

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

KOORDINAČNÍ ZMĚNY ATLETICKÉHO SPRINTU PŘED A PO  
PROVEDENÍ SPECIÁLNÍCH BĚŽECKÝCH CVIČENÍ

*Autoreferát disertační práce*

## **Bibliografická identifikace**

### Autor:

Mgr. Ondřej Pařík

### Název práce:

Koordinační změny atletického sprintu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení

### Vědní obor:

Kinantropologie

### Školitel:

Doc. PaedDr. Bronislav Kračmar, CSc.

### Školící pracoviště:

Katedra sportů v přírodě

## **Abstrakt**

### **Název disertační práce:**

Koordinační změny atletického sprintu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení.

### **Cíl práce:**

Cílem práce je intra a interindividuální komparace zapojení jednotlivých svalů a časových charakteristik při sprintu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení pomocí povrchové elektromyografie.

### **Metoda:**

Práce je zpracována na základě porovnání dvou atletických sprintů – před a po provedení speciálních běžeckých cvičení. Analyzuje se chování a průběh elektromyografických signálů synchronizovaných s videozáznamem vybraných svalů participujících na sledovaném pohybu.

### **Výsledky:**

Speciální běžecká cvičení nemají zásadní okamžitý vliv na průběh následného sprinterského běhu a krátké vstupy speciálních běžeckých cvičení tedy nemohou koordinačně nic změnit. Existují velké rozdíly v zapojení a aktivitě jednotlivých svalů mezi probandy. Díky těmto zjištěním můžeme tvrdit, že atletický sprint je individuální záležitostí.

### **Klíčová slova:**

Sprint, speciální běžecká cvičení, elektromyografie, ANOVA.

# 1 Úvod

## 1.1 Teorie běhu

Běh je přirozená lidská lokomoce, kde časoprostorová synchronizace svalových skupin má svůj fylogenetický základ, který se dále vytváří a je individualizován v průběhu ontogeneze (Véle, 2006). Na rozdíl od chůze ztrácí běžec v letové fázi kontakt se zemí. Běh je v odborné literatuře popisován jako „cyklická, stereotypně se opakující dynamická činnost, kdy jsou svalové stahy vystřídány svalovým ochabnutím“. Dostál (1985) se zmiňuje o svalové kontrakci a svalové relaxaci v rámci jednoho cyklu běžeckého kroku. Jedná se o aktivní pohyb vykonávaný na základě podnětů z mozkové kůry. Struktura sportovního výkonu ve sprintu závisí na reakční době, startovní akceleraci, maximální běžecké rychlosti a rychlostní vytrvalosti. Výkon je závislý ve velké míře také na genetických dispozicích. Správná běžecká technika může šetřit energetické zdroje a oddálit nástup únavy, která je považována za jeden z rizikových faktorů zranění a také jedním z důvodů poklesu koordinačních parametrů pohybu (Carr, 1999). Při jednotlivých fázích běžecké lokomoce pracují svaly v různých kontrakčních režimech. Sprinty se svým charakterem zařazují do skupiny tělesných cvičení, které se vykonávají maximálním úsilím. Aby se dosáhla vysoká sportovní úroveň, je nezbytným předpokladem talent pro tuto sportovní disciplínu (rychlost střídání facilitace a inhibice). Z fyziologického a biochemického hlediska jde ve sprinterských disciplínách o určitý stupeň hypoxie. Energetické krytí je zajištěno anaerobně, vzniká kyslíkový dluh, hromadění laktátu, který ovlivňuje nervo-svalový aparát a způsobuje pokles běžecké rychlosti. Výkon ve sprintu závisí na dráždivosti CNS, na rychlosti střídání podráždění a útlumu, kontrakce a relaxace. Dále na svalové pružnosti, rozsahu kloubní pohyblivosti a vnitrosvalové koordinaci (Dostál, 1985).

