

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Fakulta tělesné kultury

HODNOCENÍ TECHNIKY BĚHU U ŽÁKŮ ATLETICKÝCH SPORTOVNÍCH TŘÍD  
POMOCÍ INERCIÁLNÍCH SENZORŮ

Diplomová práce

(magisterská)

Autor: Jan Morcinek, tělesná výchova a sport,  
trenérství a management sportu

Vedoucí práce: Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.

Olomouc, 2019

**Jméno a příjmení autora:** Jan Morcinek  
**Název diplomové práce:** Hodnocení techniky běhu u žáků atletických sportovních tříd pomocí inerciálních senzorů  
**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v Kinantropologii  
**Vedoucí diplomové práce:** Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.  
**Rok obhajoby diplomové práce:** 2019

### **Abstrakt**

Cílem práce je zhodnocení vztahu mezi variabilitou úhlových rychlostí získaných z inerciálního senzoru, umístěného na zádech v oblasti těžiště těla a technikou, rychlostí běhu, věkem a pohlavím běžců. Výzkumu se zúčastnilo 48 žáků atletických sportovních tříd ve věku 12 až 15 let, kteří v rámci výzkumu absolvovali v rozmezí jednoho týdne deset opakovaných běhů na 60m (5x maximální rychlost, 5x 70% rychlost) v podmínkách atletického tréninku. Pro posouzení vztahů mezi proměnnými byl použit Spearmanův korelační koeficient, rozdíly mezi skupinami byly hodnoceny pomocí Mann Whitney U testu. Výzkum ukázal minimum statisticky významných vztahů mezi variabilitou pohybu těžiště s rychlostí a technikou lokomoce. Jako žádoucí se jeví minimalizace variability úhlové rychlosti pohybu těžiště v sagitální rovině a optimalizace (zvýšení) v rovině transverzální. U dalších hodnocených parametrů nebyla prokázána statistická významnost mimo jiné z důvodu malé velikosti výzkumného souboru.

**Klíčová slova:** Akcelerometrie, atletika, inerciální senzory, sportovní trénink, technika běhu

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

**Author's first name and surname:** Jan Morcinek  
**Title of the master thesis:** Evaluation of Running Technique of Athletic Sports Class Members with the Use of Inertial Measurement Units  
**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology  
**Supervisor:** Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.  
**The year of presentation:** 2019

### **Abstract**

The aim of this work is to valorize the relation between the angular velocity variability measured by inertial measurement unit clipped on body in lumbar part of the back near centre of mass and running technique, velocity, age and gender. 48 participants of athletic sport class in the age from 12 to 15 were involved in research underwent ten repeated 60m runs (2 units of 5 runs) in range of one week in conditions of athletic training. Spearman correlation coefficient for assessment of relationship of variables and Mann Whitney U test for group variability were used for the research. Research discovered a minimum significant relations of angular velocity variability and running technique and velocity. The minimalization of angular velocity variability in saggital plane and optimalization (increase) in transverse appears as suitable for running. Concerning other variables no significance was found among others for small research group.

**Keywords:** Accelerometry, athletics, inertial measurement unit, running technique, sport training

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením Mgr. Zdeňka Svobody, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržel zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 27. června 2019

.....

Děkuji Mgr. Zdeňku Svobodovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady, které mi poskytl při zpracování diplomové práce.

## Obsah

Úvod.....	7
Přehled poznatků.....	8
Běh .....	8
Běh jako atletická disciplína.....	8
Fyziologie běhu .....	10
Technika běhu .....	16
Oporová fáze.....	16
Letová fáze .....	19
Práce horní poloviny těla .....	19
Technika sprintu .....	20
Technika distančního běhu .....	22
Sportovní trénink běhu .....	23
Metody analýzy techniky běhu.....	27
Akcelerometrie.....	29
Starší školní věk.....	32
Specifika sportovního tréninku ve starším školním věku .....	36
Cíle a hypotézy .....	40
Cíle .....	40
Hypotézy .....	40
Metodika .....	41
Výzkumný soubor .....	41
Postup měření.....	41
Zpracování dat.....	43
Výsledky .....	44
Diskuze .....	48
Závěr .....	51
Souhrn.....	52
Summary.....	53
Referenční seznam.....	54

## Úvod

Běh je sportovní odvětví se strmě rostoucí popularitou (Van Dyck, Cardon, Bourdeaudhuij, Ridder & Willem, 2017). Roste zájem o organizované atletické tréninky mezi dětmi, přibývá také dospělých rekreačních běžců.

Běh s sebou nese řadu zdravotních aspektů, jak pozitivních, tak negativních. V současnosti je předmětem výzkumu řada faktorů, které provedení běhu ovlivňují jako jsou správné běžecké vybavení, vliv terénu, vnější i vnitřní podmínky (Mooses et al., 2013; Phan et al., 2017). Také aspekt maximalizace rychlosti běhu a zvýšení jeho ekonomiky je častým předmětem zkoumání v rámci sportovního tréninku (Majumdar & Robergs, 2011).

V obou pohledech hraje významnou roli běžecká technika. Odstraňování nedostatků a přibližování k optimálnímu provedení běhu je cílem atletických trenérů mládeže. Trenéři se při analýze zpravidla spoléhají na vlastní pozorování a zkušenosti s podporou videoprojekce (Martínková, 2011). Tato práce mj. zkoumá využitelnost dat z inerciálních přístrojů k posouzení správnosti techniky běhu.

Ve výzkumech zaměřených na techniku běhu se zpravidla více využívalo laboratorních testů na běžeckém pásu, nicméně technika běhu na páse není zcela totožná s během na nehybném povrchu země (Kenneally-Dabrowski, Serpell, & Spratford, 2018). Pro analýzu běhu v přirozených podmínkách se jako velmi slibná jeví akcelerometrie, a to jak pro mobilitu přístrojů, tak relativně nízké náklady. Výzkumy však zatím byly zaměřeny zejména na dospělou populaci (Patterson, McGrath & Caulfield, 2011).

Právě z tohoto důvodu se tato práce zaměřuje na mládež ve věku 12 až 15 let. Motivací pro zvolené téma bylo také potenciální přínos do autorovy praxe atletického trenéra mládeže.

## Přehled poznatků

### Běh

Běh je základní lidská lokomoce, která měla klíčový význam pro zachování lidského rodu už před 4 miliony lety (Cavanagh, 1990). Přestože běh jako součást atletiky patří mezi jedno z prvních sportovních odvětví a zápolení v běžeckých disciplínách se datuje už do starověku, vědecká zkoumání v oblasti běhu jsou spíše záležitostí posledních desetiletí (Cavanagh, 1990).

Brewer (2010) uvádí, že lidské tělo je stvořeno pro běh. Pohlová (2018) píše, že běh vychází z chůze a skládá se z cyklicky se opakujících krokových cyklů. Je vidět, že běh patří mezi životní situace, kterým se každý jedinec jen těžko vyhýbá, a proto je na místě jej podrobovat neustálému zkoumání.

Nicméně, jak píše Brewer (2010), v současné době technologie a lidská lenost vedou k vytrácení běhu ze životního stylu obyvatelstva. Zároveň Cavanagh (1990) upozorňuje, že zdravotní aspekt běhu jako pohybové aktivity může být vnímán v pozitivním i negativním směru. Nesporné přínosy v otázce fyzické zdatnosti a rozvoji kardiovaskulárního systému jsou doprovázeny obtížemi z hlediska mechanického opotřebení tkání a biologického materiálu.

Význam těchto aspektů narostl s rozmachem dálkového běhání, které podle výzkumů prezentovaných Cavanaghem (1990) získalo razantně vyšší oblibu koncem 60. a začátkem 70. let.

### Běh jako atletická disciplína

Běh je jednou ze základních součástí lidské lokomoce a existence vůbec, jeho využití pro komparativní účely soutěžní formou proto zdroje datují do počátků lidské civilizace ve starověku. V novodobé sportovní historii od 19. století dostal běh rámcová pravidla umožňující v běhu objektivně hodnotit a srovnávat pohybové schopnosti, dále systém zaznamenávání rekordů ukazující na posouvání hranic lidského výkonu a institucionální zastřešení využívající širší přírodní i společenské aspekty běhu ke spoluutváření dějin lidského rodu (International Association of Athletic Federations, n.d.).

Brewer (2010) spojuje popularitu, kterou běh jako atletická disciplína zaujímá, s nesporným zdravotním a wellness přínosem populaci. Například Lee et al. (2017) uvádí, že běžci mají o 25 – 40 % menší pravděpodobnost úmrtí v nedospělém věku a dožívají se



v průměru o 3 roky déle. Mezinárodní atletická federace IAAF také koncentruje svou pozornost na zpřístupnění benefitů běhu široké veřejnosti. Mezi tyto benefity řadí také utváření a předávání hodnot, solidaritu mezi skupinami obyvatel s důrazem na menšiny a ukazování cesty, jak žít kvalitní život a vyrovnat se s překážkami (International Association of Athletic Federations, n.d.)

Zároveň Brewer (2010) upozorňuje, že běh je základní lokomocí, na níž stojí celá atletika jako sport. V běžeckých disciplínách je běh přímým kritériem úspěšnosti atleta. Autoři (Brewer, 2010, Prukner & Machová, 2011) rozdělují závodní trati na sprinty, střední vzdálenosti a dlouhé distance. Jejich rozdělování se liší pouze v detailech rozřazení jednotlivých konkrétních disciplín.

Sprinterské tratě jsou založeny na maximálním, explozivním výkonu na krátké vzdálenosti. Běhají se na zpravidla tartanových dráhách na atletickém ovále, jehož standardní délka měří 400m. Jak vypichuje Brewer (2010) specifikem sprinterských disciplín je speciální, tzv. nízký start z bloku, a kromě posledních úseků štafety 4x400m běží závodníci na atletickém ovále každý ve své dráze. Majumdar a Robergs (2011) určují délku a frekvenci jako hlavní determinanty výkonu na sprinterské trati. Dalšími vnitřními faktory jsou startovní strategie a fyziologické, biomechanické, neuromuskulární a antropometrické předpoklady.

Běhy na střední vzdálenosti jsou kombinací rychlosti a vytrvalosti, kladoucí podle Brewera (2010) nejvyšší nároky na energetické systémy lidského organismu. V drtivé většině u těchto závodů dochází k důrazným kontaktům mezi jednotlivými závodníky, kteří neběží závod ve svých drahách, ale sbíhají se.

Běhy na dlouhé vzdálenosti podle Brewera (2010) zpřístupňují atletiku masám obyvatelstva. Autor si všímá benefitu pro zdraví kardiovaskulárního systému a prevenci nadváhy, které tyto disciplíny přinášejí. Běhy nesprinterského charakteru můžeme označit jako distanční běhy.

Pro výkon na středních a dlouhých tratích vstupuje do popředí parametr maximální aerobní kapacity vyjádřený maximální spotřebou kyslíku  $VO_{2max}$ . Mooses et al. (2013) uvádí, že u elitních běžců středních tratí stoupá průměrná hodnota  $VO_{2max}$  s běhanou distancí až po 3 000 m, od níž u běžců dlouhých distancí až po maratónskou trať stagnuje. Jako nejvýraznější determinant mezi běžci středních a dlouhých běhů se podle autorů jeví rychlost běhu na úrovni anaerobního prahu, kdy běžci delších distancí dokáží běžet rychleji, když se jejich organismus z hlediska zatížení nachází na úrovni anaerobního prahu.

Běh se v atletice může vyskytovat v různých modifikacích, nejčastěji jako překážkový běh a štafetový běh (Brewer, 2010).

### **Fyziologie běhu**

V lidském těle probíhají při běhu mnohé procesy a změny, které umožňují využívat běh jako velice přirozenou formu transportu. Brewer (2010) zdůrazňuje také schopnost těla odpovídat na podněty a adaptovat se, což je základem pro sportovní běžecký trénink v atletice.

Člověk získává tělesnou energii zejména ze dvou druhů energetických substrátů – tuky a karbohydráty (Brewer, 2010). Nicméně pro zajištění svalové kontrakce lze využít pouze adenosintrifosfát (ATP), ostatní energetické substráty slouží k jeho získávání (Lehnert et al., 2014). Tuky sice podle Brewera (2010) tvoří zásobu energie pro asi 40 maratónů uběhnutých v jednom kuse, ale pro již jen mírně intenzivnější aktivitu tělo potřebuje karbohydráty, které jsou mnohem rychlejším energetickým zdrojem. Skladba příjmu energetických substrátů může ovlivnit jejich využitelnost při pohybové aktivitě (Merecz-Sadowska et al., 2017), stejně tak má vliv na efektivitu fyzické práce v nižší intenzitě zatížení.

V aerobním režimu práce lidské tělo využívá k přeměně substrátu ve využitelnou energii jejich vazbu se vzdušným kyslíkem. V tomto systému energetického zabezpečení může tělo využívat tuky i karbohydráty, přičemž míra využití jednoho nebo druhého energetického substrátu nemusí záviset jen na intenzitě pohybové aktivity, ale také na stravovacích návycích (Merecz-Sadowska et al., 2017). Podle Brewera (2010) může aerobní systém přinášet poměrně stálý přínos energie organismu za minimální únavy. Nevýhodou je limitující potenciál kardio-respiračního (transportního) systému k transportu kyslíku k příslušným tkáním, protože zásoby kyslíku ve svalech a krvi nedostačují k pokrytí nároků zvýšené fyzické zátěže (Lehnert et al., 2014). Efektivita v transportu kyslíku a jeho využitelnost v tkáních ovlivňuje parametr maximální spotřeby kyslíku ( $VO_2max$ ), jakožto jeden z nejdůležitějších parametrů tréninkových programů zaměřených na aerobní výkonnost. Dle Novotného a Novotné (2007) musí organismus při maximální intenzitě zátěže přejít na dominantní aerobní energetický systém po 60 – 70 s, což je doprovázeno snížením intenzity zátěže. Limitující kapacita oxidativního metabolismu neumožňuje vykonávat činnost maximální intenzitou při zapojení tohoto energetického zdroje.

Anaerobní energetický systém pracuje s karbohydráty jako hlavním energetickým substrátem (Brewer, 2010). Dle Novotné a Novotného (2007) je využívána výhradně glukóza, získávána nejprve z krve a poté ze zásobního glykogenu v játrech. K jeho využívání dochází bez přítomnosti kyslíku, což umožňuje ještě rychlejší přísun energie. Problémem je, že dochází k produkci vedlejších produktů metabolismu – laktátu a vodíkových kationtů  $H^+$ , které způsobují rychlý nástup únavy. Nástup únavy způsobuje pokles pH organismu (Novotný & Novotná, 2007), což je kompenzováno tzv. pufrovacími mechanismy. K pufraci dochází v krvi a svalech (Botek, Neuls, Klimešová & Vyhnánek, 2017), laktát je metabolizován v játrech, ledvinách, srdci a svalech (Novotný & Novotná, 2007).

V rámci anaerobního metabolismu lze vyčlenit ještě tzv. ATP-CP energetický systém, který umožňuje akutní využití energie bez přístupu kyslíku i bez produkce nežádoucích látek. Systém funguje na základě jednoduchých chemických reakcí rozkládajících vysoce energetické makroergní fosfátové vazby sloučenin ATP k zisku energie a kreatin fosfátu (CP) k okamžité resyntéze ATP. Podle Lehnerta et al. (2014) nemůže být vazebná energie CP využita přímo k zajištění svalové práce. K vyčerpání tohoto systému dochází velmi rychle. ATP-CP systém pracuje ještě po 20 s zátěže maximální intenzity, nejedná se však už o dominantní energetický systém. Botek et al. (2017) uvádí, že dominance se ztrácí už po 2 s využití tohoto zdroje.

