákna obsahují velké množství oxidativních enzymů (velké množství mitochondrií) a jsou výrazně kapilarizována. Díky tomu probíhá výměna O<sub>2</sub> mezi krví a červeným svalovým vláknem na mnohem větší ploše a tento dostatek kyslíku vede také k minimální tvorbě kyselých metabolitů (Botek et al., 2017). Velké množství myoglobinu, kapilár a mitochondrií je důvodem, proč jsou v kooperaci s aerobním metabolismem pomalá vlákna tak odolná vůči únavě (Powers & Howley, 1997). Obsahují velké zásoby triacylglycerolů, které jsou zásobní látkou pro vytrvalostní výkony. Rychlost stahu SO vláken dosahuje 70–140 ms (Grasgruber & Cacek, 2008).

„Červenou barvu jim propůjčuje vysoký obsah svalového myoglobinu (červeného barviva), který má podobnou funkci jako hemoglobin v krvi, tj. váže na svůj iont Fe<sup>2+</sup> O<sub>2</sub>. Pro sval znamená myoglobin určitou kyslíkovou rezervu, která se využívá v počáteční fázi zatížení“ (Botek et al., 2017, 49).

### *Rychlá glykolytická vlákna (FG–fast glycolytic)*

Jinak také vlákna typu IIb, mají velké předpoklady pro pohotovému poskytnutí energie pro rychlou a silnou kontrakci (McArdle, Katch, & Katch, 1991). Rychlost kontrakce dosahuje 20–50 ms, mají velké zásoby kreatinfosfátu a jsou označována jako bílá vlákna (Grasgruber & Cacek, 2008). Mají relativně malé množství mitochondrií a omezenou kapacitu pro aerobní metabolismus, ale jsou bohatá na glykolytické enzymy, což způsobuje velkou anaerobní kapacitu a větší množství vyprodukované energie (Powers & Howley, 1997). Rychlá glykolytická vlákna mají větší průřez a ve srovnání s pomalými vlákny i větší sklony k hypertrofii. Dokáží vygenerovat velké množství energie za krátký časový úsek, nicméně jsou rychle unavitelné, neboť podléhají acidóze (Botek et al., 2017). Ve sportech, jako jsou skoky či sprinty, anaerobní sporty, kde dominuje explozivní energie, je typ IIb důležitý. (Grasgruber & Cacek, 2008).

### *Rychlá oxidativní vlákna (FO–fast oxidative)*

Nebo také typ II, představuje průnik mezi vlákny I a IIb, má lepší oxidativní schopnosti než IIb, ale je rychleji unavitelný. „Jsou vlastně rychlými vlákny s velkým počtem mitochondrií a koncentrací aerobních enzymů“ (Botek et al., 2017, 50). Dosahují střední rychlosti smrštění 50–100 ms. Stejně jako u rychlých glykolytických vláken jsou hlavním



zdrojem glykogen a kreatinfosfát, které jsou uloženy i přímo ve svalu (Grasgruber & Cacek, 2008).

Rychlá oxidativní vlákna jsou velmi adaptabilní, což znamená, že při vytrvalostním tréninku může jejich oxidativní kapacita narůst až na úroveň pomalých vláken (Powers & Howley, 1997).

Struktura a vlastnosti svalových vláken jsou odlišné u trénovaných a netrénovaných jedinců. Příčný průřez svalu (vastus lateralis) u netrénovaných dosahuje  $4000 \mu\text{m}^2$ , přičemž u trénovaných až  $15\,000 \mu\text{m}^2$ . Stejně rozdíly bychom mohli sledovat i u hustoty prokrvení,  $300 \text{ kapilár} \cdot \text{mm}^{-2}$  u netrénovaných,  $400\text{--}500 \text{ kapilár} \cdot \text{mm}^{-2}$  u trénovaných (Grasgruber & Cacek, 2008).

Tvrzník (2006) uvádí, že ještě nebyla prokázána skutečnost, že by se svalová vlákna vlivem speciálního tréninku transformovala z jednoho typu na druhý, jako se spíše snižuje množství přechodných vláken na úkor rychlých či pomalých. Murach, Greever a Luden (2015) testovali na 16 rekreačních běžcích, jak se struktura jejich svalů (gastrocnemius lateralis a vastus lateralis) adaptuje na 12 týdnů maratonského tréninku. Zaznamenali signifikantní korelaci mezi sníženým množstvím laktátu a změnami zpeřenosti laterální hlavy gastrocnemia (nárůst o 17 %), dále se o 10 % zkrátila jeho fascie. u vastu lateralis nezaznamenali žádné změny.

Různorodost svalových vláken je důležitá nejenom pro to, abychom byli schopni vykonávat aktivity různého druhu (rychlostní, vytrvalostní, silové), ale také aby jednotlivé pohyby mohly být vykonávány přirozeně. Tehdy je na začátku pohybu nutné překonat moment setrvačnosti, který pohyb brzdí, je tedy třeba vyvinout krátkodobě větší sílu (Janura, 2007). „Sportovci vytrvalostního typu tak mají ve svých výkonných svalech převahu zastoupení pomalých oxidativních vláken (u maratonců až 80 %), u silových a rychlostních typů naopak převažují vlákna rychlá glykolytická (u sprinterů až 80 %) (Botek et al., 2017, 50).

### 2.2.3. Výživa

„Základním smyslem konzumace potravin je získávání dostatečného množství energie a stavebních látek pro udržení života. Energií nám poskytují chemické sloučeniny, které nazýváme nutrienty“ (Klimešová & Stelzer, 2013, 27). Tělo využívá sacharidy, tuky a proteiny pro udržení činnosti buněk během odpočinku i aktivit. Během cvičení jsou primárně pro tvorbu energie využívány sacharidy a tuky. Proteiny zastávají jen malé procento

jako energetický substrát (Powers & Howley, 1997). „Některé látky si organismus neumí vytvořit sám, musí je proto bezpodmínečně přijímat v potravě; jde o tzv. esenciální látky (vitamíny, esenciální MK a esenciální AK)“ (Botek et al., 2017, 9).

### *Sacharidy*

„Sacharidy (označovány nepřesně též jako karbohydráty, uhlohydráty či uhlovodany) patří mezi základní přirozené látky v rostlinných i živočišných organismech. Přírodní cestou vznikají pomocí sluneční energie z H<sub>2</sub>O a CO<sub>2</sub> v procesu fotosyntézy (v zelených rostlinách, řasách a sinicích)“ (Botek et al., 2017, 9). Základní molekulu jednoduchého cukru tvoří 3–7 molekul uhlíku s jednotlivě navázanými atomy vodíku a kyslíku. Nejtypičtějším cukrem je glukóza, kterou tvoří 6 atomů uhlíku, 12 atomů vodíku a 6 atomů kyslíku (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) (McArdle et al., 1991).

„Sacharidy jsou primárním zdrojem energie pro náš organismus, zejména pro náš mozek a také pro svaly při tělesné zátěži. Ve stravě jsou bohatě zastoupené například v obilovinách, zelenině, luštěninách. Ovoce je dobrým zdrojem zejména jednoduchých cukrů a vlákniny“ (Klimešová & Stelzer, 2013, 29).

### *Lipidy*

Lipidy se skládají ze stejných chemických prvků jako sacharidy, množství uhlíku a vodíku vůči kyslíku je u lipidů mnohem větší než u sacharidů. (C<sub>57</sub>H<sub>110</sub>O<sub>6</sub>) Uložený tuk je ideálním palivem pro dlouho trvající aktivity, protože 1 g tuků obsahuje 9 kcal, což je dvakrát více, než u sacharidů nebo proteinů. Lipidy jsou hydrofobní a jsou jak rostlinného, tak živočišného původu (Powers & Howley, 1997).

Mastné kyseliny jsou uchovávány v těle jako triglyceridy. Triglyceridy se skládají ze tří molekul mastných kyselin a jedné molekuly glycerolu. Největším úložištěm triglyceridů jsou tukové buňky, tyto molekuly jsou obsaženy v různých typech buněk včetně kosterního svalstva. v případě potřeby mohou být lipolýzou zpět rozloženy pro využití, jako energetického substrátu (Powers & Howley, 1997).

### *Proteiny*

„Proteiny (bílkoviny) jsou podstatou všech známých organismů“ (Botek et al., 2017, 10). Jsou složeny z mnoha malých komponent, jež se nazývají aminokyseliny (Powers & Howley, 1997). Tyto aminokyseliny jsou spojeny peptidovou vazbou do dlouhých řetězců v různých formách a chemických kombinacích tak, aby byly vytvořeny různé bílkovinné struktury (McArdle et al., 1991).

Podobně jako u sacharidů dělíme bílkoviny podle počtu aminokyselin na oligopeptidy (2–10 AK), polypeptidy (11–100 AK) a proteiny (více než 100 AK). Veškeré bílkoviny vznikají kombinací 20 (21) aminokyselin, přičemž 8 z nich je esenciálních, což znamená, že si je tělo neumí vytvářet samo, takže je musí přijímat potravou (Botek et al., 2017).

### *Výživa maratonských běžců*

Výživa je primárním faktorem pro maratonský běh. Vhodné stravování může maratonskému běžci pomoci při dosahování svých cílů v tréninku, stejně tak jako při výkonu během skutečného závodu (Burke, 2007).

Vytrvalostní trénink, zejména pak běh na dlouhé vzdálenosti, je spojen s velkým energetickým výdejem (Loucks, 2007). Nedostatečný příjem energie v porovnání s výdejem ohrožuje výkonnost a neguje tréninkový efekt (Goodson, Bullard, Glass, & Conrad, 2003). Energetický výdej různých typů cvičení je závislý na délce jeho trvání, frekvenci, intenzitě cvičení, pohlaví a na tom, jak vypadalo stravování sportovce v minulosti (Goodson et al., 2003). Při maratonském tréninku poskytují optimální výživu živiny, které zajistí dobré celkové zdraví běžce a maximalizují účinky maratonského tréninku. Vhodné časové rozvržení příjmu potravy před, během nebo po tréninku může pomoci snížit únavu, zlepšit adaptaci na trénink, výkonnost a maximalizovat zotavení (Goodson et al., 2003). Běžci jednoznačně těží ze stravovacích strategií, které jim umožňují udržovat dlouho trvající cvičení ve vysoké intenzitě a také z podnětů, které maximalizují adaptace, specifické pro maratonský trénink (Stellingwerff, 2013). Jednou z takových adaptací charakteristických pro zlepšení výkonu je maximalizovat množství uloženého svalového glykogenu a minimalizovat využití svalového a jaterního glykogenu, což je výhodou během zatížení (Jeukendrup, 2011), protože množství uchovávaných sacharidů je omezené, k vyčerpání svalového a jaterního glykogenu může dojít již po 90 minutách, což je spojeno s nástupem únavy a nutností snížit tempo běhu (Rapoport, 2010).

Kvalitu jídelníčku sportovce determinuje kalorická denzita, podíl makronutrientů, železa, vitamínu C, antioxidantů a živin, které modulují imunitní funkci (Goodson et al., 2003). Dalším výživovým faktorem, který může ovlivnit trénink a závod je přiměřená hydratace, zejména v podmínkách, jež usnadňují ztráty tekutin (Maughan, Watson, & Shirreffs, 2007).

Energie je během dlouhého běhu získávána převážně aerobně. Primárně se při maratonském běhu metabolizují sacharidy získávané ze svalového glykogenu a krevní glukózy, která se uchovává v játrech, stejně tak jako konzumované sacharidy a mastné

kyseliny pocházející z intramuskulárních triglyceridů a plasmových volných mastných kyselin, které jsou převážně metabolizovány z tukové tkáně (Spriet, 2007). Špičkoví maratonci, kteří uběhnou maraton s časem 2:20 (h:min) nebo méně, se spoléhají téměř výhradně na sacharidy, protože je jejich intenzita mezi 80 a 90 %  $VO_2max$  (Stellingwerff, 2013). Roli hraje zejména hmotnost, kdy metabolismus 54 kilogramového běžce je o 30 % efektivnější, než metabolismus 70 kilogramového. Teoretické výpočty podporují předpoklad, že lehčí běžci s dobrými zásobami glykogenu užívající sacharidy doplňující suplementy v průběhu závodu, budou schopni uběhnout celý maraton na energii získávanou ze sacharidů (Stellingwerff, 2013). Nicméně relativní přínos těchto substrátů je silně závislý na intenzitě zatížení, která je určena jak tempem běhu, tak trénovaností běžce. Rekreační běžec, který dokončí maraton v rozpětí 3,5 h a více se pohybuje v intenzitě 60–65 %  $VO_2max$ , kdy je až 60 % z celkové produkce energie získáváno oxidací mastných kyselin (Romijn et al., 1993). Moderní trendy ve stravování se odráží také ve výživových přístupech sportovců, vytrvalostní běžce nevyjímaje. v roce 2015 vědci testovali, jaký má vliv vegetariánství a veganství na kvalitu života vytrvalostních běžců. Výzkumný vzorek čítal 156 běžců a běžkyň stravujících se vegansky a vegetariánsky a 123 běžců a běžkyň, sloužících jako kontrolní skupina, kteří se stravovali jako všežravci. Nejvyšších hodnot dosahovali muži, nicméně ani u jednoho pohlaví nehrál stravovací přístup roli. Výsledky veganů, vegetariánů a všežravců se signifikantně nelišily, ale u žen hrála ještě vliv distance, na kterou se připravovaly. Ženy běžající půlmaraton dosáhly vyšších hodnot charakterizujících kvalitu života, než běžkyně běžající 10 kilometrů (Boldt et al., 2018).

Wilson (2016) potvrzuje různorodost ve stravování maratonských běžců. Vyzpovídal 422 lidí absolvujících maraton a zjišťoval, jak se stravují. 66,1 % uvedlo racionální stravu, 32,9 % uvedlo specifickou dietu. Například jako vegetarián/vegan/pescetarián se stravuje 9,2 %, paleo 3,8 %, bezlepkovou dietou 3,6 % nízkosacharidovou 2,8 %.

### *Sacharidová superkompensace*

Vzhledem k tomu, že je maraton relativně dlouhý závod, dochází během něj k velkému úbytku zásob glykogenu, což má za následek únavu. u běžců je často zmiňována tzv. maratonská zeď, kdy mají na 35. kilometru pocit, jako by „narazili do zdi. Proto se již od 60. let 20. století hledal způsob, jak tomuto jevu předcházet. První byl představen model skládající se ze sedmi dnů, kdy první 3–4 dny dochází k tvrdému tréninku, zatímco příjem sacharidů je omezený, načež následují 3–4 dny charakteristické zvýšeným příjmem sacharidů a laděním formy. Prvně metodu sacharidové superkompensace použil evropský šampion Ron

Hill. Věda však pokročila a superkompenzační strategie byly podrobeny dalšímu testování. Pro dobře trénované běžce stačí konzumovat 10–12 g.kg<sup>-1</sup>.den<sup>-1</sup> během 36–48 hodin před závodem. Pro kvalitní trénink vytrvalce je třeba doplňovat sacharidy i průběžně během dne v množství 7–12 g.kg<sup>-1</sup>.den<sup>-1</sup> (Burke, 2007). To je také zřejmě důvod, proč dokážou někteří běžci z východní Afriky absolvovat 220–280 km.týden<sup>-1</sup>, někdy dokonce prostřednictvím 3 tréninkových jednotek v jednom dni. Trenéři i atleti zaznamenali, že díky adekvátnímu příjmu sacharidů a tekutin mohou dosáhnout lepšího výkonu. Na druhou stranu Haile Gebreselassie zaběhl na Londýnském maratonu v roce 2002 čas 2:06:35, a to neužíval sportovní nápoje obohacené o sacharidy v tréninku ani při závodě, ten den pil pouze vodu. z jednoho případu se těžko dají vyvozovat závěry, ale v roce 2008 konzumoval na Berlínském maratoně Gebreselassie (váží 54 kg) 60–70 g sacharidů za hodinu rozpuštěných v 1 l tekutiny. Dosáhl času 2:03:59, což představuje zlepšení o 2 % (Stellingwerff, 2013). Výkonnost běžce nehraje v tomto případě roli. Wilson, Ingraham, Lundstrom, & Rhodes (2013) uvádí, že zvýšený příjem sacharidů má pozitivní vliv na výkon v maratonu i u rekreačních běžců či prvně se účastnících běžců.

Význam metabolismu sacharidů ve vytrvalostním výkonu ve vrcholovém pojetí potvrzuje také studie Stellingwerffa (2016), který sledoval výživu ultramaratonců, přičemž vítěz mistrovství světa v běhu na 100 km (cca 6,5 h) běžel na úrovni 74 % VO<sub>2</sub>max, což představovalo 74,9% podíl sacharidů na tvorbě energie.