Výkon ovlivňuje celá řada proměnných. Můžeme je rozdělit následovně: Faktory somatické (tělesné znaky jedince), faktory kondiční (soubor pohybových schopností), faktory techniky (sportovní dovednosti a jejich technické provedení), faktory taktiky (tvořivé jednání sportovce) a faktory psychické. Znakem těchto faktorů je, že jsou trénovatelné, to znamená, že je v průběhu tréninkového procesu můžeme ovlivnit (Dovalil a kol, 2002).

## 2.1 Fylogeneze lidského běhu

Chůze po dvou se vyvinula jako důsledek chování hominidů a zřejmě se objevila krátce poté, co se oddělila linie šimpanzů a rodu Homo (Bramble, Lieberman, 2004). Ačkoliv pohyb po dvou, neboli bipedie, zahrnuje jak chůzi samotnou, tak i běh, tak o běhu se všeobecně neuvažuje, že by hrál významnou roli v lidské evoluci, protože lidé, stejně jako

opice, jsou špatní běžci v porovnání s většinou kvadrupedálních živočichů. Nicméně podle několika nálezů se soudí, že ačkoli lidé nebyli dobrými sprintery, tak v běhu na dlouhé vzdálenosti vcelku vynikali. Fosilní nálezy poukazují na to, že vytrvalostní běh (spíše vytrvalost jako schopnost) je schopnost, která se vyvinula u rodu Homo asi před 2 miliony let a možná hrála důležitou roli při vývoji samotného lidského těla. Podle fosilních nálezů můžeme předpokládat, že chůze se u druhu *Australopithecus afarensis* objevila již před cca 4,4 miliony let (Bramble, Lieberman, 2004).

Jednou z hypotéz evoluce lidské bipedie je, že bipedie byla více účinná než kvadrupedie pro dlouhé pevninské pochody a více se stala oblíbenou, když zdroje začínaly být vzácnější a nacházely se daleko od sebe během vysychání afrického lesa v miocénu. Denní překonaná vzdálenost není pouze výsledkem těchto událostí, ale také výsledkem zmenšování skupin. Při vysychání byli hominoidé více a více tlačeni k rozvinutí energeticky úsporného režimu lokomoce nebo zmenšení skupiny. Mezi ranými hominoidi mohla být bipedie populární především u malých skupin jako alternativní energetická odpověď na zmenšující se zásoby zdrojů. Alternativa byla zachovat kvadrupedální lokomoci, ale vyvinout dělení skupiny k dennímu cestování pro jednotlivce a kvůli energetické náročnosti cestování. Tato strategie se možná vyvinula u šimpanzů. Přírodní změny jako byla expanze pustin a savan zapříčinily evoluci bipedie (Lynne, Truman, 1996).

Vznik bipedie homininů byl podle všeho nejvíce spojen se změnami chování a sociální struktury a zřejmě také se změnami v ontogenezi jako takové, nikoli s výraznými změnami v morfologii a biomechanice lokomočního aparátu.

Jen velmi málo výzkumných prací se zabývalo během u předchůdců člověka, a to částečně také proto, že člověk je v porovnání s ostatními savci jen velmi průměrný sprinter. Zatímco nejlepší lidští sprinteři dokážou udržet rychlost přesahující 10 m/s jen po dobu několika vteřin (cca 15-20), ostatní savci jako jsou koně, chrti, antilopy a další jsou schopni vyvinout rychlost až téměř dvojnásobnou a tu navíc udržet po několik minut. Kromě toho je běh pro člověka dvakrát tak energeticky náročný než pro ostatní savce, vzhledem k jejich hmotnosti. Nakonec člověk není schopný dobře manévrovat, má kratší prsty a chodidla a delší proximální část dolních končetin (Bramble, Lieberman, 2004).

Je velmi zajímavé, že na druhou stranu je člověk velmi dobrým vytrvalostním běžcem při využívání aerobního metabolismu. Je schopen překonávat dlouhé vzdálenosti napříč krajinou. Tato schopnost je naopak u primátů velice unikátní a u kvadrupedálních savců, až na výjimky, také vzácná. Objevuje se u masožravců, jako jsou hyeny a psi nebo u migrujících kopytnatců (kůň, pakůň hřivnatý), (Bramble, Lieberman, 2004).