V tabulce 1 vidíme poměr zásob jednotlivých energetických substrátů anaerobního metabolismu v tělech běžců podle jejich distance. Kreatin je zdrojem při ATP-CP systému a glykogen reprezentuje zdroj pro anaerobní laktátový systém. Je patrné, že sprinteři využívají více ATP-CP systém, kdežto vytrvalci mnohem více využijí anaerobní glykolýzu.

Tabulka 1

*Množství energetických substrátů u různých typů běžců (Novotný & Novotná, 2007, 15)*

Běžci dle distance	Kreatin (mmol/kg)	Glykogen (g/100g)
Sprinteři	132	1,43
Středotratěři	117	1,68
Vytrvalci	111	2,16

Z výše uvedeného vyplývá, že energetické systémy se navzájem doplňují a většina disciplín využívá hrazení energetických nároků kombinací těchto systémů. Brewer (2010)

zobecňuje mechaniku využití systémů a tvrdí, že sprintéři a středotrat'áři využívají primárně anaerobní energetický systém, zatímco s prodlužováním distance stoupá podíl aerobního metabolismu.

Kromě energetických systémů jsou důležitým aspektem pro běžeckou lokomoci také svalová vlákna, zejména jejich množství a velikost, typ a poměr těchto typů. Pro správnou stavbu a funkci svalů je důležitý další energetický substrát – bílkoviny. Svalová vlákna jsou základní jednotkou svalu, sdružují se do svalových snopců a v jejich vnitřní struktuře jsou důležitá podélná svalová vlákénka – myofibrily (Lehnert et al., 2014).

Myofibrily obsahují množství bílkovin, klíčové pro svalovou práci jsou aktin a myosin. Jejich stažitelnost a schopnost vzájemné vazby je základem pro svalovou kontrakci, kterou popisují Novotná & Novotná (2007) jako zkrácení svalu při současném vygenerování tahu, jehož důsledkem je pohyb.

Nesporný vliv na běžecký výkon má zastoupení jednotlivých druhů svalových vláken ve svalech dolních končetin. Svalová vlákna mají složení:

- 75 % voda,
- 20 % bílkoviny
- 5 % sacharidy, tuky, anorganické látky (Lehnert et al., 2014).

Svalová vlákna I typu jsou pomalá a disponují anatomicko-fyziologickými předpoklady pro aerobní typ využití energie (Novotná & Novotný, 2007). Jsou ze všech typů nejtenčí, obsahují velké množství mitochondrií, myoglobinu a oxidativních enzymů, což jim dává dispozice k efektivnímu využívání krevního kyslíku. K tomu přispívá i silná kapilarizace těchto vláken, která je největší, ze všech typů svalových vláken. Zapojují se dle autorů u pomalé vytrvalostní práce a zajišťují polohové funkce (Lehnert et al., 2014).

Svalová vlákna typu IIa jsou určitým rozhraním mezi pomalými, oxidativními vlákny a vlákny typu IIb, která stojí v jistém vzájemném protikladu. Svalová vlákna typu IIa disponují enzymy pro rychlou svalovou kontrakci, zároveň dovedou vyvinout velkou sílu v aktuálním okamžiku (Novotný & Novotná, 2007). Zároveň si udržují odolnost vůči únavě. Botek et al. (2017) předpokládají, že tento typ vláken lze tréninkem přizpůsobit více k oxidativní kapacitě nebo směrem k rychlým vláknům IIb.

Vlákna typu IIb jsou také označována jako rychlá, glykolytická. Mají malé dispozice k oxidativní práci, naproti tomu však disponují enzymatickou kapacitou ke glykolytické chemické reakci, díky čemuž dokáží efektivně využívat glukózu k získávání energie i bez zapojení kyslíku (Botek et al., 2017). Přispívá k tomu podle Novotné a Novotného (2007) silně vyvinuté sarkoplazmatické retikulum (buněčná hmota svalových

vláken) a vysoká aktivita iontů zajišťujících práci aktino-myozinového komplexu ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ). Vlákná typu IIb zajistí velmi vysokou rychlost kontrakce a maximální sílu, naproti tomu se velmi rychle unaví, což Lehnert et al. (2014) vysvětlují vlivem acidózy, která doprovází anaerobní děje ve svalových vláknech.

Novotná a Novotný (2007) ještě rozlišují další typ svalových vláken. Jedná se o přechodná vlákna, která nejsou diferenciována, tudíž vykazují potenciál pro zvýšení počtu, resp. poměru jednotlivých diferenciovaných typů svalových vláken. Stejní autoři dále uvádí, že svalová vlákna se diferenciuji do druhého roku postnatálního vývoje.

Jednotlivé typy vláken se také liší z hlediska velikosti a jejich počtu v těle. Tyto parametry také mohou doznávat změn. Do 20. roku života se velikost přirozeně zvětšuje, od 40. roku se naopak zmenšuje (Novotný & Novotná, 2007).

Přirozeně lze objem svalových vláken ovlivnit i pohybovou aktivitou (Botek et al., 2017; Natsume et al., 2018).

Ačkoliv Novotná a Novotný (2007) uvádí, že podobně jako diferenciaci, i počet svalových vláken roste pouze do druhého roku věku, novější poznatky, které prezentují Lehnert et al. (2014), nabízejí potenciál pro nárůst počtu svalových buněk spočívající v mechanickém poškození a posléze rozpadu svalové buňky následkem intenzivní svalové činnosti a v následném reparačním vlivu tzv. satelitních buněk.

Svalová vlákna jsou také místem s největším podílem na energetickém metabolismu organismu při práci. U běžce dochází ke spotřebě téměř 25 energie v trojhlavém svalu lýtkovém. Spotřeba energie svalů se dá umenšit redukováním reakčních sil (Fletcher & MacIntosh, 2018).

Pro sportovní výkon je kromě celkového počtu svalových vláken důležitý i poměr jednotlivých typů svalových vláken. Oba parametry jsou vysoce geneticky podmíněné. Závisí rovněž na pohlaví, ženy mají obecně méně svalových vláken, menší průřez svalových vláken a větší podíl vláken typu I než muži. S věkem se poměr svalových vláken u obou pohlaví přiklání ve prospěch typu I (Botek et al., 2017; Novotná & Novotný, 2007).

Tabulka 2 naznačuje, jakým poměrem svalových vláken disponují běžci dle svého zaměření. Největší poměr pomalých vláken typu I mají běžci na dlouhých tratích, zatímco sprinteři mají podíl typů svalových vláken opačný. Koresponduje to s využitím energetických systémů, které se s prodlužující distancí běhu mění ve prospěch aerobního metabolismu.

Tabulka 2

*Podíl rychlých a pomalých svalových vláken u běžců (upraveno dle Botek et al., 2017)*

Závodní distance	Rychlá vlákna (%)	Pomalá vlákna (%)
Maratónské běhy	< 20	> 80
Vytrvalostní běhy	20	80
Běhy na střední tratě	60	40
Sprinty	80	20

Novotná a Novotný (2007) považují za velice důležité faktory pro výkon i somatické předpoklady. Pro sprintera je vhodnější spíše mezomorfní konstituce s velkým podílem rychlých svalových vláken. U vytrvalostního běžce se jeví jako vhodnější parametry ektomorfní postava a pomalá svalová vlákna.

S vlivem aerobního energetického systému a kapacity svalových vláken na sportovní výkon stoupá i význam transportního systému, který je tvořen dýchacími cestami a srdečně cévním oběhovým řečištěm. Při pohybové aktivitě dochází ke změnám ukazatelů oběhového i dýchacího ústrojí (Novotný & Novotná, 2007).

Jako akutní reakci na zvýšenou intenzitu svalové práce vnímají autoři mj. zvýšení srdeční a dechové frekvence (Botek et al., 2017; Novotná & Novotný, 2007). Spolu s tím se zvyšuje i objem ventilovaného vzduchu, díky čemuž roste aktuální spotřeba kyslíku ve svalech, zároveň stoupá množství vydechaného oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). Tato výměna dýchacích plynů je jednou z hlavních funkcí transportního systému z hlediska pohybové aktivity.

V dlouhodobé, trvalejší reakci je transportní systém adaptabilní, s čímž souvisí i poměrně vysoká trénovatelnost aerobní kapacity sportovce. S trénovaností běžce se mění vlastnosti a výkon jeho srdce, zvyšuje se kapilarizace těla, mění se způsob dýchání, a také akutní reakce na zvýšení fyzického zatížení není tak vysoká (Botek et al., 2017, Novotná & Novotný, 2007).

Odborníci popisují práci transportního systému pomocí různých ukazatelů. Nejběžnějším diagnostickým činitelem je srdeční frekvence, která je v současné době lehce měřitelná a vysoce vypovídající díky svému v určité fázi lineárnímu vztahu k míře produkce odpadních metabolitu anaerobního energetického systému (Novotná & Novotný, 2007). Dalšími ukazateli kvality kardiovaskulárního systému jsou minutový objem srdce a s tím související objem látek, zejména kyslíku, který je kardiovaskulární systém schopen krví přepravovat v těle.

U dýchacího systému pak sledujeme objem a rychlost výměny dýchacích plynů mezi tělem a vnějším prostředím. K tomu se využívá měření vitální kapacity plic, minutová ventilace apod.

Jako komplexní ukazatel můžeme označit maximální spotřebu kyslíku  $VO_{2max}$ . její míra závisí na mnoha fyziologických aspektech a dle Botka et al. (2017, 114) se jedná o „*maximální množství z objemu přijatého  $O_2$ , které je organismus schopen využít při maximální svalové práci.*“

Dalším ukazatelem, který spojuje dohromady výkonnost transportního systému s kvalitami svalového aparátu je arterio-venózní diference kyslíku. Arterio-venózní diference kyslíku udává, jaké množství kyslíku z krve dokáží pracující svaly zužítkovat a přeměnit na jiné produkty metabolismu. Toto množství je podmíněno schopností transportního systému přepravovat v těle maximální množství vázaného kyslíku (Botek et al., 2017).

Spojit parametry transportního systému a využití energetických substrátů z hlediska jednotlivých energetických systémů umožňuje ukazatel respirační kvocient (RQ). Udává poměr mezi utilizovaným kyslíkem z nádechu a výdechovým  $CO_2$ . Hodnota RQ umožňuje určit, který energetický zdroj organismus využívá (Botek et al., 2017). 0

Pro potřeby sportovního tréninku se využívají ještě dva parametry, které vyjadřují míru zapojení energetických systémů. Aerobní práh (AP) je taková míra zatížení, při které přestává být výhradním zdrojem energie aerobní energetický systém, jak je tomu v klidovém stavu nebo při běžných činnostech. Ještě vyšší míru intenzity představuje anaerobní práh (ANP), což je takový stav organismu, při kterém je produkce a odbourávání laktátu v dynamické rovnováze a jakékoliv zvýšení intenzity fyzické činnosti by znamenalo narušení této rovnováhy s důsledkem nadprodukce laktátu a jeho hromadění v organismu, které ve svém důsledku povede k výraznému omezení fyzické aktivity. Toto narušení rovnováhy je provázeno poklesem míry nárůstu srdeční frekvence při zvyšující se fyzické náročnosti a výrazným nárůstem zvyšování produkce  $CO_2$  vedoucí k překročení hodnoty 1 u respiračního kvocientu. Podle těchto průvodních jevů vznikly i různé metody určování hodnoty ANP. Protože hodnoty takto získávané se od sebe nepatrně liší, rozlišují se tři druhy ANP – cirkulační, ventilační a metabolický neboli laktátový (Lehnert et al. 2014).

## **Technika běhu**

Jak už bylo naznačeno výše, běh je přirozený druh lokomoce vycházející z chůze (Brewer, 2010, Perry & Burnenfield, 2010). Běh je cyklický pohyb v uzavřeném kinematickém řetězci, kdy základním cyklem je běžecský krok (Pohlová, 2018).

Autorka dále dělí fázi běžecského kroku na stojnou a letovou, přičemž obě fáze se v průběhu jednoho cyklu objeví celkem dvakrát. Fáze stojná, kterou také autoři nazývají oporovou (Prukner & Machová, 2011) se může dále dělit na fázi dopadu (amortizační) a fázi odrazu. Letovou fázi můžeme dělit na počáteční, střední a koncový let (Pohlová, 2018).

Běžecská lokomoce s sebou nese řadu rozdílů oproti chůzi. U chůze úplně chybí fáze letu (Prukner & Machová, 2011), u chůze také rozlišujeme fázi dvojité opory a fázi jedné opory (Vařeka & Vařeková, 2009).

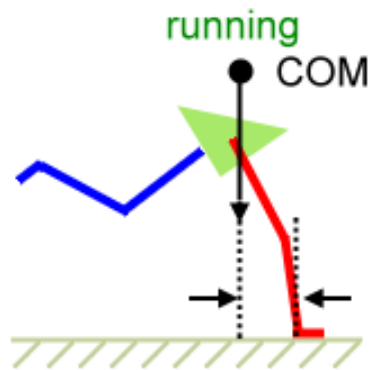
U běhu se také zkracuje doba opory jedné končetiny (oporová nebo stojná fáze). Zatímco u chůze je jedna končetina v kontaktu s podložkou přibližně 60 % chůzového cyklu (Whittle, 2014), při běhu se stojná fáze končetiny zkracuje na 30 – 35 % a je silně závislá na rychlosti běhu (Barr & Harrast, 2005; Perry & Burnenfield, 2010).

### ***Oporová fáze***

Oporová fáze končetiny při běhu je období jejího kontaktu s podložkou. Během jednoho běžecského kroku dochází u každé z dolních končetin k jedné oporové fázi (Prukner & Machová, 2011).

Oporová fáze začíná dopadem končetiny na podložku, který je dle Pohlové (2018) prováděn před průmětem těžiště do podložky (COG), viz Obrázek 1. Prukner a Machová (2011) zdůrazňují význam této fáze pro rychlost a plynulost běžecského pohybu. Celý dopad spočívá v pružném tlumení aktivních fyzikálních sil při dopadu za současné minimalizace ztrát rychlosti v dopředném pohybu. Amortizační část kroku, kdy příslušné svaly dolní končetiny pracují v excentrické kontrakci, vytváří potenciál mechanické energie k využití principu plyometrie v další části oporové fáze. Účinnost odrazu v koncové části oporové fáze je umocněna předcházející tonizací svalů při amortizaci dopadu.





Obrázek 1. Průmět těžiště těla v dopadové fázi (upraveno dle Pohlová, 2018)

Pohlová (2018) rozlišuje tři typy dopadu podle části nohy, která jako první přichází do kontaktu s podložkou:

- Dopad na patu (rear foot pattern)
- Dopad na klenbu (mid foot pattern)
- Dopad na špičku (fore foot pattern)

Prukner a Machová (2011) zdůrazňují význam dopadu na špičku pro výkonnost atleta sprintera, kdy v rámci používané švihové techniky běhu sprinteři využívají výhradně dopadu přes špičku.

Pro určení pozice dokroku se užívá prosté pravidlo tří třetin (Mercer & Horsch, 2015), kdy je noha rozdělena na tři stejné části a adekvátně místu dopadu je určen typ dopadu jako na Obrázku 2.