Existuje mnoho různých výživových a tréninkových strategií, které vedou k maximalizaci svalového a jaterního glykogenu během maratonu, což vede ke zlepšení výkonu. (Stellingwerff, 2013) Enormní délka trvání a mechanické účinky pohybu extrémně zatěžují organismus, zejména pak zažívání. Konzumace nápojů a jídla ve správném množství, druhu a ve správný čas může tyto nepříznivé vlivy eliminovat a zmenšit tak riziko potíží trávicího traktu (Pfeiffer et al., 2012).

### 2.2.3.1. Hydratace a termoregualce

Jiným faktorem, jenž ovlivňuje vytrvalostní výkon, je adekvátní hydratace organismu, zejména v prostředí, které maximalizuje ztráty tekutin (Maughan et al., 2007). To úzce souvisí s termoregulací, protože velké ztráty tekutin jsou s ní úzce spojeny. Mezi lety 1960–1983 zemřelo 70 fotbalistů během zápasu. Důvodem bylo přehřátí organismu. Zdravotní potíže spojené s termoregulací se vyskytují i u atletů závodících na dlouhých distancích (McArdle et al., 1991). Tělo se snaží udržet tělesnou teplotu na hodnotě 37 °C

( $\pm 1$  °C). Vjemy z různých termoreceptorů jdou do termoregulačního centra (hypotalamu), umístěného v subkortikální části mozku. Během cvičení v horku se snižuje teplotní gradient mezi tělesnou teplotou a teplotou pokožky a mezi teplotou pokožky a okolní teplotou, což má za následek sníženou míru ztráty tepla. Mimoto, pokud je vysoká vlhkost vzduchu, je snižená schopnost ochlazování pokožky odpařováním. Výsledkem je nárůst tělesné teploty a pokles výkonnosti (Ehrman et al., 2018).

Ke zjištění ztráty tekutin je třeba, aby se běžec zvážil před výkonem a po něm, ideálně nahý na stejné váze. Ztráty tekutin jsou velmi individuální, každý běžec by měl znát ty své a dle toho zvolit vhodný stupeň hydratace. Většina vědeckých měření byla prováděna v podmínkách (vysoké teploty), které neodpovídají podmínkám, ve kterých se běžně konají maratony (Cheuvront, Montain, & Sawka, 2007). Běžná ztráta tekutin se při maratonu pohybuje okolo 0,7–1,8 l.h<sup>-1</sup>, ale u některých jedinců může dosáhnout až 3,7 l.h<sup>-1</sup> (Cheuvront & Haymes, 2006). Podrobnější hodnoty v závislosti na podmínkách jsou uvedeny v Tabulce 1.

Během aktivity bychom se měli snažit udržovat úroveň dehydratace pod hranicí 2 % z tělesné hmotnosti (Cheuvront et al., 2007; Maughan & Shirreffs, 2008). v případě, že je dehydratace očekávaná kvůli podmínkám prostředí či omezeným možnostem přijímat tekutiny v průběhu závodu, jsou hyperhydratační strategie na místě. Hyperhydratace se dá navodit příjmem dostatečného množství tekutin, obohaceným o sodík, aby se předešlo nárůstu močení (Shirreffs, Armstrong, & Cheuvront, 2004). Při příliš velkém příjmu tekutin neobohaceném o sodík může dojít k hyponatrémii, která se běžně projevuje dezorientací, slabostí nebo omdlením (plasma Na<sup>+</sup> <130 mmol.l<sup>-1</sup>) a při závažnějších případech (plasma Na<sup>+</sup> <126 mmol.l<sup>-1</sup>) může dojít k záchvatu, koma nebo smrti. u mnoha běžců je hyponatrémie bez vnějších projevů (Kipps, Sharma, & Pedoe, 2011). Sheherazade, Hesdianti, & Indrawan (2017) sepsali užitečné rady pro sportovce, kteří se musí vyrovnat s vysokými teplotami.

- 1) Výběr udržitelného závodního tempa: při vysokých teplotách je nezbytné zvolit pomalejší tempo, protože rychlost, která je běžci pro maraton přirozená se vlivem teploty okolí stává v pozdějších etapách závodu neudržitelná.
- 2) Volba vhodného oblečení: závodní oblečení by mělo být bílé, aby redukovalo vliv slunečního záření. Ponožky a boty by měly být vyzkoušeny při podobných teplotách, protože se zvyšující se produkcí potu roste šance vzniku puchýřů.
- 3) Pití dostatečného množství tekutin: nejenom pomocí nich doplňovat energii, tekutiny jsou také nezbytné pro udržení produkce potu a průtoku krve organismem.

**Tabulka 1.** Vliv podmínek na dehydrataci u maratonských běžců (Cheuvront & Haymes, 2006).

| ID  | Vzdálenost [km] | Populace [n] | Teplota prostředí a relativní vlhkost | MP [l.h <sup>-1</sup> ] | DEH [%] | PT [l.h <sup>-1</sup> ] | RT [°C]   | Rychlost [m.min <sup>-1</sup> ] |
|-----|-----------------|--------------|---------------------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|-----------|---------------------------------|
| T1  | 42,2            | M 1          | 10 °C                                 | 0,71                    | 2,13    | 0,33                    | 39,4      | 256                             |
|     |                 |              | 19 °C                                 | 1,44                    | 4,95    | 0,32                    | 39,6      | 254                             |
|     |                 |              | 22 °C                                 | 1,25                    | 3,65    | 0,47                    | 39,9      | 256                             |
| T2  | 42,2            | M 1          | 23,9–27,8 °C                          | 3,71                    | 8,1     | 0,84                    |           | 314                             |
| T3  | 42,2            | M 1          | 25,6 °C, 35 %                         |                         | 5,1     |                         |           |                                 |
| T4  | 42,2            | M 4          | 20,4 °C, 37 %                         | 1,52                    | 6,4     |                         | 39        | 266                             |
| T5  | 42,2            | M 8, F 3     | 16,1–22,5 °C 60–67 %                  | 1,17                    |         | 0,46                    | 39,1      | 216                             |
| T6  | 42,2            | F 1          | 18,1–20,5 °C                          |                         |         |                         | 39        | 180                             |
| T7  | 42,2            | M 18         | 13,1–13,7 °C, 99–100 %                | 0,95                    | 2,9     | 0,39                    |           | 203                             |
| T8  | 42,2            | M 9          | 21,7 °C, 69 %                         | 0,93                    | 3,3     | 0,45                    | 39,1      | 199                             |
| T9  | 42,2            | M 7          | 26 °C                                 | 0,7                     | 3,5     |                         |           | 142                             |
| T10 | 42,2            | M 6          | 21–26 °C, 50–60 %                     | 1,13                    | 3,7     | 0,42                    | 38,5      | 194                             |
| T11 | 42,2            | M 2          | 18,6 °C                               | 0,86                    | 2,9     | 0,54                    | 40,5      | 259                             |
| T12 | 42,2            | M 2          | 17,9 °C                               | 0,86                    | 3,1     | 0,35                    | 39,9      | 268                             |
| T13 | 42,2            | M 6          | 15–29 °C                              | 0,98                    | 4,3     | 0,19                    | 39,8      | 257                             |
| T14 | 42,2            | M 59         | 10,8–12,1 °C, 70–80 %                 | 0,74                    | 2,8     | 0,38                    | 38,8      | 191                             |
| T15 | 42,2            | M 62         | 6,6–11,8 °C                           |                         |         |                         | 38,7      | 198                             |
| T16 | 42,2            | M 47         | 10–12 °C                              |                         | 3       | 0,39                    |           | 194                             |
| T17 | 42,2            | M 20         | 13,7–16 °C                            |                         | 4,97    | 0,07                    |           | 303                             |
| T18 | 42,2            | M 6          | 17,5–20,4 °C                          | 0,99                    | 3,2     | 0,37                    | 39,5      | 194                             |
|     |                 | F 5          |                                       | 0,67                    | 2,92    | 0,28                    | 38        | 169                             |
| T19 | 42,2            | M 3          | 15,5–24,5 °C                          | 1,24                    | 4,7     | 0,37                    | 39,2      | 194                             |
| T20 | 42,2            | M 39, F 6    | 7,8 °C                                |                         |         | 0,41                    |           | 175                             |
| T21 | 42,2            | M 30         | 19–22 °C, 68 %                        | 1                       | 2,5     | 0,61                    | 38,9      | 204                             |
| T22 | 42,2            | M 10         | 15–19 °C                              | 1,27                    | 3,1     | 0,45                    | 38,3      | 250                             |
|     |                 | M 16         |                                       | 1,15                    | 2,4     | 0,49                    | 38,5      | 213                             |
|     |                 | M 32         |                                       | 0,94                    | 2,3     | 0,47                    | 38,8      | 183                             |
|     |                 | M 6          |                                       | 0,69                    | 1,6     | 0,42                    | 39        | 163                             |
| T23 | 42,2            | M 5, F 1     | 19 °C, 60 %                           |                         | 3,1     | 0,44                    |           | 210                             |
| T24 | 42,2            | M 56         | 22–23,5 °C, 52–58 %                   | 0,96                    | 5,2     | 0,13                    | 39        | 216                             |
|     |                 | M 4          |                                       | 1,32                    | 5,8     |                         | 40,6      | 259                             |
| T25 | 42,2            | M 83         | 6–24 °C, 45–85 %                      |                         | 3,4     | 0,15                    |           | 188                             |
|     |                 | F 31         |                                       |                         | 2,6     |                         |           | 182                             |
| T26 | 42,2            | M 1          | 19,6–21,4 °C, 52–60 %                 |                         | 5,4     |                         |           | 178                             |
| T27 | 42,2            | M 7          | 20,5 °C, 51 %                         | 1                       | 3,9     | 0,34                    | 38,6      | 220                             |
| T28 | 42,2            | M 6          | 10,6–15 °C, 48–67 %                   |                         |         |                         |           | 212                             |
|     |                 | F 4          |                                       |                         |         |                         |           | 237                             |
| T29 | 42,2            | M 90         | 10–12 °C, 70–80 %                     |                         | 2,9     | 0,373                   |           | 187                             |
| T30 | 40              | M 6          | 25–32 °C, 70–82 %                     | 1,71                    | 4       | 0,7                     | 40        | 230                             |
|     |                 | F 6          |                                       | 1,25                    | 3,9     | 0,57                    | 39,3      | 217                             |
| T31 | 40              | M 8          | 25–32 °C, 62–82 %                     | 1,8                     | 4,45    | 0,79                    | 40        | 231                             |
| T32 | 32              | M 10         | 23–30 °C, 25–26 %                     |                         | 6,97    |                         | 38,6      |                                 |
| T33 | 32              | M 31         | 9,1 - 17 °C, 29–96 %                  | 1,5 - 4,2               | 2–5     | 0,3 - 2,4               | 38,3–40,8 |                                 |
| T34 | 30              | F 6          | 14 °C, 64 %                           | 0,69                    | 2,5     | 0,47                    | 38,5      | 185                             |
|     |                 |              | 20 °C, 54 %                           | 0,8                     | 2,4     | 0,54                    | 38,6      | 185                             |
|     |                 |              | 29 °C, 55 %                           | 1,07                    | 2,8     | 0,7                     | 38,7      | 185                             |

Vysvětlivky: n = počet, MP = množství potu, DEH = dehydratace, PT = příjem tekutin, RT = rektální teplota po dokončení, M = muž, Ž = žena

Další fakta, jež autoři uvádějí:

- 1) Užívání opalovacího krému snižuje efektivitu termoregulace.
- 2) Efektivita termoregulace spálené kůže také klesá, tím pádem je důležité mít před závodem pokožku v pořádku.
- 3) Teplota na slunci a teplota ve stínu se mohou lišit až o 8 stupňů, takže je výhodné běžet ve stínu, pokud je možnost.

### 2.2.3.2. Suplementy

Vzhledem k charakteru sportovního výkonu v maratonu neexistuje mnoho doplňků, jež by prokazatelně podporovaly výkon v maratonu. Největší vliv má strava jako taková. Mezi látky, které ovlivňují aerobní vytrvalost, patří kofein v množství 2–3 mg.kg<sup>-1</sup>, který má erogenní účinky. Kofein má poločas rozpadu 3–5 h a měl by být konzumován 1 h před začátkem závodu. Pomalejší běžci by měli doplňovat kofein (1 mg.kg<sup>-1</sup>) po 2 hodinách závodu (Burke, 2008). Kofein je látka rozšířená po celém světě, konzumovaná přibližně u 90 % dospělých každý den. Redukuje únavu, podporuje bdělost a ostražitost. Vyskytuje se v různých pokrmech či nápojích, jež jsou volně dostupné (Tabulka 2). Dospělí, kteří přesáhnou dávku 6–9 mg.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> se mohou setkat s vedlejšími účinky, jako je chvění, zvýšený tep a zhoršení výkonnosti. u dětí platí to samé u denní dávky přesahující 2.5 mg.kg<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>(Burke, 2008).

**Tabulka 2.** Kofein obsažený ve volně dostupných produktech.  
Upraveno podle Burke (2008).

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Jídlo / pití</b>               | <b>Porce</b>       | <b>Kofein [mg]</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|
| Další látkou, jež ovlivňuje vytrvalostní výkon, je dusík. Je důležitou signální molekulou, která může upravovat funkci svalů díky regulaci toku krve, svalové kontraktilitě, homeostázi vápníku a glukózy, mitochondriálním dýcháním, a biogenezi. Vyskytuje se v běžných potravinách, salátu, špenátu, celeru nebo červené řepě. Dietní zásah v podobě suplementace dusíku ve stravě | Instantní káva                    | 250 ml             | 60 (12–169)        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Mletá káva                        | 250 ml             | 80 (40–110)        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Espresso                          | 1 standardní porce | 107 (25–214)       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Starbucks - sníadaňová mletá káva | 600 ml             | 415 (300–564)      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Ledová káva (komerční značky)     | 500 ml             | 30–200             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Frappucino                        | 375 ml             | 90                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Čaj                               | 250 ml             | 27 (9–51)          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Ledový čaj                        | 600 ml             | 20–40              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Horká čokoláda                    | 250 ml             | 5–10               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Mléčná čokoláda                   | 60 g               | 5–15               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Hořká čokoláda                    | 60 g               | 10–50              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Coca Cola                         | 375 ml             | 49                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Pepsi cola                        | 375 ml             | 40                 |
| Red Bull energy drink                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 250 ml                            | 80                 |                    |
| PowerBar kofeinový sportovní gel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 40 g                              | 25                 |                    |



znamená nárůst cirkulace dusitanů v plasmě, a tedy oxidu dusnatého, který snižuje nároky na spotřebu kyslíku během submaximálního výkonu a potenciálně výkon v běhu. Fyziologicky může ke snížení spotřeby kyslíku díky suplementaci dusíkem dojít dvojitou cestou. Jednak nižší spotřebou ATP při stejně intenzivní svalové práci (zvýšením efektivity svalové kontrakce prostřednictvím zpracování vápníku v sarkoplasmatickém retikulu nebo interakcí aktinu a myosinu), a také menší spotřebou kyslíku při stejné úrovni resyntézy ATP aerobní cestou (zvýšením činnosti mitochondrií zlepšením oxidativní fosforylace), (Barnes & Kilding, 2014). Plivání či vyplachování úst ústní vodou před požitím substrátu bohatého na dusík vede ke snížení šance na zvýšení množství dusitanů v plasmě (Blackwell et al., 2009). Blackwell (2009) ve své studii uvádí, že konzumace 500 ml šťávy z červené řepy může již po 3 dnech užívání snížit maximální spotřebu kyslíku při střední zátěži až o 5 % (hladinu dusitanů v plasmě se zvýšila o 95 %).