I když přesně nevíme, kdy se všechny prvky sloužící a napomáhající běhu přesně u rodu Homo vyvinuly, můžeme říct, že hlavní strukturální základy se objevily u raného Homo erectus (před cca 1, 9 milion let). Některé další pak u Homo habilis. Je tak jasné, že schopnost pro vytrvalostní běh se původně vyvinula u rodu Homo (Bramble, Lieberman, 2004).

### **3.1 Technika sprintu**

Již Dostál (1985) se zmiňuje, že běh je stejně jako chůze přirozený způsob lokomoce člověka. Zmiňuje se o svalové kontrakci a svalové relaxaci v rámci jednoho cyklu běžecského kroku. Jedná se o aktivní pohyb vykonávaný na základě podnětů z mozkové kůry. Struktura sportovního výkonu ve sprintu závisí na reakční době, startovní akceleraci, maximální běžecské rychlosti a rychlostní vytrvalosti. Správná běžecská technika může šetřit energetické zdroje a oddálit nástup únavy, která je považována za jeden z rizikových faktorů zranění. Při jednotlivých fázích běžecské lokomoce svaly pracují v různých kontrakčních režimech.

Hlína, Moravec (1989, 1990) uvádějí, že sportovní výkon u krátkých hladkých běhů je determinován hlavně vysokou úrovní rychlostních a silových schopností. Délka kroku u běhu na 100 m se postupně prodlužuje a v závěru trati dosahují sprinteři hodnot až 275 cm. Při běhu na 100 m dosahují závodníci v průměru 4,5 kroků za sekundu, nejvyšší hodnota frekvence kroků na 10metrovém úseku byla zjištěna 5,12 kroků za sekundu.

Sprinter absolvuje při běhu na 100 m tři technické části: Startovní polohu – „pozor“, při startovním výběhu musí zvládnout šlapavý způsob běhu a optimálně sladit zvyšování frekvence kroků a postupné prodlužování kroku a zbývající trať absolvuje švihovým způsobem běhu, kdy nastupuje cyklický charakter a je téměř stabilní délkou i frekvencí kroků. O úspěšném provedení všech těchto fází rozhodují velkou měrou koordinační schopnosti. Ke zlepšení úrovně koordinačních schopností a k samotnému zisku „citu“ pro běh slouží provádění SBC (Hlína, 2001).

V technice se projevují i individuální vlastnosti sportovce (somatotyp, nervový typ, osobnost a jiné) a vytvářejí individuální variantu neboli styl. Styl je účelné a ekonomické provedení techniky, přizpůsobené zvláštnostem jedince. Z hlediska osobnosti sportovce se ve sprinterských disciplínách prosazují většinou cholerici, kteří mají rychlejší přenos v CNS a dokážou se tzv. zdravě naštvat (Dovalil, 1987).

Technika je účelný způsob řešení pohybového úkolu; řešení je vybráno na základě všestranných předpokladů sportovce v souladu s jeho možnostmi, biomechanickými zákonitostmi a platnými pravidly. Technika má racionální jádro, vyjádřené principy účelnosti a ekonomičnosti (Dovalil, 2002).

Při zdokonalování techniky sprinterského běhu a následně při její úspěšné aplikaci při samotném sprintu se s lepší technikou zvyšuje také rychlost provedení atletického běhu, při kterém se v určité míře zapojují různé svaly. Novatcheck (in Heynen, 2001) odhalil, že se zvyšující se rychlostí běhu dochází ke zvyšování aktivity svalů v oblasti kyčelního kloubu. Svaly v oblasti kyčle produkují více síly se zvyšující se rychlostí běhu. Extensory kyčle dominují na konci letové fáze a v první polovině dokrokové fáze, zatímco flexory kyčle dominují jako „generátory“ svalové síly během druhé poloviny odrazové fáze a v počátku zahájení letové fáze.