Obrázek 2. Rozdělení nohy pro typ dopadu, vlevo dopad na patu, ve středu dopad na klenbu, vpravo dopad na špičku (Kirby, 2014, 54+)

Pohlová (2018) popisuje, že mezi jednotlivými způsoby dopadu tkví zásadní biomechanické rozdíly. Způsob dopadu určuje vzájemné polohy jednotlivých segmentů těla v daných fázích běhu, čímž ovlivňuje momenty sil a svalové napětí. Autoři se shodují, že běžci s dokrokem na špičku mají silnější lýtkové svalstvo (Daoud et al., 2012, Liebl, Willwacher, Hamill & Brüggemann, 2014).

Není jasné, jakou roli hrají různé typy dokroku v prevenci poranění dolní končetiny. Pohlová (2019) popisuje dokrok na špičku jako přirozenější z hlediska evolučního vývoje, zmiňuje však mj. také argumenty, že nárazové síly jsou ovlivnitelné i jinými faktory.

Michaud (2016) tvrdí, že dokrok na patu není natolik zatěžující pro Achillovu šlachu a zároveň umožňuje noze ve fázi opory se hladce posunout vpřed, čímž nedochází ke zpomalení, jako je tomu při zpětném pružném poklesu paty při dokroku na špičku, který zároveň zatěžuje i metatarzální kůstky.

Odstranění zdravotních rizik v důsledku používané běžecké techniky je předmětem intenzivního zkoumání v dnešní době, zejména pro velký zájem rekreačních běžců. Michaud (2016) uvádí dvě speciální techniky Pose a Chi, které obě redukuje nárazové síly a zmenšují zatížení kolenního kloubu. Podle autora obě techniky, i když v detailech odlišně, používají dokrok na celé chodidlo.

Phan et al. (2017) ukazují ve svém výzkumu na snížení vertikálního zatížení dolní končetiny při kontaktu s podložkou při změně techniky běhu z rear foot pattern na non-

rear foot pattern. Stejných výsledků spojených s redukcí bolesti vykazovala popsaná změna techniky běhu u pacientů s bolestí v oblasti stehna a česky.

Vliv na zdravotní efekty však má spíše zkrácení délky kroku u těchto běžecích technik. Zkrácení kroku a zvýšení frekvence má za následek při stejné rychlosti až 20% redukcí nárazové síly (Heiderscheit, Chumanov, Michalski, Wille a Ryan, 2011), zatímco prodloužení kroku má efekt opačný (Bowersock, Willy, DeVita & Willson, 2017).

### ***Letová fáze***

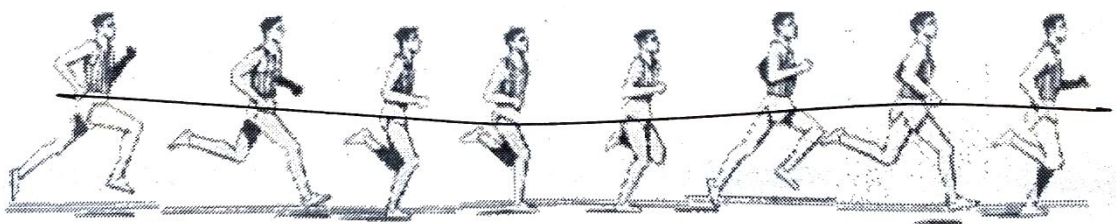
Letovou fází můžeme popsat jako časový úsek od odlepení dolní končetiny po její opětovný dopad. Během této doby proběhne celá oporová fáze druhé dolní končetiny. Druhá dolní končetina je v počátku i konci letové fáze sledované dolní končetiny také ve fázi letu. Fáze letu jednotlivých končetin se tedy částečně překrývají.

Perry & Burnenfield (2010) popisují rozsahy pohybu v jednotlivých kloubech dolních končetin po dobu trvání letové fáze. Hlezenní kloub se během letu dostává z až 30° plantární flexe do dorzální flexe a v momentě dopadu je v mírné dorzální flexi. Kolenní kloub se v okamžiku začátku a konce letové fáze nachází ve velmi mírné flexi, která dosahuje dle autorů v průběhu letové fáze maximální hodnoty 103°.

Pohlová (2018) ve své práci rozlišuje počáteční fázi setrvačnosti po odraze s následným aktivním přenesením segmentu směrem vpřed a poslední fázi přípravy na dopad. V závěru dopředného švihů dolní končetiny, který je z většiny zajišťován svaly kyčelního kloubu, dochází k aktivnímu zapojení bérce směrem vpřed, což autorka charakterizuje jako dvojitý švih.

### ***Práce horní poloviny těla***

Při charakterizování techniky běhu jsou důležité poznatky o pohybu těžiště při běhu. Těžiště se ve vertikálním směru pohybuje v rozsahu 6 – 8 cm a kulminuje ve fázi letu (Prukner & Machová, 2011; obrázek 3).



Obrázek 3. Pohyb těžiště při běhu (Prukner & Machová, 2011, 20)

Schüttle et al. (2015) uvádí, že vertikální elevace těžiště při běhu s únavou klesá. Přisuzují to přirozeným mechanismům redukce energetického výdeje, snaha o zachování tkáně a vyhnutí se bolesti. Naproti tomu nepravidelnosti v průběhu pohybu těžiště v souvislosti s jednotlivými běžeckými cykly s únavou narůstají. Obě tyto skutečnosti ukazují, že pohyb těžiště může být ukazatelem běžecké techniky.

Cavanagh (1990) na základě vyjádření atletických trenérů uvádí, že švihová práce horních je kompenzačně-synchronního charakteru vůči práci dolních končetin. Rozsah pohybu charakterizuje krajními limity jednotlivých segmentů. Ruce pracují v rozsahu od úrovně brady v přední části pohybu a těsně za frontální osu těla v zadní části rozsahu. Loket téměř dosahuje výšky ramen při švihů vzad. Pro větší efektivitu běhu paže pracují v předozadním směru a eliminují ztráty sil do stran. Důvodem pro opačný směr pohybu horních a dolních končetin je kompenzace rotačního pohybu trupu (Prukner & Machová, 2011). Svou roli hraje také vertikální složka pohybu horních končetin (Cavanagh, 1990). Ve výzkumu, kdy bylo tělo běžce pomyslně rozděleno na segmenty „horní končetiny“ a „tělo bez horních končetin“ se ukázalo, že těžiště celého těla je v průměru výše než těžiště těla bez horních končetin.

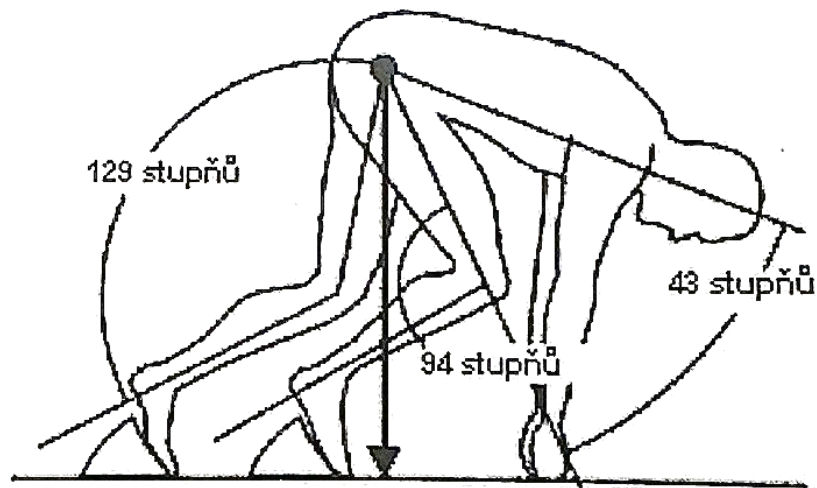
### ***Technika sprintu***

Jak už bylo popsáno výše, sprintérská technika se vyznačuje dopadem na špičku v oporové fázi a prodlužováním letové fáze vůči fázi opory. Z toho vyplývá, že sprintérská technika se vyznačuje výraznou délkou a vysokou frekvencí kroku (Prukner & Machová, 2011).

Způsob běhu popsáný v předchozím odstavci je majoritním pro sprinterské disciplíny, běžci takto pracují po většinu trati. Autoři však rozlišují i jiné běžecké techniky vzhledem ke specifickým sprinterského závodu. V začátku běhu sprinteři absolvují fázi, která se nazývá akcelerační (Brewer, 2010) nebo je také popisována jako šlapavá technika běhu (Prukner & Machová, 2012). Účelem této techniky je vystupňování rychlosti do maxima v co nejkratším úseku. Zásadní znakem tohoto způsobu běhu je pozici těla v náklonu do směru běhu, což se projevuje dokrokem relativně daleko za COG (Prukner & Machová, 2012). S tím souvisí i fakt, že těžiště těla se v průběhu šlapavého běhu velmi pozvolna zvedá z počáteční nízké polohy (Brewer, 2010). To je umožněno progresivně se měnící frekvencí a délkou kroku, což se projevuje v parametru absolutní délky oporové fáze, která se u šlapavé techniky

pohybuje od 250 – 180 ms k přechodu do techniky švihové, kdy doba této fáze klesá pod 100 ms (Prukner & Machová, 2012).

Brewer (2010) ještě vyčleňuje techniku startu jako zvláštní způsob běhu, zahrnující prvních 7 – 8 kroků po startu. Stěžejní je v tomto případě technika nízkého startu spočívající ve správném zaujetí startovní polohy popsané na obrázku 4.



Obrázek 4. Startovní poloha "POZOR"

V následné fázi, kdy běžec přechází do švihové techniky běhu, jsou rozhodujícími determinanty délka a frekvence kroku (Majumdar & Robergs, 2011). Délka kroku je limitována individuální délkou končetin a poměry velikostí segmentů těla, případně flexibilitou pohybu v jednotlivých kloubních spojeních. Běžecká frekvence závisí na složení svalových snopců, úrovni neuromuskulární kontroly a tréninku. Stejní autoři také popisují vliv pohlaví na determinanty výkonu. Zatímco u mužů se jeví délka kroku jako významnější než běžecká frekvence, u žen je tomu naopak.

Ve sprintu má švihová technika svá specifika. Liší se práce jednotlivých segmentů dolní končetiny a poloha v jednotlivých kloubech (Martínková, 2011). V průběhu pohybu nedochází k plné extenzi v kolenním kloubu, běžec došlapuje v mírné flexi kolenního kloubu a odráží se od podložky do volného pokrčení zánožmo vlivem setrvačnosti. V kotníku i kyčli je extenze zdůrazněna. Existují i další rozdíly v porovnání s tradiční technikou. Martínková (2011) zdůrazňuje zejména polohu pánve, která je více podsazená a umožňuje větší rozsah pohybu chodidla v letové fázi a tím i větší silové působení na

podložku ve fázi opory. Zároveň trup atleta je vzpřímenější a díky tomu je dokrok veden sice stále před COG, ale v mnohem bližší vzdálenosti.

### ***Technika distančního běhu***

U delších vzdáleností hovoří autoři o optimalizaci komplexního parametru, který Kučera a Truksa (2000) nazývají jako ekonomie běhu. Tyto aspekty zahrnují kromě biomechanických vlivů i fyziologické, somatické a další proměnné.

Hodnocení běžecké techniky podléhá absolutnímu kritériu běžcovy výkonnosti, tedy času, za který je schopen uběhnout danou vzdálenost, ale z hlediska zefektivňování techniky také kritérium energetické náročnosti běhu. Kučera a Truksa (2000, 49) uvádějí, že „*čím vyšší je výkon se stejnými fyziologickými ukazateli, tím lepší je technika běhu.*“

V práci na technice běhu na delší distance se odborníci zaměřují na eliminaci nežádoucích souhybů a tím způsobených zbytečných ztrát silového působení. Kučera a Truksa (2000) zdůrazňují to, co již bylo popsáno v práci výše, minimalizaci výkyvů těžiště s tím, že autoři zdůrazňují zejména vertikální směr. Jako stěžejní autoři vnímají moment dokroku. Při dostatečně pružném dokroku těsně před COG, nikoliv přehnaně ve předu, nedojde k nadměrnému poklesu pánve dolů a dopředu. Michaud (2016) uvádí, že pokles opačné strany pánve při dokroku dolní končetiny je jednou z nejčastějších chyb běžecké techniky (odstranění podmiňuje síla hýžďového svalstva) a spolu s vnitřní rotací v kolenu je velmi riziková z hlediska vzniku poranění.

Horizontální rychlost dolní končetiny v okamžiku dokroku by měla být nulová. Flexe v kolenním kloubu je ve fázi opory přítomna po celou dobu, koleno se tedy nedostává do extenze, v počátku je flexe stejně jako na konci fáze na úrovni 10-20° (Cavanagh, 1990).

Celá oporová fáze přirozeně musí být krátká, nicméně pro eliminaci nežádoucích pohybů také kontinuální. Důležitá je rovněž časová souhra se švihovou prací opačné končetiny v letové fázi (Kučera & Truksa, 2000). Amortizační funkci ve fázi dokroku vnímají autoři jako nejdůležitější pro optimalizaci techniky distančních běhů.

V práci horních končetin vidí Cavanagh (1990) dvě funkce. V aktivním švihů směrem vpřed horní končetiny napomáhají švihovému pohybu ostrého kolene opačné dolní končetiny, zatímco v opačném směru pohybu ruce vytvářejí točivé momenty kolem vertikální osy, které umožňují dolním končetinám vykonávat jejich švihovou funkci v adekvátním rozsahu pohybu.

V odborné literatuře přetrvávají diskuse nad problematikou „většího pohybu paty,“ (Cavanagh, 1990) či obecně typu dokroku (Pohlová, 2018). Podle Cavanagh (1990) by se měl výzkum zaměřit na měření zrychlení dílčích segmentů dolní končetiny. Rychlost pohybu dolní končetiny v klíčových okamžicích běžeckého kroku stejně jako změny rychlosti ovlivňují reakční síly podložky důležité pro celkovou rychlost pohybu, a také mají vliv na zatížení tkáně dolních končetin.

### **Sportovní trénink běhu**

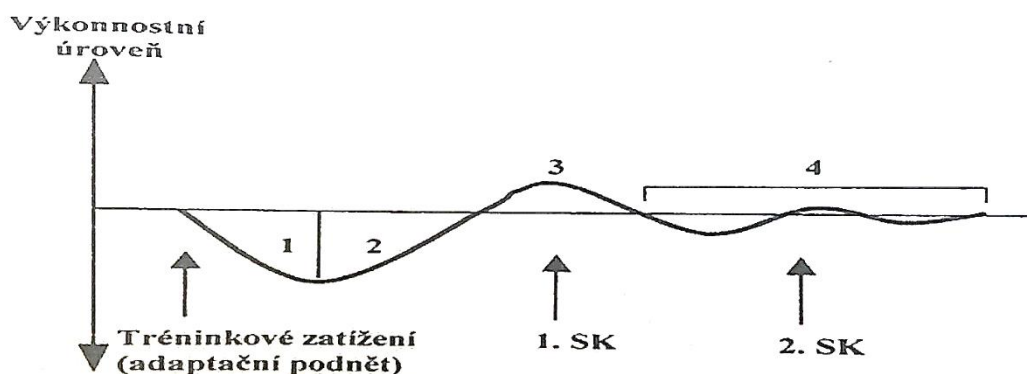
Všechny výše uvedené aspekty běžeckého pohybu mají vliv na celkovou výkonnost běžce, jsou tedy předmětem sportovního tréninku. Pokud mluvíme o tréninku běhu, nemusí jít výhradně o překonávání hranic na úrovni profesionálního sportu, ale jak píše Brewer (2010) základní principy zvyšování trénovanosti jsou vhodné pro širokou populaci běžajících v rámci osobního zdravého životního stylu.