**Tabulka 3.** Předzávodní a závodní suplementace upraveno podle Stoggla a Wunsche (2016).

| Nutrient/strategie                 | Cíl                                       | Doporučený příjem                                                                                                                                                     | Poznámka                                                                                                          |
|------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Před závodem</b>                |                                           |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                   |
| <b>Sacharidová superkompenzace</b> | Maximalizovat zásoby glykogenu ve svalech | 10–12 g.kg <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> , 1–3 d před závodem. Pokud je zvýšený příjem omezen pouze na 1 den, tak preferovat potraviny s vysokým glykemickým indexem | Trénink snižující velikost glykogenových zásob před superkompenzací může posílit efekt. Lehké nebo žádný trénink. |
| <b>Tekutiny</b>                    | Začít závod ve stavu euhydratace          | 5–7 ml.kg <sup>-1</sup> 4 h před tréninkem                                                                                                                            | Test moči                                                                                                         |
| <b>Kofein</b>                      | Ergogenní efekty                          | 3–6 mg.kg <sup>-1</sup> 1 h před závodem                                                                                                                              | Jsou možné vedlejší efekty                                                                                        |
| <b>Během závodu</b>                |                                           |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                   |
| <b>Sacharidy</b>                   | Maximalizace oxidace sacharidů            | 60–90 g.h <sup>-1</sup>                                                                                                                                               | Pro > 60 g.h <sup>-1</sup> z více sacharidových zdrojů (například glukóza + fruktóza (2:1))                       |
| <b>Hydratace</b>                   | Udržet dehydrataci < 2 %                  | Příjem tekutin by měl dosahovat                                                                                                                                       | Nutné zvážit individuální rozdíly, závislé na podmínkách prostředí                                                |

„Při intenzivních trénincích a trénincích delších než asi tři hodiny začne tělo brát energii z bílkovin. Ty tak mohou ve vytrvalostních sportech pokrýt až 10 procent energetického výdeje“ (Friel, 2014, 348). Tělo musí 8 esenciálních aminokyselin získávat ze stravy, tři z nich se podílejí na skladbě svalové tkáně: leucin, izoleucin a valin. Tyto tři rozvětvené aminokyseliny se nazývají BCAA. Friel (2014) tvrdí, že obohacování stravy o BCAA může zlepšit vytrvalostní výkon. Haymes, White, Arguello, Greer a Woodard (2016) došli při

testování netrénovaných vysokoškoláků k závěru, že BCAA snižují vliv vytrvalostní zátěže na poškození svalů. Naproti tomu práce Arecese et al. (2015), Arecese et al. (2014) a Knechtleho et al. (2012) tvrdí, že užívání BCAA nemá pozitivní vliv na poškození svalů či výkon v závodě.

Echinacea je známá spíše jako doplněk stravy, jenž posiluje imunitu, nicméně studie prokázala, že konzumace 8000 mg.d<sup>-1</sup> echinacei vede k signifikantnímu nárůstu erythropoetinu, což způsobuje menší nároky na maximální spotřebě kyslíku při běhu v submaximální a maximální intenzitě, takže je tento potravinový doplněk vhodný pro vytrvalostní sportovce (Hitehead, Artin, Cheett, & Ebster, 2012).

#### 2.2.4. Regenerace

Schopnost svalů částečně se prodloužit napomáhá omezit napětí na myofibrilách. Nedostatečné protažení může vést k nesprávnému držení těla a provádění pohybů. Například mnoho svalových zranění v oblasti beder, kyčlí a kolenního kloubu pramení ze zkrácení hamstringů. Strečink je užíván ve sportovní medicíně a fyzioterapii pro zlepšení flexibility, rozsahu pohybů a posílení účinků rehabilitace po zranění. Není úplně jasné, jak strečink napomáhá k nárůstu flexibility. Nynější vysvětlení naznačují, že strečink napomáhá k flexibilitě skrze snižování tuhosti svalů a šlach. Některé studie tvrdí, že strečink snižuje viskozitu šlach, a tím napomáhají k elasticitě, jiné to zase vyvracejí (Cayco, Labro, & Gorgon, 2019). Kay, Husbands-Beasley, & Blazeovich (2015) tvrdí, že strečink má zřetelný vliv na změnu tuhosti svalů a šlach a zejména silně koreluje s rozsahem pohybu. v praxi by tedy mohlo zkrácení bedrokyčlostehenního svalu znamenat zkrácení běžeckého kroku, zejména při vyšších rychlostech běhu.

Jones (2002) testoval 34 vytrvalostních běžců různé výkonnosti a národnosti. Zjišťoval, jaká je spojitost mezi flexibilitou a ekonomikou běhu. Výsledky ukazují na to, že tužší (klasifikováno na základě výsledku testu „sit-and-reach“) běžci běhají ekonomičtěji při submaximálních rychlostech. Může to být způsobeno lepší stabilitou pánve, menšími nároky na energii při dopadu volné nohy nebo větší návratností elastické energie. Hunter et al. (2011) se věnoval vztahu flexibility a ekonomiky běhu u kotníku. Výsledky ukázaly, že delší Achillova šlacha a zmenšený rozsah v plantární flexi souvisí s ekonomičností běhu. k podstatným závěrům došli Gleim, Stachenfeld a Nicholas (1990), kteří souhlasí s výsledky výše uvedených studií, tedy že svalová tuhost vede k nižší spotřebě kyslíku při chůzi a běhu,

nicméně tvrdí, že zkrácení nesmí být patologické, což je zásadní pro správné chápání vědeckých poznatků v této oblasti.

Ve výzkumu zabývající se touto oblastí narážíme na metodologické problémy. Roli může hrát skutečnost, že testy často probíhají na běžeckém páse. Dále se liší flexibilita u mužů a žen, takže by měly být testy vždy rozděleny, aby bylo možno dojít ke smysluplnému výstupu. To stejné platí pro ekonomiku běhu. Nicméně i přes výsledky studií bychom neměli strečink, jako složku tréninku ztracovat, neboť pozitivní vliv na délku kroku a prevenci zranění je zřejmý (Barnes & Kilding, 2014).

### *Masáže*

Velmi populární praktikou mezi vytrvalostními sportovci jsou masáže. v cyklistice mají závodníci často svoje maséry, kteří s nimi jezdí po světě. v tu chvíli jsou sportovci v jejich péči každý den, a to jak po tréninku, tak i po závodech. Hůře finančně zajištěné sporty mají týmové či reprezentační maséry.

Tesař (2015) uvádí trojí dělení účinků masáží podle jejich charakteru. Mezi mechanické účinky patří uvolnění pórů (potních a mazových žláz), návrat žilní krve zpět směrem k srdci a odstranění pocitu únavy. Jako biochemické účinky uvádí odbourávání odpadních látek a zvětšení prokrvení kůže, čímž se dostává do žilního systému více kyslíku. Reflexním účinkem je potom uvolnění rozličných částí těla prostřednictvím akupresurních bodů.

Poppendieck et al. (2016) se snažili vytvořit ucelený přehled poznatků, co se vlivu masáží na výkon sportovce týče. Uvádí, že neúčinnější je masáž v délce trvání do 5–12 minut a největší význam má co nejdříve po trénincích zaměřených na rozvoj maximální síly, u vytrvalců (testováno na půlmaratoncích) testování přineslo nejasné výsledky, zřejmý je však psychologický efekt masáží (Dawson, Dawson, & Tiidus, 2004).

### *Vířivé vany*

Účinky masáží pomocí vířivé vany také nejsou prokazatelné, protože studie nereflktují fakt, jestli jsou výsledky způsobené vlivem hydrostatického tlaku trysek nebo teplotou vody (cca 37 °C). Způsob rehabilitace ponořením do teplé, respektive střídání teplé a studené vody, by mohl mít také pozitivní vliv na regeneraci, a použitím vířivé vany do tohoto procesu může být zajímavým spojením dvou rehabilitačních metod. k pozoruhodným závěrům došli Wiewelhove et al. (2018), kteří srovnávali vliv regeneračních metod u rekreačních běžců po půlmaratonu. Došli k výsledku, že masáže a ponoření do studené vody mají větší efekt na regeneraci, než pasivní či aktivní strečink.

## Foam Rolling

V posledních letech si sportovci oblíbili foam rolling jako metodu automasáže. Foam roller byl patentován na přelomu 18. a 19. století. Ovlivňuje flexibilitu, mobilitu, cirkulaci krve, zkrácení svalů, svalovou bolest, stav fascií a výskyt trigger pointů (Stull, 2018). Pozitivní efekt na rozvoj flexibility potvrzují i Škarabot, Beardsley, & Stirn (2015), kteří tvrdí, že nejvyšších výsledků se dá dosáhnout při kombinaci se statickým strečkem (1 minuta foam rollingu před statickým strečkem). Biasutti et al. (2018) zjišťoval vliv foam rolleru na ekonomiku běhu a sílu dolních končetin. Automasáž bezprostředně před během má negativní vliv na ekonomiku běhu, nicméně použití 3 hodiny před výkonem může zvýšit sílu dolních končetin. Jiná studie uvádí, že 20 minut foam rollingu (testováno na profesionálních fotbalistech) po tréninku zmenšuje bolest svalů a zlepšuje pocit zregenerování (Van Hooren & Peake, 2018).

**Tabulka 4.** Efekty aktivního „cool-downu“ ve srovnání s pasivním v oblasti fyziologie, psychologie, sportovního výkonu a dlouhodobých efektů. Počet studií prokazující pozitivní efekt je uveden v prvním sloupci, neprůkazný ve druhém, negativní efekt ve třetím. Upraveno dle Van Hooren a Peake (2018).

| <b>Psychologické efekty</b>                        | ↑   | →  | ↓ |
|----------------------------------------------------|-----|----|---|
| Krevní laktát                                      | >18 | 1  | 1 |
| Laktát ve svalových tkáních                        | 2   | 1  | 1 |
| Zpožděná bolest svalů                              | 2   | 14 |   |
| Nepřímé známky poškození svalů                     | 2   | 6  |   |
| Nervosvalové funkce a vlastnosti svalové kontrakce |     | 3  |   |
| Tuhost a rozsah pohybu                             |     | 7  |   |
| Obnova svalového glykogenu                         |     | 3  | 5 |
| Imunitní systém                                    | 2   | 2  |   |
| Kardiovaskulární a respirační systém               | 5   | 2  | 2 |
| Velikost pocení a termoregulace                    |     | 6  |   |
| Koncentrace hormonů                                |     | 4  |   |
| <b>Psychologické efekty</b>                        |     |    |   |
| Nálada, sebevnímání a spánek                       |     | 12 | 1 |
| <b>Sportovní výkon</b>                             |     |    |   |
| V daný den                                         |     | 4  |   |
| Následující den                                    |     | 14 |   |
| <b>Dlouhotrvající efekty</b>                       |     |    |   |
| Prevence zranění                                   | 1   | 5  |   |
| Adaptace                                           | 1   |    |   |

## *Zklidnění*

Van Hooren a Peake (2018) se zabývali významem aktivního „cool-downu“ (běžně překládaného jako vyklusání, vyplavání, aktivní zklidnění) ve sportovní praxi. v jejich přehledu zkoumali účinky fyziologické, psychologické, dlouhotrvající účinky a účinky na výkon ve sportu (Tabulka 4). Zřejmý efekt má aktivní „cool-down“ ve spojitosti s metabolizováním laktátu. u sportovců trénujících dvoufázově se vědci přiklání spíše k negativnímu efektu, pokud je mezi tréninkovými jednotkami interval delší než 4 h. Stejně tak z dlouhodobého hlediska nepředchází zraněním. Naopak při pauze o délce 20 minut a méně má aktivní „cool-down“ pozitivní účinky na následující zátěž.

## *Spánek*

Spánek je jedním z nejdůležitějších nástrojů, sloužících k regeneraci organismu. Je nezbytný pro správnou činnost kognitivních a psychologických funkcí. Martin, Arnal, Hoffman a Millet (2018) uvádí, že ultramaratonci trénující obdobně jako maratonci,  $7,5 \pm 2,8$  h týdně (Knechtle, Wirth, & Knechtle, 2010), spí 6–8 h přes týden a 7–9 h o víkendu. Ze vzorku 636 běžců uvedlo 19–25 %, že chodí spát i během pracovního dne, 37–56 % ve dnech pracovního klidu. Jenom 25 % respondentů potvrdilo problémy s usínáním či probouzením se v průběhu noci. Ve srovnání s běžnou populací (31–46 %) je to značně méně, což nasvědčuje faktu, že běžecký trénink napomáhá kvalitnímu spánku. Omezení spánku vede ke zvýšení tepu, minutové ventilace a koncentraci laktátu během submaximálního a maximálního zatížení po nekvalitním spánku. Špatný spánek ovlivňuje motivaci, oslabuje imunitu a zvyšuje riziko zranění. Výsledkem nervozity se stává, že sportovci před důležitým závodem špatně spí, to se však nemusí projevit na jejich výkonu. Negativní efekt nedostatku spánku byl prokázán ve vytrvalostních sportech, ve sportech zaměřených na maximální sílu (vrh koulí apod.) jsou výsledky nejednoznačné. Ranní trénink, který narušuje běžný biorytmus organismu, je pro rozvoj svalové síly horší než trénink pozdě večer. Pro dlouhodobý a udržitelný růst sportovní výkonnosti je nezbytné mít kvalitní spánek, který vychází ze správné spánkové hygieny (tmavá, chladná a tichá místnost; žádné technologie, jako TV, mobily a tablety 30 minut před spaním), (Coutts et al., 2014).

## *Saunování*

Finská sauna je používána pro potěšení, wellness a relaxaci. Patří mezi tradice finské kultury. Kromě toho studie dokazují, že saunování může přinášet zdravotní benefity, při pravidelném užívání může zmírnit šance nákazy (chřipka, nachlazení), zmírňovat projevy chronických onemocnění, snížit rizika život ohrožujících onemocnění, jako vysoký krevní

tlak, kardiovaskulární onemocnění (mrtvice), neurokognitivní poruchy, léčí pleť nebo pomáhá předcházet revmatickým onemocněním a bolestem hlavy. Zlepšuje tedy kardiorespirační funkce, imunitu a snižuje oxidační stres a zánět v těle (Laukkanen, Laukkanen, & Kunutsor, 2018).

V několika studiích byl také zkoumán vliv saunování na pohybovou aktivitu. Vědci z polské univerzity testovali, jaký má vliv sauna na regeneraci po 30 minutách aerobní aktivity. Test prokázal, že 3krát 10 minut v sauně, kde byla teplota 90 °C, má pozitivní vliv na regeneraci organismu (Sutkowy, Woźniak, Boraczyński, Mila-Kierzenkowska, & Boraczyński, 2014).

### *Ochlazování ve studené vodě*

Při intenzivním tréninku, zejména v teplém počasí a s vysokou vlhkostí ovzduší, dochází ke zdravotním potížím, jako je úpal či nevolnost spojená s přehřátím organismu. Pro tyto obtíže je charakteristická tělesná teplota pohybující se okolo 40–42 °C a poruchy centrálního nervového systému. Účinnou pomocí v těchto situacích je zchlazení ve studené vodě. Ideální je voda o teplotě 10 °C, však čas potřebný ke zchlazení se může významně lišit (až o 32 %) v závislosti na tělesné stavbě (Godek, Morrison, & Scullin, 2017).

Mnoho elitních atletů používá chlazení studenou vodou pro zrychlení regenerace po tréninku. Existuje několik technik, jak lze tento způsob regenerace provádět. Největší efekt má střídavé ponoření do teplé a studené vody nebo jenom do studené. Po tréninku ve vysokých teplotách je vhodnější pouze studená voda, ale u jedinců s nižší teplotou těla je lepší volit střídavou metodu. Teplota studené vody by měla být mezi 10–15 °C (Machado et al. (2015) uvádí 15 minut ve 14 °C), v případě střídání teplot by měla mít teplejší voda 38 °C. Ideální délka trvání je 5–15 minut v závislosti na teplotě vody (nižší teplota = kratší doba). u aplikování metody střídání teplot není délka trvání jasná. Dostupná data napovídají, že by to mělo být celkem přes 15 minut. k ponoření by mělo dojít do 30 minut po skončení tréninku. Pokud do 45 minut po ochlazení koupelí následuje trénink, pak je tato regenerační technika kontraproduktivní, obzvláště v případě vysoce intenzivního tréninku. Jiná situace nastává v případě vysokých teplot prostředí, kdy zchlazení před tréninkovou jednotkou má pozitivní vliv na vytrvalostní výkon (Versey, Halson, & Dawson, 2013).

### 2.2.5. Zdraví

Na počátku 20. století se maratonů účastnilo jen malé množství běžců, které pocházelo ze sportovních klubů. Běžci tehdy opovrhovali radami nebo promluvami doktorů, ale první

známky lékařské pomoci se objevovaly v podobě lékárníček v šatnách, které obsahovali vše nezbytné pro ošetření puchýřů či drobných zranění. Moderního maratonu se účastní velké masy lidí. Vzhledem k tomu, že je málokdy pořádán za ideálních klimatických podmínek a úroveň trénovanosti a adaptace sportovců se liší, je tato událost pro tělo velmi stresující a vyčerpávající (Pedoe, 2007).

Stejně tak je pro tělo velmi náročný samotný tréninkový proces. Maratonec absolvuje v tréninku desítky kilometrů týdně, často se blíží či přesahuje hranici 100 km. v případě, že by se jednalo pouze o profesionální sportovce, kteří za sebou mají špičkové zázemí, jsou pod lékařským dohledem (absolvují pravidelně se opakující zátěžové testy), jejich běžecká technika se blíží ideálu, tělesná váha je ideálně nastavená a mimo trénink řádně regenerují, možnost zdravotních rizik by byla na minimu. Popularita vytrvalostního běhu v průběhu let rapidně vzrostla a počet profesionálů je oproti množství rekreačních běžců mizivý. Rekreační běžci se však mnohdy snaží profesionálům přiblížit, a pak za to můžou zaplatit zdravím. Kromě tréninkového kalendáře, který se snaží plnit totiž mají také pracovní povinnosti, které jim ubírají čas na regeneraci a jsou dalšími stresovými podněty pro organismus. i tyto aspekty mohou mít vliv na to, že ročně má zdravotní potíže 90 % běžců napříč všemi výkonnostními úrovněmi, nicméně dostupné studie uvádějí, že čím je běžec zkušenější, tím méně je náchylný ke zraněním (Fredericson & Misra, 2007).