Mann a kol. (in Heynen, 2001) poznamenávají, že během 150 ms kontrakce při rekreačním běhu produkuje m. iliacus 46 % celkového rozsahu pohybu kyčelního kloubu do flexe, při sprintu se jeho aktivita zvyšuje na 88 % celkové flexe kyčle. Na základě těchto poznatků lze říci, že ke zvýšení rychlosti běhu je nutná schopnost zvýšit rychlost flexe kyčelního kloubu. Jiný názor však zastávají Weiman a Tidow (in Heynen, 2001), kteří za hlavní svaly udělující propulzi nutnou pro sprint považují hamstringy, m. gluteus maximus a m. adduktor magnus.

Zvětšení rychlosti chůze je dosaženo jak zvýšením frekvence kroků, tak i zároveň délkou kroků. Nakonec je ale nejdůležitějším faktorem ve zvyšování rychlosti zvyšování frekvence kroků. Například, zvýšení rychlosti chůze o 1 m/s, ze 1,5 m/s na 2,5 m/s je dosaženo zvýšením frekvence kroků o 44 % a zvětšením délky kroků o 15 %. Při rychlosti kolem 2,3 m/s je zjevná transformace z chůze do běhu, jelikož se stává běh ekonomičtější než chůze (Alexander in Hawley, 2000). Pokud již dominuje běh, pak dosažení vyšší rychlosti běhu je primárně zajištěno pomocí prodloužení délky kroku (Hawley, 2000).

S růstem výkonnosti se zužují možnosti působení na úroveň rychlostních schopností pomocí prostředků se širším, všestrannějším zaměřením. Proto je třeba stále více uplatňovat speciální tréninkové prostředky, jejichž pohybová struktura se blíží nebo splývá s potřebnými pohybovými dovednostmi; např. u sprinterů starty z bloků, u skokanů odrazy s rozběhem, u vrhačů odvrhy s příslušným předchozím urychlením náčiní (Vindušková a kol, 2006).

Výkon sprintu na 100 m se skládá z (Hlína, 2001):

1. Startovní reakce
2. Úseku zrychlování (může trvat až do 90 metrů) až do dosažení maximální rychlosti
3. Délky trvání maximální běžecké rychlosti
4. Úseku poklesu rychlosti

Průběh rychlosti běhu na různých tratích u mužů ukazuje graf 3.1, přičemž maximální dosažená rychlost se u mužů v běhu na 100 metrů pohybuje okolo 12 m/s.

Zlepšení výkonu může být dosaženo pomocí:

1. Zvýšení maximální rychlosti
2. Prodloužení akcelerace a delší udržení maximální rychlosti běhu
3. Minimalizace úbytku rychlosti v poslední části sprinterské trati

#### **4.1 Speciální běžecká cvičení**

Podle pramenů se speciální běžecká cvičení (dále jen SBC) používají ke zlepšení koordinace běhu. V odborné literatuře jsou zmiňována jen velice sporadicky. Jsou uvedeny především v kapitolách o technice atletického běhu a tréninku. Zařazují se do tréninku základního, tak i výkonnostního (Joch, 1995; Scholich, 1992). Je známá celá škála těchto cvičení. Patří mezi ně (Vindušková a kol., 2006; Ulrich, Krempel, Haag, Müller, 1995; Hottenrott, Neumann, 2002): Liftink, skipink, zakopávání, předkopávání, koleso, střídavé snožné odrazy, odpichy a jiné. V tréninku se často používají jejich variace, kdy se například mění zdvih kolene u skipinku. Známé jsou variace jako skipink se zdvihem pouze jednoho kolena, skipink na každou třetí dobu, skipink pozadu, bokem atd.

SBC se užívají především v rámci rozcvičení před samotnou tréninkovou jednotkou nebo závody a to téměř dennodenně v průběhu celého roku nebo slouží jako vhodný prostředek všeobecného tělesného rozvoje. Součástí hlavního obsahu tréninkové jednotky pak bývají v průběhu celého roku. Spousta trenérů na jejich význam zapomíná. Není nikde uvedeno, která cvičení jsou svým charakterem všeobecně nebo speciálně rozvíjející, neuvádí se intenzita provádění cviků, jejich objem a doba odpočinku mezi opakováními. Svěřenci sami provádějí cvičení bez dohledu trenéra a jejich užívání jako tréninkového prostředku je sporadické. Občas k jejich použití trenéři přistupují v rámci předzávodního a závodního období.