Většina autorů se shoduje, že sportovní trénink musí naplňovat několik základních principů.

Princip, který Brewer (2010) nazývá *progrese*, spočívá v návaznosti jednotlivých fází tréninkového cyklu. Produkované zatížení by se mělo v průběhu sportovní přípravy přiměřeně zvyšovat. Lehnert et al. (2014) popisuje průběh progresivního zatěžování jako vlnovitě se zvyšující, kdy aktuální pokles zatížení v rámci dílčích tréninkových mikrocyclů je kompenzován dlouhodobým růstem až do maximálního zatížení pro naplnění plného potenciálu výkonnosti vrcholového sportovce.

Další zásadou je specifická. Trénink musí být specifický, odpovídající charakteru pohybové činnosti, kterou hodlá rozvíjet. Je potřebné také respektovat ontologický vývoj jedince. Atletický trénink v současné době v konceptu českého prostředí akcentuje širší přesah atletické přípravy se zaměřením na všeobecnou pohybovou přípravu jako primární cíl atletického tréninku. Vrcholová a výkonnostní atletika v chápání autorů nehraje tak významnou roli jako atletika základní, rekreační, zdravotní a kondiční.

V manipulaci se zatížením operujeme v takových hodnotách, aby tréninkový podnět optimálním způsobem aktivoval adaptační mechanismy organismu. Brewer (2010) to nazývá principem *přetížení*, které musí být dostatečné k vyvolání stimulu, nicméně nesmí přesáhnout únosnou mez. S tím souvisí i princip *superkompenzace*, což je vnitřní děj, při kterém v průběhu obnovování energetických zdrojů organismu dochází k dočasnému převýšení původní hladiny disponibilních energetických substrátů v těle, jak je popsáno na Obrázku 5 (Botek et al., 2017).



Obrázek 5. Superkompensace. 1 – snížení výkonnostního potenciálu vlivem zatížení během tréninkové jednotky (TJ), 2 – fáze zotavování, 3 – přechodné zvýšení výkonnostního potenciálu nad původní úroveň, 4 – postupný návrat k původnímu výkonnostnímu potenciálu, pokud nedojde k dalšímu zatížení. (upraveno dle Botek et al., 2017)

Další zásadou podle Brewera (2010) je zásada zotavení. Nedostatečný prostor pro regenerační podmínky stejně jako nerespektování zásady přetížení může vést k nežádoucí míře únavy ústící v přetrénování nebo zranění.

Zásada reversibility podle Brewera (2010) naopak říká, že inaktivity v tréninkovém procesu nesmí být moc. Lehnert et al. (2014) v podstatě spojili předchozí tři Brewerovy (2010) zásady do principu nepřetržitosti tréninkového procesu. Tito autoři zdůrazňují kontinuitu střídavého zatížení a zotavování a pro orientaci v jednotlivých časových periodách v duchu reverzibility odkazují právě na princip superkompensace (viz výše).

Zásadu, která je nahlížena ve sportech různým způsobem dle jednotlivých odvětví, definují Lehnert et al. (2014) jako jednotu všestrannosti a specializace. Prukner a Machová (2011) popisují v atletice specifický postup od všeobecné přípravy v mladším školním věku s postupně se zvyšujícím podílem specifického tréninku v celkovém objemu sportovní přípravy.

Z výše uvedených zásad vyplývá, že na dlouhodobý tréninkový proces je třeba nahlížet systematicky v rámci plánování časových horizontů. Z tohoto důvodu mluví autoři o rozdělení tréninkového procesu do jednotlivých cyklů, dle délky a úrovně popisovaných jako mikrocykly a makrocykly, jejichž cyklické opakování je podstatou zásady cykličnosti (Lehnert et al., 2014).

Sportovní trénink také musí být ze zásady variabilní a individualizovaný, což jsou dvě poslední zásady (Lehnert et al., 2014).



Sportovní trénink dělíme do čtyř složek (Lehnert et al., 2014; Prukner & Machová, 2011). První složkou je technická příprava. Je zaměřena na osvojování a prohlubování pohybových dovedností a využívá poznatků pohybového (motorického) učení (Lehnert et al., 2014). V běhání spočívá především v osvojení stereotypů správné běžecké techniky z hlediska biomechanických principů a principů efektivního využívání energetických zdrojů. Autoři (Brewer, 2010; Prukner & Machová, 2011) se shodují, že současným hlavním postupem je aplikace speciálních běžeckých cvičení, která využívají rozdělení komplexního běžeckého pohybu na jednotlivé dílčí části, čímž využívají principu analyticko-syntetické metody pohybového učení. Dalšími principy jsou dle Pruknera a Machové (2012) názornost, imitace pohybů, imitace podmínek, zpětná vazba, modelování atd.

Prukner a Machová (2011) zároveň zdůrazňují podmíněnost technické přípravy dostatečně rozvinutými pohybovými schopnostmi, což je úkolem kondiční přípravy, viz. dále v této kapitole. Tento vztah kondičních schopností a technické přípravy má zároveň reversibilní vliv na úroveň pohybových schopností, složky sportovního tréninku tedy nelze od sebe vzájemně oddělit.

Další složkou tréninku je taktická příprava. Podle Lehnerta et al. (2014) má za úkol poskytnout závodníkovi vybavenost pro tvorbu strategie a uplatnění specifické taktiky. Strategie spočívá v přípravě na určitý soutěžní výkon ve smyslu tvorby strategického plánu, taktika je soubor alternativ pro rozhodování v průběhu samotné soutěže. U běhu autoři uvažují o taktické přípravě až od běhů na střední vzdálenosti a delších (Brewer, 2010; Lehnert et al., 2014). Možnosti uplatnění taktických dovedností ve sprintu jsou minimální. Autoři se také shodují, že u běžeckých soutěží vytrvalostního charakteru pracuje taktická příprava s aspektem rozdělení sil.

Mezi složky sportovního tréninku patří i kondiční příprava. Jak píše Kučera a Truksa (2000), u běžců na delší distance, resp. jejich trenérů existuje nutkání silně přecenit tuto složku přípravy. Lehnert et al. (2014) definuje kondiční přípravu jako rozvoj pohybových schopností sportovce, mezi něž lze obecně zařadit sílu, vytrvalost, koordinačně-obratnostní schopnosti a rychlost, v komplexním měřítku vytváření celkové bioenergetické a funkční připravenosti organismu k podání fyzického výkonu.

Další složkou sportovního tréninku je psychologická příprava, která má za úkol připravit běžcovy psychické procesy tak, aby podal co nejlepší výkon. Základní problematika v této oblasti se točí kolem pojmu motivace. Pojmenování důvodů, proč vlastně danou aktivitu jedinec provádí, je následně podle Brewera (2010) spjata se

stanovováním cílů. Podle Pruknera (2014) je současnou hlavní metodou stanovování cílů metoda SMART, která se dá aplikovat na atletický trénink jakékoliv výkonnostní úrovně. Cíl by měl splňovat pět charakteristik; měl by být specifický, měřitelný, akceptovaný, reálný a časově vymezený.

Brewer (2010) zdůrazňuje důležitost aplikace poznatků sportovní psychologie do specifického běžeckého tréninku. Sportovec se pro optimalizaci svého nastavení potřebuje individuální optimální mentální strategii, která vyhovuje jeho osobnostnímu tréninkovému i závodnímu nastavení. Toto psychické prostředí umožňuje sportovci vypořádat se s enormními nároky předstartovních psychických stavů.

Sportovní trenéři se kromě samotného tréninkového procesu intenzivně zabývají také podpůrnými prostředky. Výrazným efektem v běhání je výživa. Brewer (2010) shrnuje základní zásady spočívající ve vyváženosti příjmu makronutrientů (tuky, sacharidy – jinde také karbohydráty, bílkoviny) a mikronutrientů (vitamíny, minerály, voda). Dostatečný příjem tekutin zajišťuje adekvátní výměnu tělesných tekutin, které sportující organismus ztrácí prostřednictvím pocení.

Výživové nároky se opět velmi liší v závislosti na běhané vzdálenosti. Zatímco u vytrvalců klade Brewer (2010) důraz na doplňování ztrát tekutin, Novotný a Novotná (2007) zdůrazňují ve výživě sprintera výrazný podpůrný prostředek kreatin, který tvoří důležitou součást ATP-CP energetického systému.

Prukner & Machová (2012) v duchu principu postupného zatěžování a postupu od všeobecné ke specifické pohybové průpravě popisují systém etapizace sportovní přípravy pro běžce. Celý systém je institucionálně zastřešen a participují v něm vzdělávací i specializované sportovní subjekty. Atletická příprava probíhá od základního tréninku zaměřeného na rozvoj pozitivních emočních asociací s během spojených, který neznamena pro jedince přílišnou zátěž, přes etapu specializované přípravy vyžadující přizpůsobení dalších, společenských, pracovních a jiných životních aktivit ve prospěch dosažení posunutí funkčních limitů organismu, až po etapu vrcholové přípravy zaměřenou a podřízenou výhradně dosahování maximálního sportovního výsledku.

Prukner & Machová (2011) popisují období od 8 do 13 let věku jako vhodné pro rozvoj akcelerační fáze běhu, přičemž nejlepší období pro rozvoj běžecké lokomoce je mezi 15. a 18. rokem života. Je to způsobeno podmíněností rychlosti silovými schopnostmi, jejichž pozvolný rozvoj začíná zpravidla kolem 12. roku věku. Rozvoj koordinace a s tím související správné techniky běhu je vhodné zařazovat v každém věku od nejtělejšího.

Mezi typický znak a zároveň moderní trend běžeckého tréninku patří tzv. intervalový trénink (Brewer, 2010). Spočívá ve střídání zatížení a odpočinku během jedné tréninkové jednotky. Intervalový trénink nabývá různých podob v kontextu jednotlivých běžeckých disciplín. V kontextu optimalizace intervalového zatížení popisuje Brewer (2010) princip manipulace s jednotlivými proměnnými dle metody FITT, která vytváří charakter intervalového tréninku čtyřmi vlastnostmi:

- frekvence zatížení,
- intenzita pohybové aktivity,
- doba trvání (time),
- typ zátěže.

Charakteristickým prvkem, který odlišuje sprinterský trénink od běžců na delší distance, je maximální intenzita zátěže v intervalech. Tímto podle Brewera (2010) rozvíjí sprinteři potřebnou maximální rychlost. Tento typ intervalového tréninku je podmíněn plným zotavením ve fázi odpočinku. Naproti tomu vytrvalostní běžci operují v sestavování svého intervalového tréninku s různými úrovněmi intenzity (rychlosti), které ve vztahu k cílenému závodnímu tempu rozdělují na tempovou rychlost, tempovou vytrvalost, specifické tempo atd. s dalšími děleními do úrovní (Kučera & Truksa, 2000).

Sprinteři ke svému tréninku také využívají pro navýšení svalové aktivity a výbušnosti v tréninku ulehčujících prostředků jako je například běh po mírně nakloněné rovině z kopce. Nicméně výzkumy se neshodují v účinnosti přenosu do podmínek samotného výkonu na rovině (Majumdar & Robergs, 2011).

### **Metody analýzy techniky běhu**

Někteří autoři (Pohlová, 2018) vnímají zvýšenou potřebu detailně a vědecky analyzovat kvalitu běhu v dnešní době a přisuzuje tomuto trendu jak výkonnostní tak zdravotní aspekt. Pro určení zdravotních dopadů běhu jsou dle Maykut, Taylor-Haas, Paterno, DiCesare a Ford (2015) sledovány zejména poloha pánve, která určuje charakter postavení páteře a svalů hlubokého stabilizačního systému v bederní oblasti, dále postavení segmentů v kloubech dolní končetiny ve smyslu vychýlení od optimálního směru ve frontální rovině. Nejvyužívanější metodou v klinické praxi je 3D kinematická analýza (Pohlová, 2018).

Kinematická analýza se zabývá zkoumáním a popisováním pohybu v jeho vnějších projevech. Nejrozšířenější metodou je 3D analýza založena na snímání určených bodů na

pohybujícím se tělese v prostoru pomocí videokamer (Pohlová, 2018). Alternativu tvoří jiné elektronické snímání pohybu založené také na optických principech (Janura et al., 2012). Mezi kinematické metody patří mj. také akcelerometrie, které je věnován prostor v další kapitole této práce, a která se dle autorů jeví jako efektivní alternativa pro terénní měření (Higginson, 2009; Lindsay, Yaggie & McGregor, 2016). Všechny kinematické metody mají za cíl určit souřadnice vyhodnocovaných bodů v prostoru popřípadě určit parametry času nebo zrychlení.

Druhou skupinou jsou kinetické metody, které se na rozdíl od vnějšího popisu zabývají zkoumáním vnitřních příčin pohybů. Operují s veličinami, jako jsou síla a momenty sil. Mezi typicky využívané přístroje patří různé druhy silových plošin založených na měření reakční síly podložky. Z těchto základních parametrů se následně odvozují další, jako moment síly v kloubních spojeních a mechanický výkon. Alternativou jsou metody založené na dynamické plantografii měřící rozložení tlaku v místě kontaktu s podložkou a jeho změny v čase (Jandačka, 2011; Janura et al., 2012). Pro terénní měření lze využít také tlakové minisenzory umístěné přímo v podrážce obuvi (Higginson, 2009).

Mezi další metody řadí Higginson (2009) elektromyografii. Tato metoda používá k vyhodnocení data získaná měřením elektrické aktivity svalů. Tato metoda doplňuje parametry získané z kinetické a kinematické analýzy (Janura et al., 2012). U elektromyografie se zjišťuje se pořadí zapojených svalů (timing) a intenzita svalové aktivity.

Mezi další metody pro zjišťování polohy segmentů a kloubů těla patří elektrogoniometrie či gyroskopie (Higginson, 2009), které měří úhly nebo úhlové rychlosti.

## **Akcelerometrie**

Akcelerometrie je jednou z metod využívaných v biomechanice k analýze pohybu. Je založena na principu měření zrychlení hmotného tělesa připevněného na segment těla (Janura & Zahálka, 2004). K měření využívá inerciální senzor zvaný akcelerometr. Určené odchylky vzniklé při pohybu akcelerometru vytváří elektrický signál, který je dále zpracováván. Při použití 3 akcelerometrů navzájem na sebe kolmých můžeme hovořit o 3D analýze pohybu.

Akcelerometrie je založena na operacích s fyzikální veličinou zrychlení (akcelerace). Akcelerace je míra změny rychlosti v časové jednotce. Hamill a Knutzen (2016) uvádí, že běžci zpomalují a zrychlují svůj pohyb v každém kontaktu s podložkou.

Akcelerometry mohou dle Janury et al. (2012) měřit jak dynamické, tak statické zrychlení, slouží také k určování odstředivých a setrvačných sil. Dále také slouží k definování polohy tělesa, jeho rotace nebo vibrací. Akcelerometry mají schopnost zaznamenávat zrychlení kontinuálně v čase a ve vysokých frekvencích, čímž rozšiřují možnosti využití na monitoring pohybové aktivity a sledování energetického výdeje. Dle Higginson (2009) lze také metodu použít ke kvantifikaci reakčních a nárazových sil a k posuzování parametrů, které mají vztah k únavě.