Pro všechny běžce platí, že by měli být zcela zdraví, případně zrehabilitovaní po předchozím zranění, než poběží maraton. Zkušeným nebo začínajícím běžcům by měl tréninkový plán, který zohledňuje zkušenosti běžců v podobě menšího objemu a intenzity, pomoci předejít zranění. u začínajících běžců se ukazuje překročení 64 km týdně jako velké zdravotní riziko. Nejčastější zranění se napříč pohlavími nemění, nejběžnější jsou problémy s koleny, typicky na přední straně. Mezi typická běžecká zranění patří iliotibiální syndrom (ITBS, vzniká třením iliotibiální šlachy o výběžek na vnější straně kolene při ohnutí 25–30 stupňů, což se děje zhruba při dopadu švihající nohy na zem (Burne, 2019)), zánět okostice, zánět Achillovy šlachy nebo poškození menisků (Fredericson & Misra, 2007).

Během cvičení nebo po něm někdy dochází k tomu, že sportovci zkolabují, což může být životu nebezpečné. k 10–15 % ze všech těchto událostí spojených s pohybovou aktivitou dochází při vytrvalostních sportech. k většině kolapsů spojených s pohybovou aktivitou dochází po skončení závodu u závodníků, kteří jsou plně při vědomí bez dalších klinických příznaků, ale mají nízký tlak (<100 mm Hg) a překvapivě i nízký tep (<100 úderů za minutu), dostávají se do tzv. hypotenze. Vzniká na základě fyziologických změn, vyvolaných zátěží, při které jsou cévy v končetinách roztaženy po dlouhou dobu, nekladou krevnímu oběhu

takový odpor a krevní tlak klesá. Nejrychlejší pomoc pro takto postižené je uvést je do polohy na zádech a zvednout jim nohy nad úroveň srdce (Noakes, 2007).

### *Křeče*

S křečemi kosterního svalstva se maratonci běžně setkávají. Kipps et al. (2011) tvrdí, že ze 710 000 běžců absolvujících v posledních 28 letech Londýnský maraton mělo zdravotní potíže 2 % běžců. Důvod jejich vzniku však není úplně jasný. Křeč spojená s pohybovou aktivitou je definovaná jako mimovolní bolestivá svalová kontrakce během nebo bezprostředně po skončení aktivity. v dřívějších neoficiálních expertízách byly křeče spojovány s vydatným pocením a změnami koncentrace elektrolytů. Nic nevysvětlovalo, k jaké změně koncentrace elektrolytů musí dojít, aby to vyvolalo křeč. Jiná teorie tvrdí, že svalové křeče jsou abnormalitou nervosvalového řízení na úrovni míchy, které jsou způsobené zátěží organismu. Tato teorie byla také dokazována na zvířatech, kdy byla pomocí elektromyogramu vyhodnocována data, zaznamenávána během křečí bezprostředně po zátěži (Factors & Schwelanus, 2007).

Několik experimentálních studií však našlo spojitost mezi ztrátou tekutin, respektive sodíku a křečemi. Výsledky ukázaly, že sportovci trpící na křeče zaznamenávají až 4krát větší úbytky sodíku (Eichner, 2007). Ke skutečnosti, že křeče vznikají díky nedostatku sodíku se přiklání také Chorley (2007), který uvádí i další zdravotní komplikace, jako nevolnost, zvracení, nadměrné úsilí, závratě, slabost, bolest hlavy, nafouknutý žaludek, zkrácení dechu a kolaps. Tyto symptomy se mohou objevit již během závodu, v cíli nebo 3–6 hodin po závodě. Nicméně většina lidí nemá žádné dramatické klinické projevy.

Předcházet nedostatku sodíku se dá konzumací přirozeně slaných potravin, jako je rajčatový džus a sušené hovězí maso, nebo solením. Běžně jsou používány elektrolytické nápoje. Hydratování hypotonickými nápoji nebo čistou vodou je pro léčení křečí, vyvolaných nedostatkem sodíku zcela nevhodné (Eichner, 2007).

### *Imunita*

Trénink maratonského běžce je velmi vysilující, množství tréninkových hodin a jejich intenzita velmi oslabují imunitní systém. Maratonci jsou náchylní k infekci horních cest dýchacích (Akerström & Pedersen, 2007). Velmi však záleží na charakteru tréninku, který absolvují. Studie Niemana (2007) uvádí, že mezi, od které dochází u maratonců k větší náchylnosti infekce horních cest dýchacích, je 100 km za týden. Vychází z výsledků studie sledující 2300 sportovců, připravujících se na maraton v Los Angeles, kdy u běžců trénujících



40–65 km za týden nebyla prokázána příčinnost v tréninkovém období, ale až po absolvování závodu.

Jednou z tréninkových zásad je nepřetržitost tréninkového procesu, která upozorňuje na to, že stabilní růst výkonnosti sportovce je postaven na systematické a pravidelně se opakující tréninkové činnosti (Lehnert, Novosad, & Neuls, 2001). Je tedy žádoucí, aby sportovci byli co nejméně nemocní a mohli tak plnit tréninkové plány. Gleeson (2006) uvádí, že trénink trvající déle než 1,5 h o střední až vysoké intenzitě (55–75 %  $\text{VO}_2\text{max}$ ) oslabí imunitní systém na 3–24 h, v závislosti na dalších okolnostech, zejména pokud v průběhu tréninku není doplňovaná energie. Tvrdí také, že mikrocyklus zaměřený na intenzitu může mít za následek déle trvající imunitní dysfunkci.

Konkrétní čísla lze jen těžko uvést, neboť studie dochází často k protichůdným výsledkům. Po ultra-maratonských závodech se šance onemocnění zvyšuje o 100–500 %. Na druhou stranu samotná tělesná aktivita (2 h středního zatížení každý den) vede ke zvýšení odolnosti vůči infekci horních cest dýchacích o 29 %, ve srovnání se sedavým způsobem života (Gleeson, 2006). Je to způsobeno tím, že sedavý způsob života vede k akumulaci viscerálního tuku, který je prozánětlivý, takže se může přičinit ke chronickému systémovému zánětu, což může mít za následek inzulínovou resistenci, aterosklerózu, neurodegeneraci či růst nádorů (Walsh et al., 2011).

*Chlorella pyrenoidosa* je jednobuněčná sladkovodní řasa běžně používaná jako doplněk stravy. Její pozitivní vliv na imunitní funkci byl prokázán v několika studiích. Její konzumace má za následek nárůst koncentrace a sekrece IgA (slizničních protilátek). z počátku je dobré, vzhledem k čistícím účinkům, postupně zvyšovat dávky, zatímco ideální dávka by měla obsahovat 5–6 g chlorelly, to odpovídá zhruba 24–30 tabletám, a měla by být rozdělena do dvou dávek (ráno a večer). Maximální účinky suplementace se dostavily po 5 týdnech (Chidley & Davison, 2018).

Akerström a Pedersen (2007) a Nieman (2007) zkoumali účinky běžně užívaných látek na imunitu u maratonských běžců. v závislosti na tréninku a s ním spojených změnách imunitního systému uvádí vznik tzv. otevřeného okna, které vede k větší šanci bakteriálního či virového onemocnění. Zabývali se efektem vitamínu C, glutaminu, hovězí syrovátky a glukózy. Na základě neprůkazných výsledků tvrdí, že obecně nemají tyto látky vliv na onemocnění horních cest dýchacích. Po detailnějším prostudování jejich práce je však zřejmé, že při jejich analýze zdrojů narazili na studie, které poukazovali například na zvýšení produkce IgA po suplementaci u distančních běžců hovězí syrovátkou (Crooks, Wall, Cross,

& Rutherford-Markwick, 2006) nebo benefity suplementace vitamínu C u maratonských běžců, podstupující extrémní podmínky (Douglas, Hemilä, Chalker, & Treacy, 2008).

Látkou, která se v medicíně běžně používá, ale ve studiích tohoto oboru typu se neobjevuje, jsou probiotika. Jedná se o doplněk stravy obsahující živé mikroorganismy. Upravují střevní mikrobiom a pomáhají množení bakterií, navíc při dostatečném množství mají tendenci snižovat množství škodlivých bakterií. Tyto vlastnosti by měly mít pozitivní efekt na zdraví a funkci zažívacího traktu a imunitu. Nicméně výsledky studií jsou protichůdné, takže nelze vyvodit objektivní závěr pro sportovní praxi (Santos & Diniz, 2014).

Další prospěšnou látkou pro imunitní systém, oslabený zátěží spojenou s maratonem, je rybí olej bohatý na kyselinu dokosahehexaenovou, který působí preventivně proti změnám funkcí bílých krvinek, způsobených maratonským během (Santos et al., 2013).

## 2.2.6. Trénink

V souvislosti s vytrvalostním tréninkem dochází v těle běžce k velkému množství fyziologických odpovědí. Vytrvalostní trénink vede ke změnám stavby a funkce mitochondrií. Zejména nárůst oxidativní kapacity svalů poskytuje běžcům možnost spotřebovat méně kyslíku v mitochondriálním dýchacím řetězci během submaximální zátěže (Barnes & Kilding, 2014).

Frekvence, trvání a intenzita tréninků silně ovlivňují výkon v maratonu u žen i mužů. u obou pohlaví jsou sledované stejné fyziologické reakce na trénink (jeho frekvenci i objem), takže mohou být k dosažení výsledků využívány stejné tréninkové programy. Nicméně muži dosahují v tréninku vyšších rychlostí. u žen je rozhodujícím faktorem pro výkonnost množství tréninkových jednotek v týdnu a roky tréninku, přičemž u mužů rozhodují zejména množství tréninkových hodin a kilometrů týdně a průměrná tréninková rychlost (Zinner & Sperlich, 2016).

Charakteristiky tréninku se mění v závislosti na období, ve kterém se běžec právě nachází. Zpravidla se sezóna sportovce dělí na přípravné období, předzávodní období, závodní (hlavní) období a přechodné období. Tato období vyplňují cykly, které mohou mít různou délku. Jsou jimi makrocycly, mezocycly a mikrocycly. v přípravném období běžci absolvují větší množství kilometrů, na rozdíl od předzávodního a závodního období, kdy je objem zatížení nižší, ale roste intenzita (Perič & Dovalil, 2010). Každé období i cyklus mají svůj smysl a zaměření.

## *Objem*

Objem běžeckého tréninku se většinou udává v kilometrech uběhnutých za týden (týdenní náběh) nebo v minutách za týden. Běžně se operuje s tímto množstvím v závislosti na charakteru daného cyklu.

Autoři studií se shodují na zhruba 12 tréninkových jednotkách týdně u profesionálních běžců (Enoksen, Tjelta, & Tjelta, 2011; Stellingwerff, 2012). v charakteristikách objemu uvádí Enoksen et al. (2011) u třech maratonských běžců mezinárodní úrovně v přípravném období  $186,6 \pm 25,7$  km.týden<sup>-1</sup> a Stellingwerff (2012)  $173,6 \pm 32,5$ ,  $213,3 \pm 41,2$  a  $159,6 \pm 27$  km.týden<sup>-1</sup> u tří elitních maratonců v rámci případové studie. Ti dosáhli svých maxim v průběhu specifické fáze přípravy 228, 266 a 199 km.týden<sup>-1</sup>. v poslední době jsou tendence preferovat intenzitu před objemem, nicméně důležitost objemu v tréninku by neměla být bagatelizována, protože hraje hlavní roli ve vyvolávání adaptací důležitých pro úspěch ve vytrvalostním běhu (Barnes & Kilding, 2014).

## *Intervalový trénink*

Běžnou součástí tréninkového plánu každého běžce jsou tréninky o vysoké intenzitě, zejména intervalové tréninky či tempové běhy. „Hlavním znakem intervalových metod je plánovitě členění cvičení požadované intenzity na fáze zatížení a zotavení, přičemž intervaly odpočinku neslouží k plnému zotavení“ (Perič & Dovalil, 2010, 109). v případě tohoto typu tréninku je nutné sledovat intenzitu zatížení, u běžců zejména prostřednictvím srdečního tepu či tempa běhu. Tepová frekvence má výhody v podobě sledování zotavení, takže další interval je snadné správně načasovat nebo vyhodnotit, zdali v tréninku ještě pokračovat.

Několik studií zkoumalo vliv intervalového tréninku na výkon běžce v maratonu. Barnes a Kilding (2014) vytvořili přehled tímto směrem zaměřených článků. z devíti testování prokázala většina pozitivní vliv na ekonomiku běhu a více než polovina pozitivní vliv na výkon.

Trénink elitních vytrvalců v praxi popisují Enoksen et al. (2011), běžec s osobním maximem na maratonské distanci 2:14:00 absolvoval v jednom týdnu přípravného období 12 tréninků, ze kterých bylo 10 souvislých běhů v zóně 1<sup>1</sup> a dva tréninky v zóně 2. z těchto dvou tréninků byl jeden středně intenzivní a druhý byl intervalový (20 x 1000 m v maratonském tempu s 1 minutou odpočinku). Běžec tak naběhal 177 km za daný týden.

---

<sup>1</sup> Charakteristiky tréninkových zón ve studii Enoksen et al. (2011): zóna 1–lehký běh, zóna 2–tempo maratonu, zóna 3–tempo půlmaratonu, zóna 4–tempo na 10 km, zóna 5–tempo na 3000 m / 5000 m, zóna 6–tempo na 800 m / 1500 m, zóna 7 - sprint

V závodním období naběhal tentýž běžec celkem 178 km ve 13 tréninkových jednotkách, z nichž bylo 11 souvislých běhu v zóně jedna, jeden běh v zóně 3 (5 x 2000 m v tempu půlmaratonu se dvěma minutami odpočinku a jeden trénink v tempu na 5 km a 1500 m (6 x 800 m za 2:11–2:12 (zóna 5) + 12 x 300 m za 45–49 sekund (zóna 6)).

### *Silový trénink*

„Ve většině sportovních disciplín se úroveň silových schopností významně podílí na struktuře sportovního výkonu. Vliv silových schopností v porovnání s ostatními kondičními faktory samozřejmě závisí na charakteru disciplíny a na délce trvání závodu v dané specializaci“ (Perič & Dovalil, 2010, 79). i když běhání tvoří významnou část tréninku běžce, tak jiné formy tréninku přináší specifické fyziologické adaptace, které mohou přímo či nepřímo (snížení rizika zranění) zlepšit výkon. Cílem silového tréninku je zlepšit sílu, svalovou vytrvalost a/nebo zlepšit nervosvalové adaptace. Uvažuje se, že by silový trénink měl vést ke zlepšení ekonomiky běhu díky zlepšení koordinace práce svalů dolních končetin, což vede ke zvýšení tuhosti svalů a zkrácení doby kontaktu s podložkou. Výsledkem je potom rychlejší přechod z dopadu do propulzní (odrazové) části oporové fáze běžeckého kroku. Silový trénink může způsobit hypertrofii vláken IIA a IIB, ale také typu I (Barnes & Kilding, 2014). To s sebou přináší i nárůst hmotnosti, který u vytrvalostního běhu není žádoucí, protože snižuje množství výkonu na kilogram hmotnosti, které je často rozhodující.

### *Plyometrický trénink*

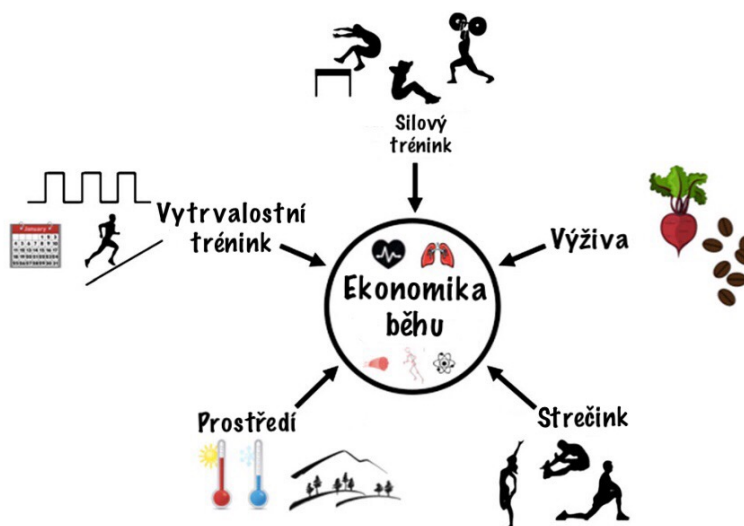
Plyometrický trénink není nová tréninková metoda. i když se jí v poslední době dostala spousta pozornosti, byla tato metoda součástí tréninku atletů v mnoha sportech již mnoho let. Slovo plyometrie se začalo objevovat v literatuře až od roku 1960. Vědecké výzkumy popsaly elastické vlastnosti svalů a jejich trénovatelnost. To umožnilo odborníkům efektivněji využívat plyometrii jako nástroj. Plyometrický trénink je specifický druh tréninku sloužící ke zvýšení explozivní síly. Je většinou používán ve spojení s jinými tréninkovými metodami tak, aby bylo dosaženo co největšího rozvoje explozivní a maximální síly. Hlavní přínosem plyometrického tréninku je tvoření největšího možného množství síly v co nejkratším čase a zmenšení nebo absorbování těchto sil na konci pohybu (Gambetta, 1998). Jedná se tedy o kombinaci excentrické a koncentrické izotonické kontrakce, kdy se sval nejprve násilím protahuje, a potom se rychle zkrátí (Perič & Dovalil, 2010). Výsledkem tohoto tréninku je, že svaly dokáží ukládat větší množství elastické energie při excentrické fázi, která je potom ihned využita při koncentrické kontrakci (Gambetta, 1998). Tyto skutečnosti naznačují, že by trénink s takovým efektem mohl zlepšovat přechod z dopadu do odrazu při běžeckém kroku.