Primárním účelem je ovšem sledování charakteru lidské lokomoce v duchu výše uvedených parametrů a možnost objektivního srovnávání jejich vzorců. K tomu akcelerometrie poskytuje souvislou časoprostorovou charakteristiku a jeví se tedy jako vhodná alternativa tradičních analytických metod (Higginson, 2009). Také další autoři (Pohlová, 2018) označují akcelerometrii za velmi validní a reliabilní.

Lindsay, Yaggie a McGregor (2016) si všímají velkého navýšení potřeby měřicího rozsahu ve vysokých rychlostech lokomoce, což může vést k neúplnosti získaných dat. Autoři potvrzují silnou reliabilitu akcelerometrie ve vztahu k metodě založené na optickém snímání pohybu.

Zásadní rozdíl těchto dvou metod však spočívá v určení os pohybu, které lze při optickém kamerovém snímání určit ve vztahu běžce a okolí, zatímco u dat z akcelerometrů se vztahují k osám těla, což neumožňuje posuzovat polohové parametry jako náklon trupu u běžce či zakřivení páteře (Lindsay, Yaggie & McGregor, 2016). Ovšem podle Higginson (2009) některé přístroje dokáží měřit gravitační zrychlení a tím určit statickou polohu.

Akcelerometrie vykazuje oproti optickému měření srovnatelnou opakovatelnost a přesnost (Lindsay, Yaggie & McGregor, 2016). Tato zjištění však platí pro lokomoci netrénovaných běžců nepohybujících se v maximálních rychlostech.

Povrchové snímání těla dělá akcelerometry citlivějšími na vibrace a drobné pohyby tkání, a to zejména u rychlejších způsobů lokomoce, což může mít vliv na posuzování odchylek v celkové kvalitě pohybu (Lindsay, Yaggie & McGregor, 2016). Samotná pozice akcelerometru na těle může dle Janury et al. (2012) nepříznivě ovlivňovat naměřená data stejně jako samotná hmotnost přístroje.

Akcelerometrie získává data zrychlení přímo, bez nutnosti dalších početních operací, navíc jejich současná kapacita dle Lindsay, Yaggie a McGregor (2016) dostačuje na použití při maratonských distancích. Jednoduchost přístroje a kompletnost získaných dat z nich dělá vhodnou pomůcku pro terénní využití. Higginson (2009) zdůrazňuje možnost získávat data také o úhlových polohách a rychlostech v kloubních spojeních při doplnění akcelerometrie k ostatním metodám.

Higginson (2009) dává akcelerometrii do souvislosti s technologiemi založenými na přenosných senzorech a spatřuje u ní řadu dalších výhod. Jedná se zejména právě o jednoduchost manipulace a přenosu, která se pojí s nižší ekonomickou náročností. Data jsou dále významně rozšiřujícím činitelem pro práci sportovních odborníků a lékařů. V neposlední řadě také autor mluví o využití v průmyslu sportovního oblečení a vybavení a o řadě snah o propojení senzorů s obuví a o umožnění běžného a pohodlného využívání senzorů masou sportujícího obyvatelstva.

Akcelerometrie efektivně měří rozsahy zrychlení v jednotlivých osách v prostoru. Zároveň lze z dat vysledovat pravidelnost běžeckého kroku. Tyto parametry ukazují na kvalitativní charakteristiky běžecké lokomoce. Vědci zjistili, že s únavou se mění velikost zrychlení v mediolaterálním a anterioposteriorálním směru a zvyšují se nepravidelnosti hodnocené pomocí sample entropy (Schütte et al., 2015).

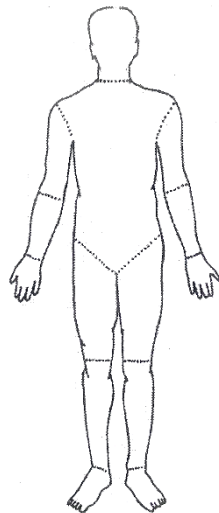
Murray et al. (2017) prováděli výzkum s cílem nalézt vztah mezi proměnnými z akcelerometrů a fyziologickými proměnnými. Jejich výsledky ukázaly významné korelace mezi sample entropy a kvadratickou odchylkou (root mean square) odvozených ze zrychlení a fyziologickými parametry  $VO_2\max$  a krevního laktátu. Ve studii bylo zahrnuto pouze 6 participantů, test probíhal za standardizovaných podmínek na běžícím pásu za využití ověřených analyzátorů. Použitý akcelerometr byl od stejného výrobce jako v této práci.

Pro určení charakteristik pohybu ve vztahu k celému tělu nebo k jeho segmentům určujeme těžiště. Je to místo působení tíhové síly na těleso. Jedná se o zjednodušující způsob popisu lidského těla, kdy je celé tělo nebo jeho segment nahrazen jedním tíhovým bodem. Podle Janury a Zahálky (2004) se v základní anatomické poloze nachází v malé pánvi v oblasti třetího křížového obratle. Jak autoři dodávají, určení těžiště je zpravidla přibližné, metody nekalkulují s detailní vnitřní stavbou těla a jeho segmentů a neberou ohled na druh a poměr tkání.

Těžiště těla určujeme na základě zákonitostí, které popisují Janura a Zahálka (2004):

- součet hmotností segmentů těla je roven celkové hmotnosti těla
- součet tíhových sil působících na segmenty těla je roven celkové tíhové síle působící na těleso
- součet momentů těchto tíhových sil segmentů je rovněž roven celkovému momentu tíhové síly.

Jak je vidět, je nutné určit polohu těžiště jednotlivých tělesných segmentů. Tělo můžeme rozdělit na různý počet segmentů podle účelu zkoumání (Janura & Zahálka, 2004). Nejčastěji je využíváno 14segmentové rozdělení (Obrázek 6). Pro zjištění hmotností a těžišť jednotlivých segmentů lze využít údaje z různých vědeckých zdrojů (Janura & Zahálka, 2004).



Obrázek 6. Rozdělení těla na segmenty (upraveno dle Janura & Zahálka, 2004)

## Starší školní věk

Starší školní věk je období přibližně mezi 10 – 15 lety života (Jeřábek, 2008; Perič, 2012, Bunc & Perič, 2009). Je popisováno jako období přechodu z dětství do dospělosti. Je spojeno s obdobím tzv. puberty, kdy lidské tělo prochází velmi dynamickými a do jisté míry nepředvídatelnými změnami z hlediska biologického i psychologického. Bunc a Perič (2009) neztotožňují pubertu a starší školní věk úplně, podle autorů začíná starší školní věk dříve než puberta. Podle Jeřábka (2008) začíná puberta dříve u děvčat než u chlapců. Perič (2012) dále rozděluje pubertu na dvě období. První fází je prepubesce, která je bouřlivější než konečná fáze puberty.

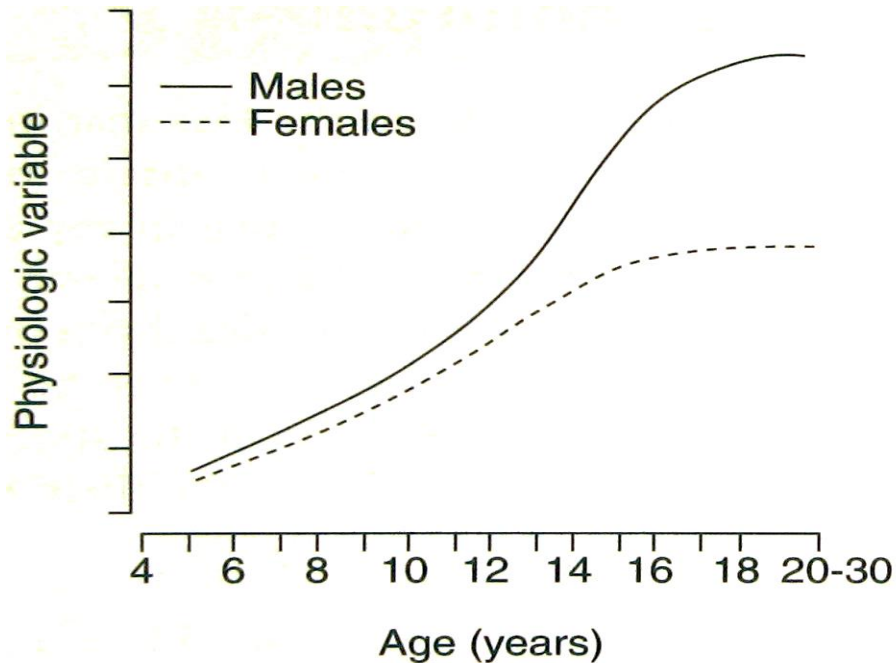
V tělesném vývoji pubescenta dochází ke zrychlování celkového tělesného růstu, což může negativně působit na kvalitu pohybu (Perič, 2012). Růst pohybového ústrojí zpravidla bývá rychlejší než vývoj vnitřních orgánů. Zároveň je růst kosterního aparátu rychlejší než rozvoj svalově-šlachového ústrojí, což vede jak ke komplikacím sportovního rozvoje v důsledku snížení pružnosti svalů a kloubní flexibility, tak ke zvýšení náchylnosti ke zdravotním problémům podpůrně-pohybového aparátu (Jeřábek, 2008). V těle dochází k výrazným fyziologickým a hormonálním proměnám, které probíhají individualizovaně co do intenzity a rychlosti změn. V pubertě už má jedinec kvalitně vyvinuty smysly a nervovou soustavu, které zároveň zatím nepodléhají známým stárnutí. Na konci období staršího školního věku naopak růst typicky zpomaluje, Jeřábek (2008) hovoří o tzv. negativní akceleraci.

Hormonální změny ovlivňují také psychické prožívání jedince. V období puberty dochází k nárazovému zvýšení produktivní činnosti žláz s vnitřní sekrecí, které vyplavují látky přímo do krevního oběhu, čím dynamicky mění vnitřní látkové složení organismu (Jeřábek, 2008). V důsledku toho je typická určitá labilita po emoční stránce, náladovost a nevyrovnanost. Dítě vykazuje známky vymezování vlastní osobnosti vůči svému okolí. Po stránce rozumu dítě chápe abstraktní pojmy, zlepšuje se paměť. Psychické procesy v pubertě jsou již na takové úrovni, aby si člověk uvědomoval důležitost sportu a formuloval svůj vlastní vztah ke sportu (Perič, 2012). Rozumové kvality zároveň dělají trénink rychlejším a snazším.

Ve fyziologických aspektech staršího školního věku lze spatřovat dynamické změny v souvislosti s tempem tělesného růstu. S rostoucím srdcem se zvyšuje tepový objem i minutový srdeční výdej, s velikostí svalů roste síla (Cyprián, 2015).

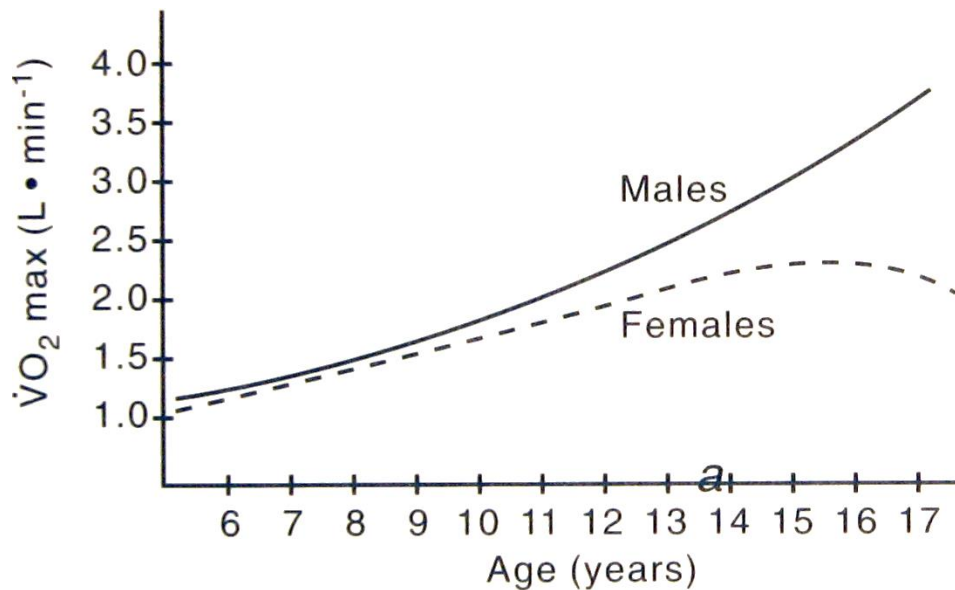


Celkový nárůst fyziologických proměnných se v tomto období začíná odlišovat dle pohlaví. Ukazatele  $VO_2\text{max}$ , velikost srdce a plic rostou mnohem rychleji u chlapců, jak ukazuje Obrázek 7.



Obrázek 7. Fyziologický rozvoj (Cipryán, 2015, 3)

Absolutní aerobní kapacita v tomto věku roste. U chlapců se dynamika růstu ještě zvětšuje vlivem nárůstu svalové hmoty, kdežto u dívek zpomaluje a postupně klesá (Obrázek 8). Relativní aerobní kapacita však klesá u obou pohlaví vlivem poklesu klidového metabolismu (Cyprián, 2015), a také z toho důvodu, že rozvoj kardiorespiračního systému je pomalejší než tempo růstu organismu (Jeřábek, 2008). Zároveň autor tvrdí, že ačkoliv laktátová tolerance již mírně vzrůstá, stále ještě anaerobní energetické krytí není na dostačující úrovni.



Obrázek 8. Vliv věku na maximální aerobní kapacitu (Cyprián, 2015, 10).

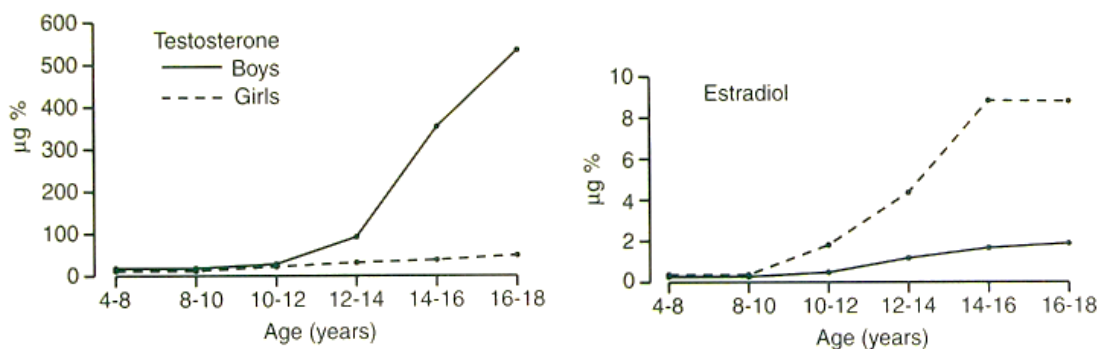
Cipryán (2015) také zdůrazňuje vliv růstového hormonu a s ním souvisejících humorálních faktorů. Růstový hormon je uvolňován zejména v noci, proto je v období staršího školního věku dostatek spánku důležitý pro správný tělesný vývoj. Mezi ovlivňující faktory patří také vliv prostředí včetně pohybové aktivity.

Další vlastnosti dospívajícího organismu souvisí se zvýšeným uvolňováním pohlavních hormonů testosteronu u chlapců a estrogenů u dívek (Cyprián, 2015).

Testosteron obecně způsobuje v tomto věku zrychlení růstu a virilizační (maskulinizační) efekt (Botek et al., 2017). Mezi další důležité vlastnosti testosteronu tuto autoři uvádí antiosteoporotické působení, stimulační vliv na produkci červených krvinek, nárůst svalové hmoty a urychlení maturace kostní tkáně.

Estrogeny mají podobně pozitivní vliv na vlastnosti kostní tkáně. Dále mají vliv na metabolismus tuků typický u žen, na ochranu cévního řečiště a hydrataci organismu. Primární funkcí však je rozvoj v reprodukční oblasti (Botek et al., 2017). Nejtypičtějším hormonem ze skupiny estrogenů je estradiol.

Změny v produkci pohlavních hormonů během vývoje u obou pohlaví můžeme vidět na Obrázku 9.



Obrázek 9. Vývoj produkce testosteronu a estradiolu od 4 do 18 let věku (Cyprián, 2015, 8)

V první fázi období ještě doznívá tzv. zlatý věk motorického učení, vrcholí období příznivých vývojových podmínek pro všeobecný rozvoj pohybových schopností i dovedností. Podle Periče (2012) se pohyby stávají účelnějšími, na vysoké úrovni je pohybová anticipace. Díky vysoké úrovni nervové soustavy je u jedinců velmi kvalitní vnímání pohybů a jednoduše a rychle se utvářejí podmíněné reflexy. Nicméně naproti tomu skokový a nerovnoměrný vývoj těla i jeho jednotlivých částí, následující po fázi zlatého věku, způsobuje často přechodné zhoršení přesnosti a plynulosti pohybů. V této fázi dochází k narušení úrovně koordinace a kvality motorického učení, což je však přechodný jev, který se na konci staršího školního věku ustálí (Jeřábek, 2008).

Na sportovní vývoj jedince mají v tomto věku značný vliv jeho sociální souvislosti (Perič, 2012). Začíná významnější účast na společenském životě a nová sociální situace je něčím, s čím se jedinec musí vyrovnávat. Mohou se objevit projevy agrese, introvertního chování až uzavírání se do sebe a náhlé, razantní změny v sociálním chování. Vztahy v kolektivu mohou být silné a prohlubovat vztah ke společně sportovní činnosti. Také důraz na identifikaci s osobnostmi jako vzory může mít podobný efekt.

Perič (2012) považuje za důležité zmínit, že samotný soutěžní sportovní výkon má u dětí úplně jiný význam než u dospělých. Zatímco u dospělých sportovců jde o dosažení co nejlepšího výsledku, dětská sportovní soutěž je pouze další jednotkou tréninkového procesu a spolu s běžnou tréninkovou jednotkou by měla přispívat k prožitkům dítěte spojeným se sportovní aktivitou. Dle Jeřábka (2008) je také jedním z účelů organizovaných soutěží seznámení s jejich fungováním a zažití jejich atmosféry, což může rovněž pozitivně ovlivnit vztah k pohybové aktivitě jako takové.

## Specifika sportovního tréninku ve starším školním věku

Sportovní trénink v období staršího školního věku je charakteristický některými obecnými zákonitostmi, je však také obdobím značného individualismu nejen v motorickém vývoji člověka. V atletice je tento věk obdobím základní přípravy, jak se shodují různí autoři (Prukner & Machová, 2011; Vindušková et al., 2003). Zároveň však autoři dodávají, že toto obecné rozdělení podléhá individuálním odlišnostem. Současná praxe atletického tréninku v ČR ukazuje spíše na trend snižování věku začátku atletické přípravy a posouvání jednotlivých etap atletické přípravy do mladších let života atleta. Základní trénink probíhá často už v kategorii přípravek, v mladším školním věku, které jsou v posledních letech lépe organizačně uchopeny, a starší školní věk je z toho důvodu spíše etapou přechodu do fáze další specializace, kdy běžci volí svůj preferovaný charakter distancí (sprinty, střední tratě, dlouhé tratě).

V tomto období ještě nabývá na důležitosti rozdíl biologického a kalendářního věku. Perič (2012) charakterizuje biologický věk jako stupeň biologické vyspělosti organismu. Ve vztahu ke kalendářnímu věku, odvozanému od data narození, rozlišuje autor biologickou akceleraci, tedy zrychlený vývoj dítěte, a biologickou retardaci, tedy zpomalený tělesný růst. Neméně důležitý vliv má i třetí věková charakteristika, kterou autor rozlišuje, a tou je tzv. sportovní věk, což je doba, po kterou daný jedinec systematicky trénuje ve sportu.

Základním východiskem pro sportovní trénink dětí je tvrzení, že dítě není malý dospělý, není tedy možné jej k dospělému přirovnávat a ani slepě přenášet tréninkové aspekty ze sportovní přípravy dospělých na dítě.

Sportovní trénink dětí a dospělých se liší i v základních cílech tréninku. Na rozdíl od správného dávkování zatížení u dospělých, u dětí upřednostňujeme aspekt kvalitního motorického učení a vztahu ke sportu jako činnosti (Perič, 2012). Stejný autor formuluje tři základní priority pro trénink dětí:

- **nepoškodit dítě** je velmi důležitá zásada. V citlivé otázce dětského vývoje může vzniknout mnoho nežádoucích efektů sportovní aktivity. Existují jak fyzická, tak psychická rizika. Mezi ta psychická řadíme vznik stravovacích poruch a traumat následkem nevhodného chování či zneužívání ze strany trenéra. Dítě chápeme jako bytost se specifickými anatomickými, fyziologicko-morfologickými a pedagogicko-psychologickými charakteristikami, které je potřeba respektovat (Bunc & Perič, 2009),

- **vytvořit vztah ke sportu** je neméně důležitá zásada. Naprostá většina dětí nebude v dospělosti sportovat na nejvyšší úrovni, přesto je pro dobro jedince i společnosti žádoucí, aby věnovala přiměřenou část svého volného času aktivní pohybové činnosti. K tomu může dojít pouze za předpokladu kladného emočního postoje k pohybu,
- **vytvořit základy pro pozdější trénink** přichází na řadu až jako třetí v pořadí. Autor říká, že u dětí by mělo docházet zejména ke kvalitnímu motorickému učení, aby perfektně zvládnutá technika pohybové dovednosti následně umožňovala plnohodnotný a zdravotně bezpečný trénink výkonnostního zaměření, který má místo až v pozdějších fázích vývoje sportovce.

Bunc a Perič (2009) k výše uvedenému dodávají, že rozhodujícím požadavkem na sportovní přípravu dětí je všestranný pohybový rozvoj. Následná výrazná specializace pohybových schopností a dovedností pro účely konkrétního sportovního odvětví je charakteristická pro trénink starší věkové skupiny.

V přechodí části práce byly podrobně popsány obecné zásady sportovního tréninku. Některé z nich nabývají u dětí ještě většího významu. Perič (2012) zdůrazňuje zejména zásadu přiměřenosti. Autor také v kontextu popisovaných specifík sportovní přípravy dětí zdůrazňuje dvě další zásady:

- zásada uvědomělosti a aktivity by měla vést děti k pochopení smyslu sportovní aktivity, aby docházelo k aktivnímu vyhledávání a zapojování do pohybových aktivit, zároveň aby dítě docházelo k uvědomování si vlastního těla a vlivů pohybu na tělo,
- zásada trvalosti poté vyžaduje, aby zejména u dětí tréninkem osvojené kvality nepodléhaly zkáze v čase.

Období staršího školního věku obdobím vhodným zejména k rozvoji rychlostních schopností, kdy ještě přetrvávají podmínky z předchozí fáze dětského vývoje (Bunc & Perič, 2009). Po tomto věku dochází ke zlepšení rychlostní schopnosti spíše vlivem podpůrných mechanismů jako je rozvoj výbušné síly.

Copaver, Hertogh a Hue (2012) zjišťovali determinanty výkonu ve sprinterském běhu u chlapců ve věku 13 – 15 afro-karibského etnického původu. Zjistili, že zejména délka kroku a její poměr k tělesné výšce, prochází mezi 13. a 15. rokem progresivním vývojem, kdežto výbušná síla není v tomto věku pro výkon v testech pohybových

schopností, tak významná. Výzkumu se účastnilo 200 atleticky netrénovaných chlapců, na začátku a na konci dvouletého období podstoupili test vertikálního výskoku a krátkého sprinterského závodu. Výsledky testu ukazují také možný směr v identifikaci talentovaných sprinterů.

Jak už bylo řečeno výše, začátek období staršího školního věku je obdobím, kdy končí tzv. zlatý věk motoriky charakterizovaný vysokou citlivostí pro stimulaci koordinačních schopností. Autoři dále konkrétně zdůrazňují jako vysoce efektivní v tomto období rozvoj rovnováhy, flexibility, složité motoriky a přesnosti pohybu. Všechny tyto vlastnosti jsou však limitovány nástupem puberty (Bunc & Perič, 2009).

Z hlediska specifík dané věkové kategorie se sportovní trénink zaměřuje více na rychlostně-výbušné předpoklady výkonu. Jedinci nízkého věku mají vyšší zastoupení rychlých svalových vláken, které s přibývajícím rokem klesá, je tedy vhodné klást důraz na rozvoj právě těchto svalových dispozic (Novotná & Novotná, 2007).

Důležitou roli u dětí hraje motivace ke sportovní činnosti. Děti by měly být ve sportu hnány touhou něco prožít – legraci, hraní, pěkné chvíle atd. I snaha o úspěšnost je na místě, neměla by však sklouznout k zaměření jen na úspěch „za každou cenu“ nebo k nedostatku respektu k ostatním lidem (Perič, 2012).

Perič (2012) věnuje mimořádnou pozornost výživě u sportovců dané věkové kategorie. Z hlediska pestrosti stravy a zastoupení jednotlivých nutrientů je u dětí speciálně důležité, aby jejich tělo dostávalo všechny živiny v požadovaném množství. U jedinců staršího školního věku si autor všímá ještě zvýšených energetických nároků organismu díky zajišťování přirozeného růstu a vývoje v kombinaci s tréninkovými nároky.

Z hlediska atletického sportovního tréninku klade Jeřábek (2008) důraz na spolupráci oddílové přípravy a školy. Atletika má v rámci současných rámcových vzdělávacích programů pevné místo ve školní tělesné výchově. I v základním kurikulu učiva by měli žáci dle Jeřábka (2008) zvládnout techniku běhu šlapavým a švihovým způsobem i ve variacích a nadstavbových běžeckých cvičeních, a zároveň disponovat dostatečně rozvinutými pohybovými schopnostmi pro zvládnutí nároků různých běhaných distancí.

Děti staršího školního věku, které podstupují již systematickou atletickou přípravu, zpravidla z důvodů zvýšeného zájmu o sportovní odvětví a pro vykazování svého nadprůměrného talentu, bývají sdružovány do tzv. Sportovních středisek. Tito sportovci již mohou mít přizpůsobený režim školní docházky, není to však podmínkou (Český

atletický svaz, 2016). To se uskutečňuje zpravidla prostřednictvím sportovních tříd, které jsou právě typickým systémem spojení sportovní přípravy a povinné školní docházky ve starším školním věku. V Olomouci funguje atletická třída pro žáky 6. – 9. tříd na ZŠ Heyrovského, žáci jsou vybíráni na základě pohybových a prospěchových kritérií a předpokládá se spolupráce s Atletickým klubem Olomouc, kde již žáci podstupují systematický sportovní trénink pod vedením kvalifikovaných trenérů a reprezentují klub na atletických závodech. Kromě toho mají také rozšířenou tělesnou výchovu ve škole.

Speciální částí sportovní přípravy jsou také školní atletické soutěže. Jak si všímá Jeřábek (2008) jejich specifický význam tkví v tom, že mohou přiblížit běh také dětem, které samy nevyhledávají sportování na úrovni spolků ve svém volném čase, a tímto u sebe mohou objevit skryté dispozice pro velmi kladný vztah k běhu jako základu pro řadu pohybových aktivit. Z pohledu specializovaného tréninku zase školní soutěže podle autora mohou odhalit skrytý talent.

V současné době probíhají na českém území pro mládež staršího školního věku Pohár Rozhlasu (Český atletický svaz, n.d.) Dříve fungovala i soutěž Atletický čtyřboj, kdy závodníci soutěžili formou víceboje v základních disciplínách a jejich výsledek se sčítal pro družstvo. Atletika je také nedílnou součástí multisportovních událostí, pro starší školní věk je v ČR pořádána Olympiáda dětí a mládeže, kde žáci reprezentují nikoliv oddíl nebo školu, ale svůj kraj (Jeřábek, 2008).

Přes všechno výše zmíněné si Bunc a Perič (2009) všímají, že požadavky na trénink a výkonnost dětí mají stoupající trend. S vědecko-technickým pokrokem se dětská sportovní příprava posouvá kupředu, což se projevuje také v posouvání výkonnostních rekordů.

## **Cíle a hypotézy**

### **Cíle**

Cílem práce je zhodnotit vztah mezi variabilitou úhlové rychlosti při běhu získanou z inerciálního senzoru umístěného v oblasti bederní páteře a technikou, rychlostí běhu, věkem a pohlavím běžců.

Dílčí cíle jsou:

- zhodnotit vztah mezi úhlovou rychlostí při běhu a expertním posouzením techniky běhu atletickými trenéry
- zhodnotit vztah mezi úhlovou rychlostí při běhu a maximální rychlostí běžce
- posoudit vliv věku a pohlaví na úhlovou rychlost při běhu

### **Hypotézy**

- H1: Běžci s lepší technikou běhu budou mít menší variabilitu úhlové rychlosti při běhu
- H2: Běžci s vyšší maximální rychlostí běhu budou mít menší variabilitu úhlové rychlosti při běhu
- H3: Běžci vyššího věku mají menší variabilitu úhlové rychlosti při běhu ve srovnání s běžci nižšího věku
- H4: Pohlaví nemá vliv na variabilitu úhlové rychlosti běhu



## Metodika

Diplomová práce je součástí projektu „Biomechanická analýza pohybu při různých pohybových činnostech“. Tento projekt byl schválen etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci.

### Výzkumný soubor

Výzkumu se zúčastnilo celkem 48 žáků 6. až 9. atletické sportovní třídy ZŠ Heyrovského, Olomouc. Do sportovních tříd jsou vybíráni na základě přijímacích talentových zkoušek na konci 5. třídy. Není podmínkou být členem atletického oddílu či klubu, nicméně běh tvoří významnou součást talentové přijímací zkoušky. Devět probandů bylo vyřazeno, protože se nezúčastnili druhé části testování (viz níže). U dvou osob nebyla změřena odpovídající data. Výsledné zpracování bylo provedeno u 38 osob. Jednalo se o žáky ve věku 11,67 až 15,40 let, kteří byli rozděleni podle tříd do čtyř skupin (Tabulka 3).

Tabulka 3

#### *Výzkumný soubor*

Skupina probandů	Počet (n):		Věk (roky):
	Dívky	Chlapci	
6. třída	3	5	12,19 ± 0,46
7. třída	3	8	13,29 ± 0,54
8. třída	7	6	14,21 ± 0,32
9. třída	1	4	15,09 ± 0,25
<b>Celkem</b>	<b>14</b>	<b>23</b>	<b>13,62 ± 1,04</b>

Pro expertní hodnocení trenéry bylo využito třech atletických trenérů s trenérskou licencií I. – III. třídy.

### Postup měření

Sběr dat byl proveden ve dnech 25. 2. až 8. 3. 2019 v atletickém tunelu AK Olomouc. Žáci podstoupili testovací běhy v rámci hodin rozšířené tělesné výchovy s atletickou specializací.