## 2.2.7. Ekonomika běhu

Běžec výkon závisí na maximální spotřebě kyslíku, schopnosti udržet intenzitu na vysokém procentu  $VO_2\max$  po delší dobu a na ekonomice běhu (dále EB). EB je měřena jako stabilní stav  $VO_2\max$  při intenzitě pod úrovní ventilačního prahu. Hodnotící metodou může být například  $VO_2$  potřebné

pro uběhnutí jednoho kilometru nebo energetickým výdejem při určité rychlosti běhu. Běžci původem z Východní Afriky jsou více ekonomičtí díky jejich menšímu tělu a tenčím dolním končetinám.

Strategie, jak zlepšovat EB se stále rozvíjí, ačkoliv se ukazuje, že běh ve vysoké intenzitě může být pro rozvoj klíčový (Foster & Lucia, 2007).



**Obrázek 3.** Schéma strategií rozvoje EB, upraveno dle Barnes a Kilding, (2014)

Samotnou EB ovlivňuje několik faktorů, mezi které patří metabolismus, biomechanika a efektivita nervosvalových přenosů vzruchů. Konkrétnější příklady můžeme vidět na Obrázku 3. Zajímavým determinantem je strečink a pohyblivost obecně. Mnohé studie dochází někdy i k protichůdným výsledkům, kdy snížená pohyblivost vede ke zvýšení EB v důsledku snížení energetických nároku na držení těla, protože nižší flexibilita v oblasti kyčlí a trupu pomohla lepší stabilizaci pánve při dopadu. Případně nižší úroveň flexibility dolních končetin má za následek uložení většího množství elastické energie využitě při odrazu. Naproti tomu statický strečink může napomocť lepší spolupráci nervu a svalu při přenosu vzruchu (Barnes & Kilding, 2014). Nicméně nesmí být prováděný bezprostředně před výkonem, protože na něj má potom negativní vliv (Lowery et al., 2014; Shrier, 2004). Podobně je to se strečinkem před výkonem v kontextu prevence zranění, kdy se však nejedná o negativní vliv, ale žádný (Shrier, 2004). Je však nutné uvažovat, že nedostatek flexibility nesmí být patologický, protože jedním z důležitých parametrů běhu je délka běžecského kroku, která nesmí být ovlivněna malým rozsahem pohybu. Strečink působí také jako prevence zranění, takže je nedílnou součástí tréninku (Hopwell et al., 2003). Vliv silového tréninku na EB je rozveden dále v přehledové části bakalářské práce.

### **3. Cíle a výzkumné otázky**

#### **3.1. Hlavní cíl**

Hlavním cílem této bakalářské práce je vytvořit systematický přehled randomizovaných kontrolovaných studií zkoumajících vliv silového tréninku na běžecký výkon a ekonomiku běhu maratonce.

#### **3.2. Dílčí cíle**

- 1) Porovnat vliv plyometrického a silového tréninku.
- 2) Vyhodnotit nejúčinnější intervenční program vzhledem k běžeckému výkonu.

#### **3.3. Výzkumné otázky**

- 1) Jaký vliv má silový trénink na ekonomiku běhu?
- 2) Jaký vliv má silový trénink na běžecký výkon?
- 3) Jak se mění hmotnost běžce v závislosti na změně tréninkového stereotypu?

## 4. Metodika práce

Přehled studií byl vytvořen v březnu 2019. k vyhledávání byla využita databáze MEDLINE. Zde byly vyhledávány randomizované kontrolované studie (dále RCT) týkající se efektu silového tréninku na výkon v maratonu, respektive vytrvalostním běhu.

Vyhledávací strategie byla vytvořena za využití nástroje PICO (pacient/populace/problém, intervence, komparace, výsledek–outcome). Jako klíčová slova pro vyhledávání populace byla zvolena: marathon, marathon runners, distance running, distance runners, endurance running, endurance runners. Pro charakteristiku intervence byly zvoleny termíny: strength training, resistance training, weight training, weight lifting, plyometric training a concurrent training. Mezi termíny, charakterizující výstup (outcome), podle kterého bude zvolen efekt intervence, byly zvoleny: VO2max, maximal oxygen uptake, aerobic, anaerobic, sprint, time, performance, energy cost, lactate, time trial a economy. Po zadání klíčových slov bylo nalezeno celkem 1139 studií, po specifikaci designu studie na randomizovanou kontrolovanou studii zbylo 149 studií (odkaz: <https://bit.ly/2uz2JGx>). Vyhledávací strategie je v grafické podobě uvedena v Tabulce 5.

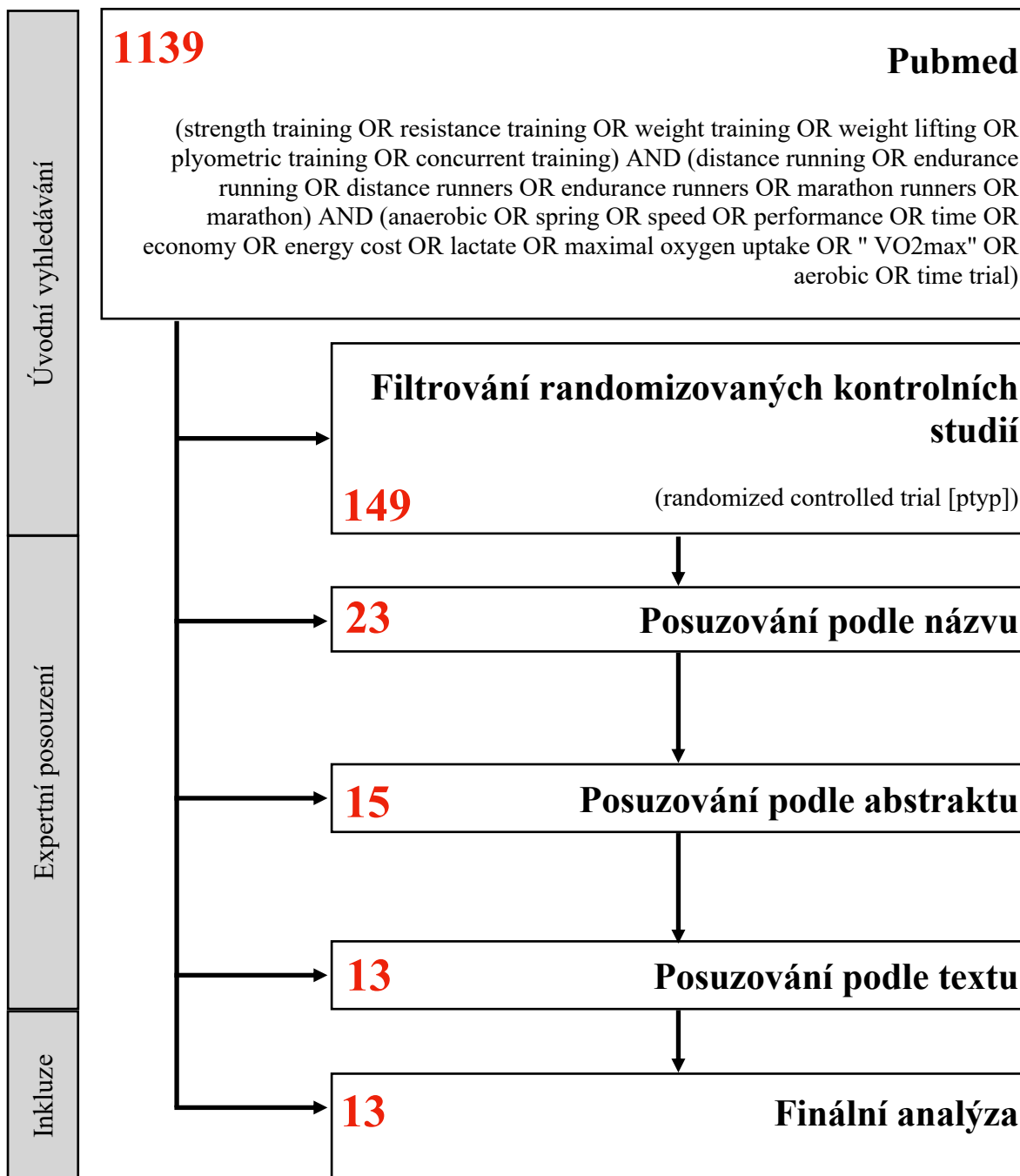
Dalším krokem bylo expertní posouzení studií dle jejich názvu. k následnému posouzení prošly takové studie, které svým názvem či obsahem abstraktu nasvědčovaly tomu, že se věnují dané problematice. Prošly také studie, u kterých nebylo jasné, zdali vyhovují nebo ne, a byly podrobeny posouzení vhodnosti na základě analýzy plného textu. 126 studií nevyhovovalo populací (32 %), typem intervence (55 %) nebo výstupem (13 %). 23 studií bylo dále posuzováno podle abstraktu, 8 studií bylo vyřazeno kvůli nevyhovujícím kritériím inkluze. Po přečtení plných textů byly vyřazeny další dvě práce. Celý proces výběru vyhovujících studií je zobrazen na Obrázku 2.

Finální výběr RCT byl podrobně analyzován, jak lze vidět v Tabulce 6. Pro seznámení se se studii byly uvedeny informace o autorovi, roku a jméno časopisu, ve kterém byl článek publikován, cíl studie a počet citací z Google Scholar.

**Tabulka 5.** Vyhledávací strategie vytvořená pomocí nástroje PICO

| P (participanti)                  | I (intervence)                                                                                                                           | C (komparace) | O (výstup)                                                   | S (design studie)                          |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Marathon</b> 1                 | <b>Strength training</b> 1                                                                                                               |               | <b>VO2max</b> 1                                              | <b>Randomized Controlled Trial[ptyp]</b> 1 |
| 3636                              | 35892                                                                                                                                    |               | 7493                                                         | 478538                                     |
| <b>Marathon runners</b> 2         | <b>Resistance training</b> 2                                                                                                             |               | <b>Maximal oxygen uptake</b> 2                               |                                            |
| 1793                              | 20394                                                                                                                                    |               | 8150                                                         |                                            |
| <b>Distance running</b> 3         | <b>Weight training</b> 3                                                                                                                 |               | <b>Aerobic</b> 3                                             |                                            |
| 6112                              | 24540                                                                                                                                    |               | 81195                                                        |                                            |
| <b>Distance runners</b> 4         | <b>Weight lifting</b> 4                                                                                                                  |               | <b>Anaerobic</b> 4                                           |                                            |
| 2759                              | 26634                                                                                                                                    |               | 83377                                                        |                                            |
| <b>Endurance running</b> 5        | <b>Plyometric training</b> 5                                                                                                             |               | <b>Sprint</b> 5                                              |                                            |
| 6340                              | 970                                                                                                                                      |               | 7327                                                         |                                            |
| <b>Endurance runners</b> 6        | <b>Concurrent training</b> 6                                                                                                             |               | <b>Time</b> 6                                                |                                            |
| 2640                              | 7050                                                                                                                                     |               | 3915188                                                      |                                            |
|                                   |                                                                                                                                          |               | <b>Performance</b> 7                                         |                                            |
|                                   |                                                                                                                                          |               | 940069                                                       |                                            |
|                                   |                                                                                                                                          |               | <b>Energy cost</b> 8                                         |                                            |
|                                   |                                                                                                                                          |               | 36365                                                        |                                            |
|                                   |                                                                                                                                          |               | <b>Lactate</b> 9                                             |                                            |
|                                   |                                                                                                                                          |               | 179410                                                       |                                            |
|                                   |                                                                                                                                          |               | <b>Time trial</b> 10                                         |                                            |
|                                   |                                                                                                                                          |               | 386348                                                       |                                            |
|                                   |                                                                                                                                          |               | <b>Economy</b> 11                                            |                                            |
|                                   |                                                                                                                                          |               | 883245                                                       |                                            |
| <b>1 OR 2 OR 3 OR 4 OR 5 OR 6</b> | <b>1 OR 2 OR 3 OR 4 OR 5 OR 6</b>                                                                                                        |               | <b>1 OR 2 OR 3 OR 4 OR 5 OR 6 OR 7 OR 8 OR 9 OR 10 OR 11</b> |                                            |
| 13838                             | 62737                                                                                                                                    |               | 5747009                                                      |                                            |
| <b>Celkem:</b>                    | <b>(1 OR 2 OR 3 OR 4 OR 5 OR 6) AND (1 OR 2 OR 3 OR 4 OR 5 OR 6) AND (1 OR 2 OR 3 OR 4 OR 5 OR 6 OR 7 OR 8 OR 9 OR 10 OR 11) AND (1)</b> |               |                                                              |                                            |
|                                   | <b>149</b>                                                                                                                               |               |                                                              |                                            |





**Obrázek 2.** Postup při vyhledávání studií pro finální analýzu

## 5. Výsledky

V databázi MEDLINE bylo nalezeno 1139 studií, z nichž které byly vyfiltrovány pouze randomizované kontrolovaných studií (149), které byly podrobeny další analýze relevantnosti názvů a abstraktů. Po posouzení názvů zbylo 23 studií a abstraktu 15. Po přečtení plných textů bylo k finální analýze určeno 13 prací. Podrobný popis tvorby vyhledávací strategie je na Obrázku 2 a analýza studií v tabulce 5.

### 5.1. Charakteristika vybraných studií

V Tabulce 7 jsou uvedeny všechny informace charakterizující výzkumné soubory, na nichž bylo testování prováděno. Vzhledem k malému počtu studií byl pro přehlednost jako identifikační element zvolen autor s rokem vydání. v tabulce je dále uveden počet probandů, jejich pohlaví a rozdělení do intervenční a kontrolní skupiny, případně při více typech intervencí do jednotlivých skupin, věk,  $VO_2max$ , pokud bylo dostupné, a výkonnostní charakteristiky.

Tabulka 8 znázorňuje designy studií. Délku trvání intervence, četnost tréninků během týdne, typ intervence, protože některé studie porovnávaly vliv silového a plyometrického tréninku, případně tréninku maximální síly, objem zatížení a jeho intenzitu, cviky, jež byly prostředky intervence, a běžecký trénink, který byl aplikován. Tabulky 7 a 8 jsou nezbytné jako kontext pro lepší a přesnější chápání výsledků, případně pro vyvozování závěrů.

V Tabulce 9 je shrnutím výsledků analyzovaných článků. Pro lepší srovnání jsou efekty intervencí uváděny v procentech, pokud byla v práci uvedena. Pro rychlé zorientování jsou v posledních sloupcích znázorněny trendy výstupů. Pomocí vodorovné šipky je vyjádřen nezměněný stav, šipka směřující vzhůru značí nárůst, opačná šipka pokles.

### 5.2. Charakteristika účastníků studie

Třinácti analyzovaných studií se účastnilo 274 osob, z nichž bylo 182 mužů a 47 žen. u 14 jednotlivců, kteří byli součástí studie Bertuzziho et al. (2013), nebylo pohlaví v práci specifikováno. Sato a Mokha (2009) uvádějí, že do testování vstoupilo 10 mužů a 18 žen, nicméně počet probandů se v průběhu studie snížil a finální rozdělení testovaných dle pohlaví autoři neuvádějí. Průměrný věk účastníků všech studií byl 30,74 let. u 8 testování byly uvedeny hodnoty  $VO_2max$ , jejichž průměrná hodnota byla  $60,29 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . v devíti

případech se jednalo o běžce rekreační – výkonnostní úrovně, ve čtyřech člancích autoři uvádí, že se jedná o vysoce trénované jedince nebo závodníky na mezinárodní úrovni.