Každý proband absolvoval dvě testovací tréninkové jednotky (TJ) s týdenním odstupem. V obou testovacích TJ každý proband zaběhl pět běhů na 60m na rovné atletické tartanové dráze bez startovního povelu, z libovolné startovní pozice, s vyloučením nízkého startu a bez použití startovních bloků.

V prvním týdnu žáci běželi všechny běhy maximální rychlostí s intervalem odpočinku mezi běhy 3 min. V druhém týdnu byli žáci instruováni k běhu na 70 % svého maximálního úsilí. Pro každého žáka byly vypočítány intervaly odpovídající  $70 \pm 5$  % maximální rychlosti ze sprinterských běhů z předcházející testovací TJ. Žáci měli ve druhém týdnu v rámci rozcvičení jeden „zkušební“ běh. Podle dosaženého běžeckého času byli následně slovně instruováni k upravení své běžecké rychlosti. Stejně slovní instrukce probandi dostávali také po každém ze svých pěti testovacích běhů.

Při každém z běhů měli probandi upevněn inerciální senzor Trigno (Delsys, Boston, USA) přímo na těle na zádech v oblasti pátého bederního obratle pomocí oboustranné lepicí pásky, tedy v blízkosti těžiště atleta při běhu. Běžecký čas byl měřen pomocí bezčipové časomíry R3 egmenargo (EGMedical, s. r. o., Brno, Česká republika) se dvěma laserovými fotobuňkami pro zachycení startu a cíle.

Při každém běhu byli žáci pozorováni dvěma nebo třemi atletickými trenéry s trenérskou licenci I., I. A III. třídy. Každý z trenérů hodnotil každý běh jednou bodovou hodnotou pro první polovinu uběhnuté vzdálenosti a jednou bodovou hodnotou pro druhou polovinu trati. Celkem tedy každý z trenérů udělil každému testovacímu pokusu dvě bodové hodnoty podle škály 1 – nejhorší, 10 – nejlepší. Výsledná bodová hodnota vznikla vypočítáním aritmetického průměru ze všech hodnocení (Tabulka 4). Při hodnocení techniky běhu byl hodnocen zejména optimální rozsah pohybu v kloubech horních i dolních končetin, optimální poloha trupu vůči podložce, rychlost a charakter oporové fáze běhu, absence nežádoucích souhybů segmentů těla a celková plynulost lokomoce.

Tabulka 4

*Ukázka formuláře hodnocení techniky běhu*

Jméno:	Běh 1		Běh 2		Běh 3		Běh 4		Běh 5	
	<30m	>30m	<30m	>30m	<30m	>30m	<30m	>30m	<30m	>30m
Žák 1	6,5	6,5	7	7	6,5	7	7,5	7	7	6,5
Žák 2	4,5	4,5	5	5	4,5	4,5	5	4,5	5,5	5
Žák 3	7	8	7,5	8	8,5	8,5	9	9	8,5	9
Žák 4	6	6,5	6	6,5	6,5	6,5	6,5	6	6,5	6,5
Žák 5	5	5	5	4,5	5	5	5,5	5,5	5,5	6

### Zpracování dat

Úhlové rychlosti ve třech rovinách byly filtrovány obousměrným filtrem Butterworth 4-tého rádu s dolnofrekvenční propustností a hraniční frekvencí 30 Hz. Sledované proměnné odvozené z inerciálních senzorů byly: variabilita (střední kvadratická odchylka) úhlové rychlosti v rovině sagitální (RMS\_S), frontální (RMS\_F) a transverzální (RMS\_T).

Statistické zpracování bylo provedeno v programu Statistica (verze 12, StatSoft, Inc., Tulsa, USA). Shapiro Wilk test ukázal, že některé proměnné nemají normální rozložení dat, a tak byla použita neparametrická statistika. Pro posouzení vztahů mezi proměnnými byl použit Spearmanův korelační koeficient. Rozdíly mezi skupinami byly hodnoceny pomocí Mann Whitney U testu. Hladina statistické významnosti byla stanovena na úrovni  $\alpha = 0,05$ .

## Výsledky

Průměrné hodnoty věku, rychlosti, dosaženého skóre při hodnocení techniky a variability úhlové rychlosti těžiště (přesněji projekce 5. bederního obratle) pro skupiny chlapců a dívek jsou uvedeny v tabulce 5. Porovnání hodnot chlapců a dívek neukázalo žádný statisticky významný rozdíl mezi těmito skupinami.

Nejmenší změny ve variabilitě pohybu z hlediska úhlové rychlosti vykazovalo těžiště těla v sagitální rovině (RMS S), tedy v předozadním směru. O něco větší úhlové zrychlení bylo naměřeno v rovině frontální (RMS F), což ukazuje na výchyly z hlediska stranových úklonů při běhu a největší rozsah zrychlení vidíme v rovině transverzální (RMS T), ukazující na rotační pohyby trupu.

Tabulka 5

### *Popisné statistiky*

Skupina	Dohromady (n = 37)		Dívky (n = 14)		Chlapci (n = 23)	
	Průměr	SD	Průměr	SD	Průměr	SD
Věk	13,6	1,0	13,6	1,1	13,6	1,0
Sprint	9,1	0,5	9,2	0,5	9,1	0,6
Technika	6,1	1,2	6,6	1,3	5,8	1,0
RMS S	90,8	17,9	94,6	19,9	88,4	16,7
RMS T	137,4	13,5	136,1	11,3	138,3	14,9
RMS F	106,7	16,0	109,2	16,3	105,2	16,0

Legenda: SD – směrodatná odchylka, RMS S – variabilita úhlové rychlosti v sagitální rovině, RMS T – variabilita úhlové rychlosti v transverzální rovině, RMS F – variabilita úhlové rychlosti ve frontální rovině

V další části analýzy jsme sledovali vztah mezi variabilitou úhlové rychlosti získanou z inerciálních senzorů a rychlostí běhu, technikou běhu hodnocenou trenéry a věkem. U všech proměnných jsme sledovali výsledky pro celý soubor i pro skupiny podle pohlaví. Vztah jsme posuzovali pomocí dvou postupů, a to korelace (viz níže) a porovnání skupin s nižšími a vyššími hodnotami sledované proměnné. Skupiny byly rozděleny následovně:

- horší technika – bodové ohodnocení 4 až 6 bodů
- lepší technika – bodové ohodnocení 6,1 až 9 bodů
- rychlejší – čas 8 až 9,15

- pomalejší – čas 9,16 až 10,15
- mladší – 6. a 7. třída
- starší – 8. a 9. třída

Hodnoty variability úhlové rychlosti jsou prezentovány v tabulkách 6 - 8.

Při porovnání skupiny s horší a lepší technikou běhu hodnocené trenéry nebyl zjištěn žádný statisticky významný rozdíl mezi skupinami.

Tabulka 6

*Variabilita úhlové rychlosti u skupin s různou technikou běhu*

Skupina	Dívky				Chlapci			
	Horší technika (n = 6)		Lepší technika (n = 8)		Horší technika (n = 15)		Lepší technika (n = 8)	
	Průměr	SD	Průměr	SD	Průměr	SD	Průměr	SD
RMS S	98	25,1	92	16,3	88,1	19,9	89,1	9,3
RMS T	135,6	11,6	136,4	11,8	134,1	16	146	8,9
RMS F	104,4	17,7	112,8	15,4	104,1	16,3	107,3	16,2

U skupiny dívek byla významně nižší variabilita úhlové rychlosti v sagitální rovině u skupiny, která dosahuje vyšší rychlosti běhu ve srovnání se skupinou s nižší rychlostí běhu ( $p = 0,03$ ). U chlapců významné rozdíly mezi skupinami zjištěny nebyly.

Tabulka 7

*Variabilita úhlové rychlosti u skupin s různou rychlostí běhu*

Skupina	Dívky				Chlapci			
	Rychlejší (n = 7)		Pomalejší (n = 7)		Rychlejší (n = 11)		Pomalejší (n = 12)	
	Průměr	SD	Průměr	SD	Průměr	SD	Průměr	SD
RMS S	83,2	9	106	21,7	89,2	19,9	87,7	14,1
RMS T	134,3	12,2	137,9	10,8	138,3	14	138,2	16,3
RMS F	108,6	16	109,8	17,9	105,2	20,5	105,2	11,3

Při porovnání skupin různého věku nebyly nalezeny žádné významné rozdíly mezi skupinami ani u dívek ani u chlapců.

Tabulka 8

*Variabilita úhlové rychlosti u skupin s různým věkem*

Skupina	Dívky				Chlapci			
	Mladší (n = 6)		Starší (n = 8)		Mladší (n = 13)		Starší (n = 10)	
Parametr	Průměr	SD	Průměr	SD	Průměr	SD	Průměr	SD
RMS S	86,8	13,2	100,4	22,7	88,6	12,5	88,2	21,8
RMS T	134,6	13,6	137,2	10	140,4	15,6	135,5	14,2
RMS F	112,2	16,8	106,9	16,7	102,3	16,1	108,9	15,9

Korelační analýzy s využitím Spearmanova korelačního koeficientu byly provedeny u celého vzorku, u dívek a u chlapců pro všechny proměnné (RMS S, RMS T, RMS F, věk, sprint a technika).

Tato analýza ukázala u celého vzorku bez rozdílu pohlaví, že významnou negativní korelaci mezi parametry „technika“ a „sprint“ (Tabulka 9), tedy čím lepší technika, tím kratší čas sprintu, a tedy rychlejší běh. Podobná korelace se ukázala i ve vzorku chlapců, u dívek je hodnota této korelace v souladu, avšak nedosahuje statistické významnosti.

U skupiny dívek není žádný z korelačních koeficientů statisticky významný, nicméně kromě výše popsaného vztahu „techniky“ a „rychlosti sprintu“ test ukazuje poměrně vysokou korelaci „rychlosti sprintu“ s „RMS S“ a „RMS T“, tedy že u vzorku dívek větší variabilita zrychlení v sagitální a transverzální rovině souvisí s pomalejší rychlostí běhu (Tabulka 9).

U skupiny chlapců výsledky ukazují statisticky významnou korelaci proměnných „sprint“ a „věk“. Starší chlapci tedy běželi v testu rychleji. Zároveň poměrně vysokou hodnotu korelace vykazuje vztah „techniky“ a „RMS T.“ Tato korelace je kladná, tedy u osob s lepší technikou je variabilita úhlové rychlosti v transverzální rovině vyšší.

Tabulka 9

*Spearmanovy korelace*

Proměnná	Věk	Sprint	Technika
Celý vzorek (N = 37)			
RMS S	0,067	0,113	-0,024
RMS T	-0,124	0,045	0,203
RMS F	-0,067	-0,027	0,183
Sprint	-0,190	x	<b>-0,436</b>
Technika	-0,114	<b>-0,436</b>	x
Chlapci (N = 23)			
RMS S	-0,145	-0,093	-0,013
RMS T	-0,252	-0,075	0,343
RMS F	-0,081	-0,016	0,211
Sprint	<b>-0,432</b>	x	<b>-0,517</b>
Technika	-0,250	<b>-0,517</b>	x
Dívky (N = 14)			
RMS S	0,389	0,477	-0,264
RMS T	0,231	0,341	0,101
RMS F	-0,112	-0,015	0,011
Sprint	0,218	x	-0,414
Technika	0,004	-0,414	x

## Diskuze

Data z inerciálních přístrojů popisují běžecskou lokomoci z hlediska variability úhlového zrychlení pohybů těžiště (přesněji oblast 5. bederního obratle) v rovinách těla. Největší absolutní hodnoty v transverzálním směru ukazují na velkou dynamiku rotačních pohybů trupu, nejmenší hodnoty RMS S naopak ukazují na malé výchylky ve smyslu zrychlování, resp. zpomalování těžiště ve směru souhlasném s celkovou lokomocí.

Použití senzoru umístěného v oblasti L5 lze chápat také tak, že měření odráží zejména pohyb trupu. Navíc, jak píší Edwards, White, Humphreys, Robergs a O'Dwyer (2019), ani umístění na trupu nemusí být validní a reliabilní pro zjišťování dat vzhledem k těžišti celého těla, avšak v této studii byly přístroje jinak upevněny. Někteří probandi v tomto výzkumu zaznamenali pocit nedostatečného upevnění přístroje na těle během měření. V našem případě byl přístroj přilepen přímo na kůži na projekci pátého bederního obratle. Jeví se tedy jako vhodné hledat nejlepší způsoby uchycení přístroje na těle atleta.

Počet statisticky významných rozdílů v naší studii je poměrně malý. Jedním z důvodů může být poměrně malý počet měřených subjektů po rozdělení na chlapce ( $N = 23$ ) a dívky ( $N = 14$ ), zejména pak u dívek.

Výsledky potvrzují, že správná technika běhu má pozitivní vliv na jeho rychlost, u chlapců hraje roli i věk, což může být způsobeno zrychlením tělesného růstu v daném věkovém období, který je u chlapců způsoben převážně nárůstem svalové hmoty, kdežto u dívek spíše přibývá tuková hmota (Lehnert et al., 2014; Sharma & Kailashiya, 2016). Související nárůst síly způsobuje rozdíly v rychlosti běhu. Výzkum neprokázal jiný vztah proměnných k věkové skupině v žádném z provedených testů.

Ukazatel rychlosti běhu mohl být ovlivněn nedostatečným intervalem odpočinku při měření opakovaných úseků maximální rychlosti. Minimální odpočinek tří minut dodržuje minimální, ne optimální dobu zotavení pro možnost opakovaného dosažení maximální rychlosti (Lehnert et al., 2014), na výsledný parametr tedy mohla mít vliv i intermitentní rychlostní vytrvalost.

Vztah mezi variabilitou pohybů těžiště těla by vzhledem k poměrně vysoké korelaci mezi rychlostí a technikou mohl být podobný ve vztahu k oběma proměnným pro obě sledované skupiny. To však naše výsledky nepotvrdily.

U dívek byla zjištěna střední míra korelace mezi rychlostí běhu a variabilitou úhlové rychlosti v sagitální a transverzální rovině, což by mohlo ukazovat na důležitost redukce nežádoucích souhybů těla a jeho segmentů. Podobně může mít negativní vliv na



rychlost běhu také nekoordinovaná činnost trupu nebo horních končetin, která vede k rozkládání silových vektorů a jinému než dopřednému působení částí generovaných sil.

Řada výsledků ukazuje vzájemně opačný charakter závislosti variability úhlové rychlosti pohybu těžiště v jednotlivých rovinách pohybu na ostatních proměnných. Zajímavý rozdíl v tomto směru vykazuje variabilita transverzální roviny mezi chlapci a děvčaty. Zatímco vysoká variabilita těchto pohybů u dívek vede ke snížení rychlosti, totéž u chlapců může naopak ukazovat na kvalitnější techniku lokomoce, obojí bez statistické významnosti. Vysvětlení může spočívat v práci horních končetin, u dívek by data mohla ukazovat na nepřesný směr pohybu (paže příliš do stran), u chlapců naopak na problém nedostatečného rozsahu pohybů horních končetin v technicky správném sagitálním směru. Případné zvětšení rozsahu pohybů horních končetin by mohlo vést k vyšší variabilitě RMS T. Pro zodpovězení těchto otázek je však potřeba další výzkum na větším výzkumném vzorku.

Velikost korelačních koeficientů mezi variabilitou úhlové rychlosti ve frontální rovině a dalšími zkoumanými parametry běhu byla nízká. Tento ukazatel by mohl měřit případné úklony trupu při běhu, které by ve větší míře pravděpodobně vedly k neefektivnímu využívání sil mimo dopředný směr (Prukner & Machová, 2011), v určité míře ale naopak mohou ukazovat na žádoucí uvolnění svalů trupu, které umožňuje efektivnější využívání energie ve svalech (Morley & Traum, 2018)

Toto tvrzení podporuje i studie Taylor a Beneke (2012), která na analýze nejrychlejších běžců světa ukazuje, že redukce ztuhlosti trupu může vést ke zvýšení rychlosti běhu. Menší ztuhlost může být podle Spring-Mass modelu vyjádřena větším vertikálním pohybem těžiště, což by mohlo vysvětlit střední míru záporné korelace mezi některými ukazateli RMS a rychlostí.

Jistý vliv na měřená data může mít i určení rychlosti pro sledovaný běh, která byla určena výpočtem 70 % maximální rychlosti dosažené ve sprintu. Způsob hodnocení míry úsilí běhu na základě podílu maximální rychlosti neodpovídá subjektivnímu pocitu běžce. Jinými slovy i mírně zkušený běžec při subjektivním úsilí na úrovni 70 % maxima může zaběhnout čas blížící se jeho sprinterskému výkonu. Je tedy možné, že explicitní určení tempa běhu na základě času mohlo u probandů znamenat rychlost běhu příliš malou pro udržení optimální techniky.

I přesto, že výsledky u dílčích parametrů vykazují až střední míru vzájemné korelace, charakter závislostí neumožňuje potvrdit hypotézy H1, H2, H3. Korelace neukazují jednoznačně na charakter pozitivní či negativní závislosti ani nedosahují

požadované hladiny významnosti. Při porovnání pohlaví jsme nenalezli žádný statisticky významný rozdíl v úhlové rychlosti při běhu, a proto hypotézu H4 potvrzujeme.

## **Závěry**

Na základě výsledků naší studie formulujeme následující závěry:

- technika běhu koreluje s maximální rychlostí běhu
- dívky s vyšší maximální rychlostí běhu měly menší variabilitu úhlové rychlosti v sagitální rovině
- variabilita úhlové rychlosti v transverzální rovině je vyšší u chlapců s lepší technikou běhu (pravděpodobně díky aktivní práci horních končetin) a děvčat s nižší rychlostí běhu.

## Souhrn

Cílem práce bylo zhodnocení vztahu mezi variabilitou úhlových rychlostí získaných z inerciálního senzoru, umístěného v oblasti bederní páteře a technikou běhu vyjádřenou expertním hodnocením trenéry a maximální rychlostí běhu s ohledem na věk a pohlaví běžců. Cíl práce byl naplněn částečně, práce ukázala některé významné závislosti, také však narazila na limity výzkumu spočívající v malém vzorku a vyřazení části dat z technických důvodů.

Předpokládali jsme, že u žáků s lepší technikou běhu a maximální rychlosti bude variabilita úhlové rychlosti menší. Podobně jsme očekávali menší variabilitu úhlové rychlosti u starších jedinců s delším sportovním věkem. Dále jsme předpokládali, že pohlaví nebude mít na hodnoty variability úhlové rychlosti vliv.

Výzkumu se zúčastnilo 48 žáků atletických sportovních tříd ve věku 12 až 15 let, kteří v rámci výzkumu absolvovali v rozmezí jednoho týdne deset opakovaných běhů na 60m (5x maximální rychlost, 5x 70% rychlost) v podmínkách atletického tréninku. Pro posouzení vztahů mezi proměnnými byl použit Spearmanův korelační koeficient, rozdíly mezi skupinami byly hodnoceny pomocí Mann Whitney U testu.

Výzkum ukázal minimum statisticky významných korelací mezi variabilitou pohybu těžiště s rychlostí a technikou běhu. Efekt pohlaví na variabilitu úhlových rychlostí při běhu také nebyl významný.

Jako žádoucí se obecně jeví minimalizace variability úhlové rychlosti v sagitální rovině a optimalizace v rovině transverzální při běhu, což ukazuje na význam kompenzační práce horních končetin a koordinaci pohybů ve směru výsledného působení reakčních sil.

U dalších hodnocených parametrů nebyla prokázána statistická významnost zejména z důvodu malého výzkumného souboru.

Pro posouzení potenciálu inerciálních senzorů pro hodnocení techniky běhu je potřeba další výzkum konkrétně směřovaný k získávání dalších dat, odstraňování metodických rizik, jako je správné nastavení přístrojů a jejich upevňování na tělo a hledání způsobů ovlivňování výsledků jedinců cíleným působením.

## Summary

The aim of this work is to valorize the relation between the angular velocity variability measured by inertial measurement unit clipped on body in lumbar part of the back and running technique represented by coach evaluation and maximum running velocity in conditions of age and gender difference. The aim was partly fulfilled as the thesis pointed at significant dependency otherwise limits resulting from small research group and unusability of some data were shown.

We assumed participants with better running technique ranking and maximum running velocity to prove smaller angular velocity variability range. Similarly we supposed corresponding results in group of older participants with longer sport experience and no influence of gender.

48 participants of athletic sport class in the age from 12 to 15 were involved in research underwent ten repeated 60m runs (2 units of 5 runs) in range of one week in conditions of athletic training. Spearman correlation coefficient for assessment of relationship of variables and Mann Whitney U test for group variability were used for the research.

Research discovered a minimum significant relations of angular velocity variability and running technique and velocity. The influence of gender on results was not significant.

The minimalization of angular velocity variability in sagittal plane and optimalization (increase) in transverse appears as suitable for running. That reveals the importance of upper limb movement on compensation of additional moves as well as coordination of locomotion in accordance to reaction force vector.

Concerning other variables no significance was found among others for small research group.

For assessment of potential of inertial measurement units for running technique valuation deeper research is needed in way of collecting data, intervention on participants and elimination of methodical uncertainties of technical settings and on-body fixation of devices

## Referenční seznam

- Barr, K. P., & Harrast, M. A. (2005). Evidence-based treatment of foot and ankle injuries in runners. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*, 16(3), 779–799.
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory: vybrané kapitoly*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Bowersock, C. D., Willy, R. W., DeVita, P., & Willson, J. D. (2017). Independent effects of step length and foot strike pattern on tibiofemoral joint forces during running. *Journal of Sports Sciences*, 35(20), 2005–2013.
- Brewer, J. (2010). *Athletics - track events: from beginner to champion*. London: Carlton.
- Bunc, V., & Perič, T. (2009). Zvláštnosti sportovní přípravy dětí. In Jansa, P., Dovalil, J., Bunc, V., Čáslavová, E., Heller, J., Kocourek, J., ... Tomešová, E. *Sportovní příprava: vybrané kinantropologické obory k podpoře aktivního životního stylu* (2. vyd.). Praha: Q-art.
- Cavanagh, P. (Ed.). (1990). *Biomechanics of distance running*. Champaign (IL): Human Kinetics.
- Cipryán, L. (2015). *Fyziologické aspekty pohybové aktivity dětí*. [Powerpoint]. (rev. vyd.). Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Český atletický svaz. (n.d.) *Atletika. Homepage*. Retrieved 31. 5. 2019 from the World Wide Web: <https://www.atletika.cz/>.
- Český atletický svaz. (2016). *Směrnice ČAS o člancích péče o talentovanou mládež [právní předpis]*. Praha: Český atletický svaz.
- Daoud, A. I., Geissler, G. J., Wang, F., Saretsky, J., Daoud, Y. A., & Lieberman, D. E. (2012). Foot strike and injury rates in endurance runners: a retrospective study. *Med Sci Sports Exerc*, 44(7), 1325–1334.
- Edwards, S., White, S., Humphreys, S., Robergs, R., & O'Dwyer, N. (2019). Caution using data from triaxial accelerometers housed in player tracking units during running. *Journal of Sports Sciences*, 37(7), 810–818.
- Fletcher, J. R., & MacIntosh, B. R. (2018). Theoretical considerations for muscle-energy savings during distance running. *Journal of Biomechanics*, 73, 73–79.
- Hamill, J., & Knutzen, K. (2009). *Biomechanical basis of human movement* (3. vyd.). Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins.

- Heiderscheit, B. C., Chumanov, E. S., Michalski, M. P., Wille, C. M., & Ryan, M. B. (2011). Effects of Step Rate Manipulation on Joint Mechanics during Running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(2), 296–302.
- Higginson, B. K. (2009). Methods of running gait analysis. *Current Sports Medicine Reports*, 8(3), 136–141.
- International Association of Athletic Federations. (n.d.). *About IAAF*. Retrieved 22. 5. 2019 from the World Wide Web: <https://www.iaaf.org/about-iaaf>.
- Jandačka D. (2011). *Kinetická analýza lidského pohybu*. Ostravská univerzita v Ostravě.
- Janura, M., Vařeka, I., Lehnert, M., Svoboda, Z., Klugarová, J., Elfmark, ... Vařeková, R. (2012). *Metody biomechanické analýzy pohybu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Janura, M., & Zahálka, F. (2004). *Kinematická analýza pohybu člověka*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Jeřábek, P. (2008). *Atletická příprava: děti a dorost*. Praha: Grada Publishing.
- Kirby, K. K. (2014). Emerging Evidence On Footstrike Patterns In Running. *Podiatry Today*. 27(6). 54+. Retrieved 23. 5. 2019 from the World Wide Web: <https://www.podiatrytoday.com/emerging-evidence-footstrike-patterns-running>.
- Kenneally-Dabrowski, C. J. B., Serpell, B. G., & Spratford, W. (2018). Are accelerometers a valid tool for measuring overground sprinting symmetry? *International Journal of Sports Science & Coaching*, 13(2), 270–277.
- Kučera, V., & Truksa, Z. (2000). *Běhy na střední a dlouhé tratě*. Praha: Olympia.
- Lee, D., Brellenthin, A. G., Thompson, P. D., Sui, X., Lee, I.-M., & Lavie, C. J. (2017). Running as a Key Lifestyle Medicine for Longevity. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 60(1), 45–55.
- Lehnert, M., Kudláček, M., Háp, P., Bělka, J., Neuls, F., Ješina, ... Šťastný, P. (2014). *Sportovní trénink I*. [e-kniha]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Liebl, D., Willwacher, S., Hamill, J., & Brüggemann, G. P. (2014). Ankle plantar flexion strength in rearfoot and forefoot runners: A novel clusteranalytic approach. *Human Movement Science*, 35, 104–120.
- Lindsay, T. R., Yaggie, J. A., & McGregor, S. J. (2016). A wireless accelerometer node for reliable and valid measurement of lumbar accelerations during treadmill running. *Sports Biomechanics*, 15(1), 11–22.

- Majumdar, A. S., & Robergs, R. A. (2011). The Science of Speed: Determinants of Performance in the 100 m Sprint. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 6(3), 479–494.
- Martínková, L. (2011). *Komparativní analýza hlavních běžeckých parametrů u vrcholových sprinterek a sprinterů v České republice*. [diplomová práce]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Maykut, J. N., Taylor-Haas, J. A., Paterno, M. V., DiCesare, C. A., & Ford, K. R. (2015). Concurrent validity and reliability of 2d kinematic analysis of frontal plane motion during running. *International journal of sports physical therapy*, 10(2), 136.
- Merecz-Sadowska, A., Malinowska, K., Modranka, R., Śmigiel, K., Piątkowski, P., Skowerski, Ł., & Zajdel, R. (2017). The Effect of Diet with Low Carbohydrate Content and High Fat Content on the Human Organism, Body Composition and Exercise Capacity in Athletes. *Polish Journal of Sports Medicine*, 33(4), 239–248.
- Mercer, J. A., & Horsch, S. (2015). Heel-toe running: A new look at the influence of foot strike pattern on impact force. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 13(1), 29–34.
- Michaud, T. C. (2016). Should You Change an Athlete's Natural Running Form? *AMAA Journal*, 29(3), 11–13.
- Mooses, M., Jürimäe, J., Mäestu, J., Purge, P., Mooses, K., & Jürimäe, T. (2013). Anthropometric and Physiological Determinants of Running Performance in Middle-And Long-Distance Runners. *Kinesiology*, 45(2), 154–162.
- Morley, J. J., & Traum, E. (2018). The effects of dorso-lumbar motion restriction on EMG activity of selected muscles during running. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 22(1), 166–177.
- Murray, A. M., Joong Hyun Ryu, Sproule, J., Turner, A. P., Graham-Smith, P., & Cardinale, M. (2017). A Pilot Study Using Entropy as a Noninvasive Assessment of Running. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 12(8), 1119–1122.
- Natsume, T., Ozaki, H., Kakigi, R., Kobayashi, H., & Naito, H. (2018). Effects of training intensity in electromyostimulation on human skeletal muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 118(7), 1339–1347.
- Novotná, M., & Novotný, J. (2007). *Fyziologická podstata rychlostního a vytrvalostního běžeckého výkonu*. Brno: Masarykova univerzita.
- Patterson, M., McGrath, D., & Caulfield, B. (2011). Using a tri-axial accelerometer to detect technique breakdown due to fatigue in distance runners: a preliminary



- perspective. *Conference Proceedings: Annual International Conference Of The IEEE Engineering In Medicine And Biology Society*, 6511–6514.
- Perič, T. (2012). *Sportovní příprava dětí* (Nové, aktualizované vydání). Praha: Grada Publishing.
- Perry, F., & Burnenfield, J. (2010). *Gait analysis. Normal and Pathological Function*. Slack Incorporated.
- Phan, X., Grisbrook, T. L., Wernli, K., Stearne, S. M., Davey, P., & Ng, L. (2017). Running quietly reduces ground reaction force and vertical loading rate and alters foot strike technique. *Journal of Sports Sciences*, 35(16), 1636–1642.
- Pohlová, B. (2018). *Vztah svalové síly plantárních a dorzálních flexorů a variability provedení behu* [diplomová práce]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Prukner, V. (2014). *Manažerské dovednosti*. [e-kniha]. (8. vyd.). Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Retrieved 22. 5. 2019 from the World Wide Web: <https://publi.cz/books/114/Cover.html>.
- Prukner, V., & Machová, I. (2011). *Didaktika školní atletiky*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Prukner, V., & Machová, I. (2012). *Didaktika atletiky*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Sharma, H. B., & Kailashiya, J. (2016). Gender Difference in Aerobic Capacity and the Contribution by Body Composition and Haemoglobin Concentration: A Study in Young Indian National Hockey Players. *Journal of Clinical & Diagnostic Research*, 10(11), 9–13.
- Taylor, M. J. D., & Beneke, R. (2012). Spring Mass Characteristics of the Fastest Men on Earth. *International Journal of Sports Medicine*, 33(8), 667.
- Van Dyck, D., Cardon, G., de Bourdeaudhuij, I., de Ridder, L., & Willem, A. (2017). Who Participates in Running Events? Socio-Demographic Characteristics, Psychosocial Factors and Barriers as Correlates of Non-Participation-A Pilot Study in Belgium. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 14(11).
- Vařeka, I., & Vařeková, R. (2009). *Kineziologie nohy*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Vindušková, J., Bártlová, P., Fejtek, M., Heller, J., Hlína, J., Choutková, B., ... Velebil, V. (2003). *Abeceda atletického trenéra*. Praha: Olympia.
- Whittle, M. W. (2014). *Gait analysis: an introduction*. Butterworth-Heinemann.