### 5.3. Design studií

Všechny uvedené studie jsou randomizované kontrolované studie, což znamená, že kromě intervenční skupiny ve výzkumu figuruje také skupina kontrolní, která napomáhá hodnocení efektu intervence. Rozřazení do těchto skupiny bylo provedeno náhodně. Intervencí byl ve všech případech rozvoj silových schopností, nicméně metody se lišily. v 8 studiích byl aplikován trénink pro rozvoj maximální síly (v práci označován jako silový trénink), v 5 studiích plyometrický trénink, ve 2 případech trénink středu těla a v 1 případě maximální silový trénink (forma tréninku maximální síly). Některé testy srovnávaly i jednotlivé metody mezi sebou. Bertuzzi et al. (2013) měli jako hlavní cíl zjistit vliv šestitýdenního silového tréninku s nebo bez využití vibrací po celém těle na svalový a vytrvalostní výkon. Nicméně jako další skupiny v testu figurovala skupina provozující silový trénink a kontrolní skupina, která pokračovala pouze ve vytrvalostním tréninku, takže se výsledky těchto dvou skupin do přehledu daly využít. Studie trvaly 5–12 týdnů, ve více než polovině však trvala intervence 6 týdnů. Probandi absolvovali 1–4 tréninkové jednotky v týdnu, nejčastěji však dvě (6 studií). Objem tréninku intervenčního programu byl udáván v různých jednotkách, nikdy se však nejednalo o dlouhé tréninky (cca 30 minut). Intenzita zatížení byla závislá na typu tréninku. u všech intervencí byly uvedeny cviky, zpravidla byly použity cviky na rozvoj svalstva dolních končetin, u třech studií byly zařazeny i cviky zaměřené na svalstvo středu těla a paží. v 11 studiích byl silový trénink přidán k běžnému běžeckému tréninku, ve dvou studiích byl běžecký trénink upraven (Tabulka 8).

### 5.4. Porovnání vybraných studií

Při srovnání výstupů jednotlivých studií můžeme hledat tendence k vlivu silového tréninku na ekonomiku běhu a běžecký výkon. Pouze dvě studie hodnotily efekt stejnou metodou. Ostatní studie využívaly rozličných metod k hodnocení efektu.

V žádné z prací (8), kde bylo provedeno měření  $VO_2\text{max}$  před a po absolvování intervenčního programu, nebyly sledovány změny. v šesti z těchto osmi prací se objevují údaje o vývoji hmotnosti probandů, přičemž v pěti z nich nedošlo k žádné změně a v jednom případě k lehkému nárůstu. Zřejmě tedy silový trénink provozovaný 2–3x týdně nemá prokazatelný vliv na změny tělesné hmotnosti. Sedm studií zkoumalo efekt silového tréninku

na ekonomiku běhu, přičemž pouze jedna konstatuje neměnný stav. Šest studií dokládá pozitivní efekt, z čehož lze usoudit, že má silový trénink pozitivní vliv na ekonomiku běhu. v případě běžeckého výkonu ze sedmi studií pět prokázalo pozitivní efekt a dvě žádný, což naznačuje pozitivní dopad na běžecký výkon.

**Tabulka 6.** Přehled studií určených k finální analýze, \*počty citací k 25. 3. 2019 z Google Scholar

| <b>Autor</b>                          | <b>ID</b> | <b>Cíl studie</b>                                                                                                                                                 | <b>Časopis</b>                                             | <b>Počet citací</b> |
|---------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Ferrauti et al. (2010)</b>         | S1        | Efekt smíšeného silového a vytrvalostního tréninku na ekonomiku běhu a běžecký výkon u běžců připravujících se na maraton                                         | Journal of Strength and Conditioning Research              | 67                  |
| <b>Bertuzzi et al. 2013</b>           | S2        | Vliv šestitýdenního silového tréninku s nebo bez využití vibrací po celém těle na svalový a vytrvalostní výkon.                                                   | International Journal of Sports Medicine                   | 18                  |
| <b>Karsten et al. (2016)</b>          | S3        | Vliv šestitýdenního silového a kondičního tréninku na kritickou rychlost, vzdálenost uběhnutou v anaerobním pásmu a výkon v běhu na 5 kilometrů.                  | International Journal of Sports Physiology and Performance | 17                  |
| <b>Vorup et al. 2016</b>              | S4        | Vliv kombinovaného silového a rychlostního tréninku na výkon, ekonomiku a svalové adaptace u vytrvalostních běžců.                                                | European Journal of Applied Physiology                     | 14                  |
| <b>Hamilton et al. (2006)</b>         | S5        | Vliv vysoce intenzivního silového tréninku na výkon u vytrvalostních běžců.                                                                                       | International journal of sports physiology and performance | 43                  |
| <b>Spurrs et al. (2003)</b>           | S6        | Efekt plyometrického tréninku na výkon u vytrvalců spojeného se změnami tuhosti šlach a svalů dolních končetin.                                                   | European Journal of Applied Physiology                     | 483                 |
| <b>Saunders et al. (2006)</b>         | S7        | Vliv krátkodobého plymetrického tréninku na ekonomiku běhu u vytrvalců u dobře trénovaných běžců na krátké a dlouhé tratě                                         | Journal of Strength and Conditioning Research              | 248                 |
| <b>Turner et al. (2003)</b>           | S8        | Vliv šestitýdenního plyometrického tréninku na ekonomiku běhu.                                                                                                    | Journal of Strength & Conditioning Research                | 268                 |
| <b>Støren et al. (2008)</b>           | S9        | Efekt silového tréninku na ekonomiku běhu při 70 % VO <sub>2</sub> max a čas vyčerpání při rychlosti pod úrovní anaerobního prahu.                                | Medicine & Science in Sports & Exercise                    | 329                 |
| <b>Sato &amp; Mokha (2009)</b>        | S10       | Efekt šestitýdenního programu na rozvoj síly středu těla na reakční sílu země, stabilitu dolních končetin a výkon v při běhu u rekreačních a výkonnostních běžců. | Journal of Strength and Conditioning Research              | 258                 |
| <b>Berryman et al. (2010)</b>         | S11       | Srovnání efektu plyometrického a dynamického silového tréninku na energetickou náročnost běhu.                                                                    | Journal of Strength & Conditioning Research                | 67                  |
| <b>Piacentini et al. (2013)</b>       | S12       | Efekt 2 různých metod silového tréninku na ekonomiku běhu a silové parametry u vrcholových maratonských běžců.                                                    | The Journal of Strength and Conditioning Research          | 48                  |
| <b>Ramírez-Campillo et al. (2009)</b> | S13       | Vliv plyometrického tréninku na explozivní sílu a vytrvalost u závodních běžců na střední a dlouhé tratě.                                                         | Journal of Strength & Conditioning Research                | 66                  |

**Tabulka 7.** Přehled charakteristik populace jednotlivých studií

| ID  | n  | Pohlaví                       | Věk [rok]                                     | VO <sub>2</sub> max [ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> ] | Výkonnostní charakteristiky                                                                                                   |
|-----|----|-------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S1  | 22 | I: 9M, 2Ž;<br>K: 7M, 4Ž       | 40 ± 11,4                                     | -                                                             | Rekreační běžci; BMI 22,6 ± 2,1; 4,6 ± 1,4 hodin tréninků týdně                                                               |
| S2  | 14 | I: 8; K: 6                    | I: 31,5 ± 5; K: 33 ± 7                        | I: 58,5 ± 7,6; K: 57,6 ± 6,3                                  | Rekreační vytrvalostní běžci; BMI I: 25,9, K: 23,05                                                                           |
| S3  | 16 | I: 8M, 3Ž;<br>K: 6M, 2Ž       | I: 39 ± 5,1; K: 30 ± 7,7                      | I: 47,3 ± 4,8; K: 47 ± 7,4                                    | Středně trénovaní rekreační běžci a triatlonisti; 3–5 tréninků týdně, 180–300 minut týdně; BMI I: 23,62, K: 22,53             |
| S4  | 16 | I: 9M; K: 7M                  | I: 39,2 ± 5,4; K: 37,1 ± 11                   | I: 60,1 ± 5,7; K: 59,1 ± 5,8                                  | Trénování běžci běžající maraton, 1/2maraton a 10 km; 10 km I: 39 ± 2,8 min., K: 41,2 ± 3,4 min.                              |
| S5  | 20 | I: 10M; K: 10M                | I: 28 ± 8; K: 31 ± 6                          | I: 66 ± 7; K: 66 ± 3                                          | Běžci s týdenním náběhem minimálně 30 km, mající zaběhnutých 20 km pod 20 min; BMI I: 22,72, K: 23,04                         |
| S6  | 17 | I: 8M; K: 9M                  | 25 ± 4                                        | 57,6 ± 7,7; K: 57,8 ± 5,4                                     | 10 ± 6 let trénující běžci, 60–80 km.týden <sup>-1</sup> ; BMI 22,72                                                          |
| S7  | 15 | I: 7M; K: 8M                  | I: 23,4 ± 3,2; K: 24,9 ± 3,2                  | 71,1 ± 6                                                      | Závodníci na národní a mezinárodní úrovni; 107 ± 43 km.týdně <sup>-1</sup>                                                    |
| S8  | 18 | I: 5M, 6Ž;<br>K: 4M, 4Ž       | 29 ± 7                                        | I: 50,4 ± 9; K: 54 ± 7,2                                      | Dobrovolníci běžající nejméně v posledních 6 měsících 3x týdně 16,1 km.týdně <sup>-1</sup> ; BMI I: 22,4 ± 1,6, K: 23,4 ± 3,7 |
| S9  | 17 | I: 4M, 4Ž;<br>K: 5M, 4Ž       | I: 28,6 ± 10,1; K: 29,7 ± 7                   | I: 61,4 ± 5,1; K: 56,5 ± 8,2                                  | 17 dobře trénovaných vytrvalostních běžců; 5 km I: 1122,4 ± 58,4 s, K: 1162,6 ± 99,6 s                                        |
| S10 | 28 | I: 14, K: 14                  | 36,9 ± 9,4                                    | -                                                             | Rekreační a závodní běžci; I: 33,4 ± 10,7 km.týdně <sup>-1</sup> , K: 38,2 ± 10,32 km.týdně <sup>-1</sup>                     |
| S11 | 35 | S: 12; P: 11; K: 5            | S: 31 ± 7; P: 29 ± 8; K: 29 ± 11              | -                                                             | Středně a dobře trénovaní vytrvalostní běžci trénující 3–7x za týden; BMI S: 24,6 ± 2,3, P: 23,7 ± 3, K: 23,6 ± 2,6           |
| S12 | 16 | MAX: 4M, 2Ž; S: 3M, 2Ž; K: 5M | MAX: 44,2 ± 3,9; S: 44,8 ± 4,4; K: 43,2 ± 7,9 | -                                                             | Vysoce trénovaní vytrvalostní běžci závodící na tratích: 10 km, 1/2maraton, maraton                                           |
| S13 | 40 | I: 10M, 8Ž; K: 16M, 6Ž        | 21 ± 2,7                                      | -                                                             | Běžci závodící na středních a dlouhých tratích; 1500 m: 3:50–4:27, maraton: 2:32–2:52; BMI I: 2,9 ± 1,4, K: 20,5 ± 0,8        |

Vysvětlivky: Hodnota průměru ± SD, n = počet probandů, i = intervenční skupina, k = kontrolní skupina, M = muž, Ž = žena, BMI = body mass index, s = silový trénink, P = plyometrický trénink, MAX = maximální silový trénink

**Tabulka 8.** Přehled designů analyzovaných studií

| ID  | Délka [týden] | Četnost [týden]         | Typ | Objem                                         | Intenzita               | Zotavení | Cviky*                                                                                                                                                                                                      | Běžecký trénink                                                                                                                                                                      |
|-----|---------------|-------------------------|-----|-----------------------------------------------|-------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S1  | 8             | 2                       | S/C | 4x3–5,<br>3x20–25                             | 3–5 RM, 20–<br>25 RM    | -        | S: leg press, knee extension, knee flexion, hip extension, ankle extension, bench press, C: reverse fly, lateral flexion, trunk extension, trunk flexion, trunk rotation                                    | I: $240 \pm 121 \text{ min.t}^{-1}$ ,<br>K: $276 \pm 108 \text{ min.t}^{-1}$ ,<br>běžný tr.                                                                                          |
| S2  | 6             | 2                       | S   | -                                             | $\geq 70 \% \text{ RM}$ | 3        | Half squat                                                                                                                                                                                                  | Běžný tr.                                                                                                                                                                            |
| S3  | 12 (6)**      | 2                       | S   | 4x4                                           | 80 % RM                 | -        | Romanian deadlift, parallel squat, calf raises, lunges                                                                                                                                                      | Běžný tr.                                                                                                                                                                            |
| S4  | 8             | 2                       | S   | 1x10, 2x8,<br>3x6, 4x4                        | RM                      | -        | Squat, leg press, dead-lift                                                                                                                                                                                 | Běžný tr. střední int.<br>( $63 \text{ km.t}^{-1}$ ) nahrazen:<br>2x rychlostní<br>vytrvalostní tr., 2x<br>silový tr., 1x aerobní<br>tr. vysoké int., 1x<br>aerobní tr. střední int. |
| S5  | 5–7           | 10***                   | S   | 3x (20, 5x<br>30+30 s)                        | -                       | -        | Single leg jumps, sprints                                                                                                                                                                                   | Některé tr. nahrazeny<br>silovým                                                                                                                                                     |
| S6  | 6             | 2 (1.–3.),<br>3 (4.–6.) | P   | 60–180 kz                                     | -                       | 3        | Different types of vertical jump                                                                                                                                                                            | Běžný tr.                                                                                                                                                                            |
| S7  | 9             | 2 (1.),<br>3 (2.–9.)    | P   | 30 min.                                       | 60 % RM<br>(dřep)       | -        | Back extension, leg press, counter movement jump, hamstring curls, knee lifts, ankle jumps, alternate leg bounds skip for height, single leg ankle jump, continuous hurdle jumps, scissors jumps for height | Běžný tr.                                                                                                                                                                            |
| S8  | 6             | 3                       | P   | 50–110 kz                                     | -                       | -        | Vertical jumps, 1 leg vertical jumps, vertical spring jumps, split squat jumps, incline jumps                                                                                                               | Běžný tr.                                                                                                                                                                            |
| S9  | 8             | 3                       | S   | 4x4                                           | RM                      | -        | Half squat                                                                                                                                                                                                  | Běžný tr.                                                                                                                                                                            |
| S10 | 6             | 4                       | C   | 2x10 (1.-2.),<br>2x15 (3.-4.)<br>3x12 (5.-6.) | váha těla               | -        | Back extension on SB, abdominal crunch on SB, supine opposite 1 arm, 1 leg raise, Russian twist on SB, hip raise on SB                                                                                      | Běžný tr.                                                                                                                                                                            |

**Tabulka 8.** pokračování

| ID  | Délka [týden] | Četnost [týden] | Typ   | Objem                 | Intenzita                          | Zotavení | Cviky*                                                                                                                                                                                                        | Běžecský trénink                              |
|-----|---------------|-----------------|-------|-----------------------|------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| S11 | 8             | 1               | S/P   | S: 3–6x8              | S: 95 % RM,<br>P: 95 % RM          | -        | S: concentric semisquat,<br>P: drop jumps from box                                                                                                                                                            | Běžný tr., 2x intervalový, 1x tr. nízké int.  |
| S12 | 6             | 2               | MAX/S | MAX: 3x3–4<br>S: 3x10 | MAX: 85–<br>90 % RM, S:<br>70 % RM | -        | MAX: 1/2squat, calf raises, lunges, leg press, quadriceps contraction, bench press, lateral machine, push down, triceps extensions, dumbbell biceps curl, S: ****+ seated calf raises, push up, core strength | Běžný tr.                                     |
| S13 | 6             | 2               | P     | 3x(2x10)              | Box: 20 cm,<br>40 cm, 60 cm        | -        | Drop jumps                                                                                                                                                                                                    | I: 64,7 ± 18,8 km, K: 70 ± 19,3 km, běžný tr. |

Vysvětlivky: hodnota průměru ± SD, s = silový trénink, C = core trénink, RM = repetition max (maximální zvednutelná váha pro daný počet opakování), i = intervenční skupina, k = kontrolní skupina, min.t<sup>-1</sup> = minut za týden, d = dny, tr. = trénink, km.t<sup>-1</sup> = kilometrů týdně, int. = intenzita, (1.-3.) = v prvním až třetím týdnu intervence, P = plyometrický trénink, kz = kontaktů se zemí, MAX = maximální silový trénink, SB = gymnastický balon

\* názvy cviků ponechány pro přesnost v původním znění,

\*\* 6 týdnů intervence a 6 týdnů následného vytrvalostního tréninku,

\*\*\* totožné cviky s MAX s uvedenými cviky navíc



**Tabulka 9.** Výsledky analyzovaných studií

| ID  | Výsledky                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Hmotnost | EB | BV |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----|----|
| S1  | Žádné změny tělesné hmotnosti; žádná statisticky významná zlepšení v délce kroku, běžecské frekvenci, VO <sub>2</sub> při submaximální zátěži, zlepšení síly extenzorů nohy a flexorů trupu u intervenční skupiny                                                                                 | →        | →  | →  |
| S2  | Zlepšení RM o 17,8 ± 8 %, zlepšení maximální dynamické síly, žádné změny VO <sub>2</sub> max, žádné změny VO <sub>2</sub> peak                                                                                                                                                                    | -        | -  | →  |
| S3  | Průměrné zlepšení času na 5 km o 45 ± 24 s (3,62 %)                                                                                                                                                                                                                                               | -        | -  | ↑  |
| S4  | U i zlepšení na 400 m o 4,8 %, beep test o 18,5 %, rychlost na hranici ANP o 0,6 km.h <sup>-1</sup> , stupňovaný test do vyčerpání 9,2 %, sprint na 30 s o 4,5 %, Síla narostla o 30 % u SQ, 28 % u LP a DL; žádné změny ve výkonu na 10 km a VO <sub>2</sub> max                                 | -        | →  | →  |
| S5  | Zlepšení maximální rychlosti o 1,8 ± 1,1 %, rychlosti na úrovni laktátového prahu o 3,5 ± 3,4 %, předpokládané rychlosti na 800 m o 3,6 ± 1,8 %, předpokládané rychlosti na 1500 m 3,7 ± 3 %, rychlosti na 5 km o 1,2 ± 1,1 %; nárůst tělesné hmotnosti o 1,1 ± 1,1 %                             | ↑        | -  | ↑  |
| S6  | Žádné změny VO <sub>2</sub> max; EB se zlepšila při 12 km.h <sup>-1</sup> o 6,7 %, při 14 km.h <sup>-1</sup> o 6,4 %, při 16 km.h <sup>-1</sup> o 4,1 %; zlepšení vertikálního výskoku o 13,2 % a výkon na 3 km o 2,7 %; žádné změny tělesné hmotnosti                                            | →        | ↑  | ↑* |
| S7  | Zlepšení v pětiskoku o 14,7 %, v rychlosti dosažení maximální síly o 14 %; zlepšení EB při 18 km.h <sup>-1</sup> o 4,1 %; žádné změny VO <sub>2</sub> max                                                                                                                                         | -        | ↑  | →  |
| S8  | Žádné změny VO <sub>2</sub> max; zlepšení EB o 2–3 %, žádné změny spojené s elastickou energií                                                                                                                                                                                                    | -        | ↑  | -  |
| S9  | Zlepšení RM o 33,2 %; zlepšení EB o 5 %; prodloužení doby do vyčerpání při maximální aerobní rychlosti o 21,3 %; žádné změny VO <sub>2</sub> max, žádné změny tělesné hmotnosti                                                                                                                   | →        | ↑  | -  |
| S10 | Žádné změny ve stabilitě dolních končetin, reakční síle při dopadu; zlepšení času na 5 km u I: -0:47, K: -0:17                                                                                                                                                                                    | -        | -  | ↑  |
| S11 | Žádné změny tělesné hmotnosti ani tělesného složení; žádné změny VO <sub>2</sub> max; velký nárůst síly u S, malý nárůst u P; zlepšení EB u S: o 4 %, P: o 7%; efekt intervence na 3 km běh byl malý, ale u všech skupin (S: ES = 0,37, p < 0,05; P: ES = 0,46, p < 0,05; K: ES = 0,20, p < 0,05) | →        | ↑  | ↑  |
| S12 | Žádné změny tělesné hmotnosti; zlepšení MAX: RM o 17 %, S: 13 % ve STIF testu, K: 7 % ve vertikálním výskoku a výskoku z dřepu; v EB zlepšení u MAX o 6,17 % při maratonském tempu, u s a C žádné změny v EB                                                                                      | →        | ↑  | -  |
| S13 | Žádné změny tělesné hmotnosti; zrychlení na 2,4 km o 3,9 % a ve 20 m sprintu o 2,3 %                                                                                                                                                                                                              | →        | -  | ↑  |

Vysvětlivky: EB = ekonomika běhu, BV = běžecský výkon, RM = maximální váha, jež je schopen jedinec zvednout, i = intervenční skupina, k = kontrolní skupina, ANP = anaerobní práh, SQ = squat, LP = leg press, DL = dead lift, s = silový trénink, P = plyometrický trénink, ES - effect size (velikost efektu vypočítaný jako podíl rozdílu jednotlivých měření a směrodatné odchytky), MAX = maximální silový trénink, STIF test = test tuhosti svalů (odrážející se na EB)

\* zlepšení času na 3 km nekorelovalo se zlepšením EB, ale nedošlo zároveň ke zlepšení VO<sub>2</sub>max ani laktátového prahu

## 6. Diskuze

Účelem bakalářské práce bylo popsat a vyhodnotit dopad posilovacích intervenčních programů na ekonomiku běhu a běžecký výkon u maratonských, respektive vytrvalostních běžců. z výsledků vyplývá, že silový trénink (myšleno silový i plyometrický) kombinovaný s běžným vytrvalostním tréninkem po dobu šesti týdnů ve dvou až třech tréninkových jednotkách týdně má zpravidla pozitivní vliv na ekonomiku běhu i běžecký výkon. Tělesná hmotnost běžců se v závislosti na intervenci nemění (s výjimkou jednoho případu, kdy byl zaznamenán nárůst o  $1,1 \pm 1,1 \%$ ).  $VO_{2max}$  se jako jeden z nejdůležitějších determinantů vytrvalostního výkonu nemění, tudíž lze soudit, že k změnám v běžeckém výkonu došlo zejména díky zlepšení ekonomiky běhu, případně díky zlepšení nervosvalových funkcí.

Denadai, de Aguiar, de Lima, Greco a Caputo (2017) došli ve svém systematickém přehledu a analýze ke stejným výsledkům, kdy konstatují prospěšnost 6–14 týdnů trvajících silových intervenčních programů na ekonomiku běhu o velikosti 4 %. Navíc objevili, že mnohem větší výsledky mají déletrvajících intervenčních programy, tudíž dlouhodobé svalové adaptace v závislosti na kombinaci vytrvalostního a silového tréninku mají zásadní vliv na ekonomiku běhu. k podobným závěrům došli také Yamamoto et al. (2008), kteří na základě své systematic review tvrdí, že silový trénink zlepšuje vytrvalostní výkon na dlouhých tratích a ekonomiku běhu, kdy průměrná doba intervence dosahovala 9,2 týdne a byla aplikována na silově netrénovaných probandech. Pozitivní vliv na ekonomiku běhu shledali také Balsalobre-Fernández, Santos-Concejero a Grivas (2015), 80 % studií prokázalo velký efekt. Navíc uvádí, že jeden silový trénink týdně nestačí, u 80 % analyzovaných prací byly aplikovány 3 tréninkové jednotky týdně. v robustním přehledu dosud publikovaných článků vytvořeném Blagrovem, Howatsonem a Hayesem (2018) se autoři shodují v závěrech s výše uvedenými autory.

Pokud bychom chtěli srovnat vliv plyometrického a silového tréninku, tak z pěti studií zkoumajících vliv silového tréninku na ekonomiku běhu měly 3 pozitivní vliv, zatímco plyometrického se jednalo o čtyři ze čtyř. Jednoznačnější pozitivní vliv na ekonomiku běhu měl tedy plyometrický trénink. v případě běžecké výkonnosti byl testován vliv v šesti pracích za použití silového intervenčního programu, přičemž tři měření prokázala pozitivní vliv a tři žádný vliv. Autoři sledovali změny ve výkonu za použití plyometrického intervenčního programu čtyřikrát a z toho měl třikrát pozitivní a jednou žádný efekt.

Signifikantní vliv na běžecký výkon měly zejména intervence ve vědeckých pracích S3 a S10. v S3 došlo ke zlepšení o 3,62 %, což odpovídalo  $45 \pm 24$  s na 5 km. Jako cviky zde byly využity rumunský mrtvý tah, paralelní dřep a výpony. Běžecký trénink nebyl nijak pozměněn. S10 využívala pouze posilování středu těla za pomoci gymnastického balónu. Takto postavený tréninkový program bez zapojení přímého posilování dolních končetin vedl u intervenční skupiny ke zlepšení o 30 sekund na pěti kilometrech oproti skupině kontrolní.

### 6.1. Aplikace do praxe

Na základě systematického přehledu randomizovaných kontrolovaných studií lze tvrdit, že silový trénink je vhodný pro maratonské běžce bez ohledu na jeho charakter (plyometrický, silový či core trénink). v žádném z testování nebyl zaznamenán negativní vliv na ekonomiku běhu či výkon v běhu, nebyl sledován nárůst tělesné hmotnosti. Pozitivní vliv lze konstatovat v souvislosti s ekonomikou běhu, spíše pozitivní potom s výkonem v běhu. Pro signifikantní efekt jsou výhodnější dlouhodobě provozované tréninky zaměřené na rozvoj síly, které by měly být absolvovány alespoň 2x týdně. Cviky by měly být zaměřené na rozvoj síly dolních končetin či středu těla.

### 6.2. Limity práce

Pro větší soubor analyzovaných zdrojů by bylo vhodné použít více vyhledávacích databází. Provedení meta-analýzy by poskytlo číselné vyjádření efektu intervence, takže by bylo možné provedení přesného srovnání tréninkových programů a objektivní zhodnocení vlivu celkově.

### 6.3. Budoucí možnosti

Při analýze databází bylo zaznamenáno rostoucí množství studií zabývajících se silovým tréninkem jako prevencí zranění u vytrvalostních běžců. Jistě by bylo vzhledem k důležitosti a aktuálnosti problematiky přínosné ji zpracovat.

## 7. Závěry

- Silový trénink ve všech formách (rozvoj maximální síly, plyometrický, zaměřený na posílení středu těla) má pozitivní vliv na ekonomiku běhu a výkon u maratonských běžců.
- Měl by figurovat v tréninkovém plánu nejméně dvakrát týdně.
- Dlouhodobý silový trénink (6 a více týdnů) má větší vliv na ekonomiku běhu a běžecký výkon, než krátkodobý (6 týdnů).
- Není třeba měnit běžecký trénink v souvislosti se silovou složkou tréninkového plánu.
- Silový trénink nezpůsobuje nárůst tělesné hmotnosti u maratonských běžců.

## 8. Souhrn

Maraton patří mezi disciplíny lehké atletiky, je dlouhý 42,195 km a hodnoty současného světového rekordu (2019) se blíží hranici 2 hodin (Eliud Kipchoge–2:01:39 Berlín, 16. 9. 2018). Je zřejmé, že vědecké poznání o maratonu pokročilo natolik, že v budoucnu již budou rozhodovat detaily. Jedním z nich může být použití a správné nastavení silového tréninku.

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo vytvořit systematický přehled randomizovaných kontrolovaných studií zkoumajících vliv silového tréninku na běžecký výkon a ekonomiku běhu maratonce a dále porovnat vliv plyometrického a silového intervenčního programu.

Pro vyhledávání zdrojů byla použita databáze MEDLINE, přičemž byla vytvořena vyhledávací strategie za využití PICO otázky. Kritériem inkluze byl mimo jiné design studie, takže byly vybírány pouze randomizované kontrolované studie. Tímto způsobem bylo nalezeno 149 studií, které byly dále analyzovány dle názvu a abstraktu. z 15 vybraných bylo po přečtení plných textů vybráno 13 do finální analýzy.

Ve všech pracích (8), kde bylo provedeno měření  $VO_2\max$  před a po absolvování intervenčního programu, nebyly sledovány žádné změny. v šesti pracích se objevují údaje o vývoji hmotnosti probandů, přičemž v pěti studiích nedošlo k žádné změně a v jednom případě k lehkému nárůstu. Zřejmě tedy silový trénink provozovaný 2–3x týdně nemá prokazatelný vliv na změny tělesné hmotnosti. Sedm studií zkoumalo efekt silového tréninku na ekonomiku běhu, přičemž pouze jedna neprokázala pozitivní vliv, ale žádný efekt. Šest studií dokládá pozitivní efekt, z čehož lze usoudit, že má silový trénink pozitivní vliv na ekonomiku běhu. v případě běžeckého výkonu ze sedmi studií pět prokázalo pozitivní efekt a dvě žádný, což naznačuje pozitivní dopad na běžecký výkon.

Silový trénink jakéhokoliv charakteru má vesměs pozitivní vliv na ekonomiku běhu a běžecký výkon. Pro signifikantní efekt jsou výhodnější dlouhodobě prováděné tréninky zaměřené na rozvoj síly, které by měly být absolvovány alespoň 2x týdně. Cviky by měly být zaměřené na rozvoj síly dolních končetin či středu těla.

## 9. Summary

Marathon is an athletic discipline, it is 42,195 km long, and the marathon world record is getting closer to 2 hours (Eliud Kipchoge–2:01:39 Berlin, 16. 9. 2018). It is evident that the knowledge about marathon running has advanced to such an extent that in the future, it will be these findings which will determine the runners' results. a proper usage of strength training could be one of the influencing factors.

The aim of this bachelor thesis is to make a systematic review using randomized controlled trials which deal with the effects of strength training on the running performance and the running economy. It also compares the impact of plyometric training with strength training.

Electronic database, MEDLINE, was used as a searching tool, and the searching strategy was created using the PICO's question. One of the inclusion criteria was the design of study, so only the randomized controlled trials were included. a total of 149 studies were generated and analysed on the base of their title and abstract. 15 of them were suitable and after reviewing the full texts, 13 of them were chosen for further analysis.

Strength training in every form has a positive effect on the running performance and the running economy of marathon runners. Therefore, it should be included in a training plan at minimum twice a week for at least 6 weeks (the longer period the better) without any other change in training.

In the studies, where  $VO_2\text{max}$  was measured before and after the intervention program (8 of them), there were no signs of change. The data about body weight are covered in 6 studies, in 5 cases the weight was stable and in one case there was a slight increase in weight. Apparently, the strength training performed 2–3 times a week does not have a verifiable effect on body weight. 7 studies examined the effects of strength training on the running economy and only one of them confirmed no effect. Therefore, it is possible to conclude that the strength training positively influences the running economy. In the case of running performance, 5 out of 7 studies proved a positive effect, and the remaining two drew a conclusion of no influence. It suggests a positive impact on the running performance.

Each type of strength training has a predominantly beneficial effect on the running economy and the running performance. The strength trainings performed at least twice a week for a longer period of time will ensure a significant impact on the economy and performance. The exercises should focus on developing the strength of lower limbs and trunk.

## 10. Referenční seznam

- Akerström, T. C., & Pedersen, B. K. (2007). Strategies to enhance immune function for marathon runners : What can be done? *Sports Medicine*, 37(4–5), 416–419.
- Areces, F., González-Millán, C., Salinero, J. J., Abian-Vicen, J., Lara, B., Gallo-Salazar, C., ... Del Coso, J. (2015). Changes in serum free amino acids and muscle fatigue experienced during a half-ironman triathlon. *PLoS ONE*, 10(9), 1–11.
- Areces, F., Salinero, J. J., Abian-Vicen, J., González-Millán, C., Gallo-Salazar, C., Ruiz-Vicente, D., ... Del Coso, J. (2014). A 7-day oral supplementation with branched-chain amino acids was ineffective to prevent muscle damage during a marathon. *Amino Acids*, 46(5), 1169–1176.
- Balsalobre-Fernández, C., Santos-Concejero, J., & Grivas, G. V. (2015). Effects of Strength Training on Running Economy in Highly Trained Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(8), 2361–2368.
- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2014). Strategies to Improve Running Economy. *Sports Medicine*, 45(1), 37–56.
- Bertuzzi, R., Bishop, D., Lima-Silva, A., Damasceno, M., Tricoli, V., Pasqua, L., & Bueno, S. (2013). Strength-Training with Whole-Body Vibration in Long-Distance Runners: A Randomized Trial. *International Journal of Sports Medicine*, 34(10), 917–923.
- Biasutti, L., Garra, M., Giovanelli, N., Copetti, J., Vaccari, F., Rejc, E., ... Lazzer, S. (2018). Short-Term Effects of Rolling Massage on Energy Cost of Running and Power of the Lower Limbs. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(10), 1337–1343.
- Blackwell, J. R., Wilkerson, D. P., Tarr, J., Jones, A. M., Vanhatalo, A., Benjamin, N., ... DiMenna, F. J. (2009). Dietary nitrate supplementation reduces the O<sub>2</sub> cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 107(4), 1144–1155.
- Blagrove, R. C., Howatson, G., & Hayes, P. R. (2018). Effects of Strength Training on the Physiological Determinants of Middle- and Long-Distance Running Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 48(5), 1117–1149.
- Boldt, P., Nikolaidis, P., Lechleitner, C., Wirnitzer, G., Leitzmann, C., Rosemann, T., & Wirnitzer, K. (2018). Quality of life of female and male vegetarian and vegan endurance runners compared to omnivores-results from the NURMI study (step 2). *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15.

- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, část 1.)*. Olomouc, Česká republika: Univerzita Palackého.
- Burke, L. M. (2007). Nutrition strategies for the marathon: Fuel for training and racing. *Sports Medicine*, 37(4–5), 344–347.
- Burke, L. M. (2008). Caffeine and sports performance - Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, Volume 33(6)*, 1319–1334.
- Burne, S. (2019). Iliotibial band friction syndrome. *Sydney Sports Medicine Centre*. Retrieved from <https://www.ssmc.com.au/education/itbfs.html>
- Cayco, C. S., Labro, A. V., & Gorgon, E. J. R. (2019). Hold-relax and contract-relax stretching for hamstrings flexibility: A systematic review with meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, 35, 42–55.
- Coutts, A. J., Duffield, R., Fullagar, H. H. K., Hammes, D., Meyer, T., & Skorski, S. (2014). Sleep and Athletic Performance: The Effects of Sleep Loss on Exercise Performance, and Physiological and Cognitive Responses to Exercise. *Sports Medicine*, 45(2), 161–186.
- Crooks, C. V., Wall, C. R., Cross, M. L., & Rutherford-Markwick, K. J. (2006). The effect of bovine colostrum supplementation on salivary IgA in distance runners. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 16(1), 47–64.
- Dawson, L. G., Dawson, K. A., & Tiidus, P. M. (2004). Evaluating the influence of massage on leg strength, swelling, and pain following a half-marathon. *Journal of Sports Science and Medicine*, 3(1), 37–43.
- Denadai, B. S., de Aguiar, R. A., de Lima, L. C. R., Greco, C. C., & Caputo, F. (2017). Explosive Training and Heavy Weight Training are Effective for Improving Running Economy in Endurance Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 47(3), 545–554.
- Douglas, R., Hemilä, H., Chalker, E., & Treacy, B. (2008). Cochrane review: Vitamin C for preventing and treating the common cold. *Evidence-Based Child Health: A Cochrane Review Journal*, 3(3), 672–720.
- Ehrman, J. K., Kerrigan, D. J., & Steven, K. J. (2018). *Advanced Exercise physiology: essential concept and applications*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Eichner, R. (2007). The Role of Sodium in 'Heat Cramping'. *Sports Medicine*, 37(4–5), 368–370.
- Enoksen, E., Tjelta, A. R., & Tjelta, L. I. (2011). Distribution of Training Volume and Intensity of Elite Male and Female Track and Marathon Runners. *International Journal*



- of Sports Science & Coaching*, 6(2), 273–293. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.6.2.273>
- Factors, R., & Schwellnus, M. P. (2007). Muscle Cramping in the Marathon. *Sports Medicine*, 37(4–5), 364–367.
- Foster, C., & Lucia, A. (2007). Running Economy: The forgotten factor in elite performance. *Sports Medicine*, 37(4), 316–319.
- Fredericson, M., & Misra, A. K. (2007). Epidemiology and aetiology of marathon running injuries. *Sports Medicine*, 37(4–5), 437–439.
- Friel, J. (2014). *Tréninková bible pro triatlonisty*. Praha: Mladá fronta.
- Gambetta, V. (1998). Plyometrics: Myths & Misconceptions. *Sports Coach, Summer*, 7–12.
- Gleeson, M. M. (2006). Immune Function in Sport and Exercise. *Immune Function in Sport and Exercise*, 693–699.
- Gleim, G. W., Stachenfeld, N. S., & Nicholas, J. A. (1990). The influence of flexibility on the economy of walking and jogging. *Journal of Orthopaedic Research*, 8(6), 814–823.
- Godek, S. F., Morrison, K. E., & Scullin, G. (2017). Cold-Water Immersion Cooling Rates in Football Linemen and Cross-Country Runners With Exercise-Induced Hyperthermia. *Journal of Athletic Training*, 52(10), 902–909.
- Goodson, L. B., Bullard, J. W., Glass, R. T., & Conrad, R. S. (2003). Nutrition and Athletic Performance. *General Dentistry*, 51(5), 383.
- Grasgruber, P., & Cacek, J. (2008). *Sportovní geny*. Brno: Computer Press.
- Guglielmo, L. G. A., Greco, C. C., & Denadai, B. S. (2009). Effects of strength training on running economy. *International Journal of Sports Medicine*, 30(1), 27–32.
- Haff, G. G., & Triplett, T. N. (2016). *Essentials of strength training and conditioning*. Champaign: Human Kinetics.
- Hargreaves, M., & Spriet, L. (2006). *Exercise metabolism*. Champaign: Human Kinetics.
- Haymes, E. M., White, J. P., Arguello, E. M., Greer, B. K., & Woodard, J. L. (2016). Branched-Chain Amino Acid Supplementation and Indicators of Muscle Damage after Endurance Exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17(6), 595–607.
- Heller, J. (2018). *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu: Východiska, aplikace a interpretace*. Praha: Karolinum.
- Hitehead, M. A. T. W., Artin, T. Y. D. M., Cheett, T. I. P. S., & Ebster, M. I. J. W. (2012). Running economy and maximal oxygen consumption after 4 weeks of oral Echinacea supplementation. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(7), 1928–1933.
- Hopwell, R., Craib, M. W., Morgan, D. W., Cooper, T. R., Fields, K. B., & Mitchel, V. A.

- (2003). The association between flexibility and running economy in sub-elite male distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(6), 737–743.
- Hunter, G. R., Katsoulis, K., McCarthy, J. P., Ogard, W. K., Bamman, M. M., Wood, D. S., ... Newcomer, B. R. (2011). Tendon length and joint flexibility are related to running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(8), 1492–1499.
- Chalfen, D. (2014). *Trénujeme na maraton a půlmaraton: Jak zlepšit výkon ve vytrvalostním běhu*. Praha: Ikar.
- Cheuvront, S. N., & Haymes, E. M. (2006). Thermoregulation and Marathon Running. *Sports Medicine*, 31(10), 743–762.
- Cheuvront, S. N., Montain, S. J., & Sawka, M. N. (2007). Fluid Replacement and Performance During the Marathon. *Sports Medicine*, 37(4–5), 353–357.
- Chidley, C., & Davison, G. (2018). The effect of *Chlorella pyrenoidosa* supplementation on immune responses to 2 days of intensified training. *European Journal of Nutrition*, 57(7), 2529–2536.
- Chorley, J. N. (2007). Hyponatraemia: Identification and evaluation in the marathon medical area. *Sports Medicine*, 37(4–5), 451–454.
- Janura, M. (2007). *Úvod do biomechaniky pohybového systému člověka*. Olomouc, Česká republika: Univerzita Palackého.
- Jeukendrup, A. E. (2011). Nutrition for endurance sports: Marathon, triathlon, and road cycling. *Journal of Sports Sciences*, 29(SUPPL. 1).
- Jones, M. (2002). Running economy is negatively related to sit-and-reach test performance in international-standard distance runners. *International Journal of Sports Medicine*, 23, 40–43.
- Kay, A. D., Husbands-Beasley, J., & Blazevich, A. J. (2015). Effects of Contract-Relax, Static Stretching, and Isometric Contractions on Muscle-Tendon Mechanics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(10), 2181–2190.
- Kipps, C., Sharma, S., & Pedoe, D. T. (2011). The incidence of exercise-associated hyponatraemia in the London Marathon. *British Journal of Sports Medicine*, 45(1), 14–19.
- Klimešová, I., & Stelzer, J. (2013). *Fyziologie výživy*. Olomouc, Česká republika: Univerzita Palackého.
- Knechtle, B., Mrazek, C., Wirth, A., Knechtle, P., Ruest, C. A., Senn, O., ... Ballmer, P. (2012). Branched-Chain Amino Acid Supplementation during a 100-km Ultra-Marathon — A Randomized Controlled Trial. *Journal of Nutritional Science and*

- Vitaminology*, 58(1), 36–44.
- Knechtle, B., Wirth, A., & Knechtle, P. (2010). Training volume and personal best time in marathon, not anthropometric parameters, are associated with performance in male 100-km ultrarunners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 604–609.
- Kršák, P. (1979). *Novoveké olympiády: Olympijské hry a ich hrdinovia od Atén po Moskvu*. Bratislava: Šport.
- Laukkanen, J. A., Laukkanen, T., & Kunutsor, S. K. (2018). Cardiovascular and Other Health Benefits of Sauna Bathing: A Review of the Evidence. *Mayo Clinic Proceedings*, 93(8), 1111–1121.
- Lehnert, M., Kudláček, M., Háp, P., Bělka, J., Neuls, F., Ješina, O., ... Šťastný, P. (2014). *Sportovní trénink I*. Olomouc, Česká republika: Univerzita Palackého.
- Lehnert, M., Novosad, J., & Neuls, F. (2001). *Základy sportovního tréninku*. Olomouc, Česká republika: Hanex.
- Lieberman, D. E., & Bramble, D. M. (2007). The Evolution of Marathon Running. *Sports Medicine*, 37(4), 288–290.
- Loucks, A. B. (2007). Low energy availability in the marathon and other endurance sports. *Sports Medicine*, 37(4–5), 348–352.
- Lowery, R. P., Joy, J. M., Brown, L. E., Oliveira de Souza, E., Wistocki, D. R., Davis, G. S., ... Wilson, J. M. (2014). Effects of static stretching on 1-mile uphill run performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(1), 161–167.
- Machado, A. F., Vanderlei, F. M., Netto, L. M., Albuquerque, M. C., Pastre, C. M., Vanderlei, L. C. M., ... Almeida, A. C. (2015). The effects of cold water immersion with different dosages (duration and temperature variations) on heart rate variability post-exercise recovery: A randomized controlled trial. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(8), 676–681.
- Martin, T., Arnal, P. J., Hoffman, M. D., & Millet, G. Y. (2018). Sleep habits and strategies of ultramarathon runners. *PLoS ONE*, 13(5), 1–18.
- Maughan, Ron J, Watson, P., & Shirreffs, S. M. (2007). Heat and cold: What does the environment do to the marathon runner?[Conference Paper]. *Sports Medicine*, 37(4), 396(4).
- Maughan, Ronald J., & Shirreffs, S. M. (2008). Development of individual hydration strategies for athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18(5), 457–472.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (1991). *Excercise physiology: Nutrition, energy,*

- and human performance*. Philadelphia/London: Lea and Febiger.
- Millet, G. P., Jaouen, B., Borrani, F., & Candau, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and  $\dot{V}O_2$  kinetics. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(8)(10), 1351–1359.
- Murach, K., Greever, C., & Luden, N. D. (2015). Skeletal muscle architectural adaptations to marathon run training. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(1), 99–102.
- Narducci, F., Quercetani, R. L., Magnani, M., & Škorpil, Š. (2005). *Nejvýznamnější maratony světa a jejich historie: Od New Yorku po Prahu: Putování po 10 nejslavnějších maratonech světa*. Praha: Tempo Team.
- Nieman, D. C. (2007). Marathon Training and Immune Function. *Sports Medicine*, 37(4–5), 412–415.
- Noakes, T. D. (2007). Reduced peripheral resistance and other factors in marathon collapse. *Sports Medicine*, 37(4–5), 382–385.
- Pedoe, D. S. T. (2007). Marathon medical support historical perspectives: “From cradle to averting the grave.” *Sports Medicine*, 37(4–5), 291–293.
- Perič, T., & Dovalil, J. (2010). *Sportovní trénink*. Praha: Grada Publishing.
- Pfeiffer, B., Stellingwerff, T., Hodgson, A. B., Randell, R., Pöttgen, K., Res, P., & Jeukendrup, A. E. (2012). Nutritional intake and gastrointestinal problems during competitive endurance events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(2), 344–351.
- Poppendieck, W., Wegmann, M., Ferrauti, A., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Meyer, T. (2016). Massage and Performance Recovery: A Meta-Analytical Review. *Sports Medicine*, 46(2), 183–204.
- Powers, S. K., & Howley, E. T. (1997). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance*. Madison: Brown and Benchmark.
- Purdom, T., Kravitz, L., Dokladny, K., & Mermier, C. (2018). Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), 1–10.
- Rapoport, B. I. (2010). Metabolic factors limiting performance in marathon runners. *PLoS Computational Biology*, 6(10).
- Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E., & Wolfe, R. R. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 265(3), E380–E391.

- Santos, E. B., & Diniz, G. B. (2014). A to Z of nutritional supplements: Dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance. *Revista Brasileira de Geofisica*, 32(3), 371–381.
- Santos, V. C., Levada-Pires, A. C., Alves, S. R., Pithon-Curi, T. C., Curi, R., & Cury-Boaventura, M. F. (2013). Effects of DHA-rich fish oil supplementation on lymphocyte function before and after a marathon race. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 23(2), 161–169.
- Sato, K., & Mokha, M. (2009). Does Core Strength Training Influence Running Kinetics, Lower-Extremity Stability and 5000-M Performance in Runners? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 133–140.
- Sheherazade, Hesdianti, E., & Indrawan, M. (2017). Strategies for Optimising Marathon Performance in the Heat. *Ecology, Conservation and Management of Wild Pigs and Peccaries*, 37, 70–75.
- Shrier, I. (2004). Does Stretching Improve Performance?: A Systematic and Critical Review of the Literature. *Sports Medicine*, 14(5), 267–273.
- Schireffs, S. M., Armstrong, L. E., & Chevront, S. N. (2004). Fluid and electrolyte needs for preparation and recovery from training and competition. *Journal of Sports Sciences*, 22(1), 57–63.
- Spriet, L. L. (2007). Regulation of substrate use during the marathon. *Sports Medicine*, 37(4–5), 332–336.
- Stellingwerff, T. (2012). Case Study: Nutrition and Training Periodization in Three Elite Marathon Runners. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 22, 392–400.
- Stellingwerff, T. (2013). Contemporary nutrition approaches to optimize elite marathon performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(5), 573–578.
- Stellingwerff, T. (2016). Competition Nutrition Practices of Elite Ultramarathon Runners 94 Stellingwerff Background and Athletes. *CASE STUDY International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 26(1), 93–99.
- Stoggl, T., & Wunsch, T. (2016). *Marathon running: Physiology, psychology, nutrition and training aspects*. *Marathon Running: Physiology, Psychology, Nutrition and Training Aspects*.
- Stull, K. (2018). *Complete guide to foam rolling*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Sutkowy, P., Woźniak, A., Boraczyński, T., Mila-Kierzenkowska, C., & Boraczyński, M.

- (2014). The effect of a single Finnish sauna bath after aerobic exercise on the oxidative status in healthy men. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 74(2), 89–94.
- Škarabot, J., Beardsley, C., & Stirn, I. (2015). Original Research Comparing the Effects of Self-Myofascial. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(April), 203–212.
- Tesař, V. (2015). *Klasické masáže*. Praha: Grada Publishing.
- Tvrzník, A., Škorpil, M., & Soumar, L. (2006). *Běhání od joggingu po maraton*. Praha: Grada Publishing.
- Van Hooren, B., & Peake, J. M. (2018). Do We Need a Cool-Down After Exercise? A Narrative Review of the Psychophysiological Effects and the Effects on Performance, Injuries and the Long-Term Adaptive Response. *Sports Medicine*, 48(7), 1575–1595.
- Versey, N. G., Halson, S. L., & Dawson, B. T. (2013). Water immersion recovery for athletes: Effect on exercise performance and practical recommendations. *Sports Medicine*, 43(11), 1101–1130.
- Walsh, N. P., Gleeson, M., Shephard, R. J., Gleeson, M., Woods, J. A., Bishop, N., ... Simon, P. (2011). Position statement part one: Immune function and exercise. *Association for the Advancement of Sports Medicine*, 17, 6–63.
- Wiewelhoeve, T., Schneider, C., Döweling, A., Hanakam, F., Rasche, C., Meyer, T., ... Ferrauti, A. (2018). Effects of different recovery strategies following a half-marathon on fatigue markers in recreational runners. *PLoS ONE*, 13(11).
- Wilson, P. B. (2016). Nutrition behaviors, perceptions, and beliefs of recent marathon finishers. *Physician and Sportsmedicine*, 44(3), 242–251.
- Wilson, P. B., Ingraham, S. J., Lundstrom, C., & Rhodes, G. (2013). Dietary tendencies as predictors of marathon time in novice marathoners. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 23(2), 170–177.
- Yamamoto, L. M., Lopez, R. M., Klau, J. F., Casa, D. J., Kraemer, W. J., & Maresh, C. M. (2008). The effects of resistance training on endurance distance running performance among highly trained runners: A systematic review. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(6), 2036–2044.
- Zinner, C., & Sperlich, B. (2016). *Marathon running: Physiology, psychology, nutrition and training aspects*. Switzerland: Springer International Publishing.