K vyhnutí se svalovým dysbalancím a zdravotním potížím oporového a pohybového systému jsou běžecká cvičení u všech druhů běžců potřebná (Hottenrott, Neumann, 2002).

Intenzita provedení, počet opakování nebo délka úseku je volena mezi atlety velmi podobně. Jelikož se SBC používají v rámci rozcvičení, jejich intenzita je submaximální nebo mírná, délka úseku většinou do 30 metrů a počet opakování mezi 5 a 8 cviky. Odpočinek je pak chůze zpět. V rámci hlavní tréninkové jednotky bychom k těmto cvikům měli přistupovat jako k tréninku krátkých úseků. V přípravném období se volí delší úsek, až do 60 metrů,

intenzita je mírná nebo submaximální, počet opakování větší v počtu 8 – 10 úseků, doba odpočinku je krátká, někdy je vyplněna mírným poklusem nebo chůzí. V průběhu speciálního tréninkového období se k tréninku SBC přistupuje podobně jako k tréninku maximální rychlosti. Úseky jsou voleny kratší do 30 metrů, intenzita je maximální, doba odpočinku je 2-3 minuty. Poměrně často se používá SBC skipink jako cvičení k zlepšení frekvence kroku. Před prováděním SBC je zapotřebí zahřát organismus aerobní aktivitou v délce trvání kolem 10 minut s následným rozcvičením a protažením svalstva. Při provádění SBC by měl být přítomný trenér, který okamžitě koriguje případné chyby (Joch, 1995).

Cíle a obsah SBC: Korigování typických chyb v běžecké technice, variabilní použitelnost k upevnění správné techniky běhu, ekonomizace a stabilizace provedení pohybu, zvýšení zatížitelnosti oporového a pohybového systému, zlepšení výkonu, srovnání svalových dysbalancí. Následuje popis jednotlivých speciálních běžeckých cvičení, jejich úkol a kritické fáze (Vindušková a kol., 2006).

## **2 Cíle, hypotézy a úkoly práce**

### **2.1 Cíle práce**

Cílem práce je intra a interindividuální komparace zapojení jednotlivých svalů před a po provedení SBC (na základě elektromyografické analýzy pohybu), čili jak SBC ovlivnila provedení cílového pohybu – sprintu. Dalším cílem je zjistit, jestli existují významné rozdíly v zapojení svalů mezi jednotlivými probandy.

### **2.2 Vědecká otázka**

Dochází při běhu po provedení SBC k významným změnám svalové aktivity ve svalech dolních končetin a břicha vzhledem k běhu před provedením speciálních běžeckých cvičení?

### **2.3 Hypotézy**

#### **H1<sub>0</sub>**

Nulová hypotéza: Neexistuje intraindividuální rozdíl v běhu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení

#### **H1<sub>1</sub>**

Alternativní hypotéza: Existuje intraindividuální rozdíl v běhu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení

#### **H2<sub>0</sub>**

Nulová hypotéza: Neexistuje interindividuální rozdíl mezi jednotlivci v běhu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení

#### **H2<sub>1</sub>**

Alternativní hypotéza: Existuje interindividuální rozdíl mezi jednotlivci v běhu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení

#### **H3<sub>0</sub>**

Nulová hypotéza: Neexistuje rozdíl v běhu mezi skupinami před a po provedení speciálních běžeckých cvičení

#### **H3<sub>1</sub>**

Alternativní hypotéza: Existuje rozdíl v běhu mezi skupinami před a po provedení speciálních běžeckých cvičení

### **2.4 Úkoly práce**

1. Stanovit teoretická východiska disertační práce. Provést rešerši literatury a sumarizovat teorii o fylogenezi lidského běhu, technice běhu-sprintu,

kineziologických aspektech běhu a jeho vývoje, poznatcích o SBC a problematice SEMG

2. Zvolit optimální parametry měření (datum, délky a počty úseků, intenzitu, dobu odpočinku), vybrat vhodný výzkumný soubor a měřené svaly

Datum: Vhodné období – nejlépe závodní – květen, červen, červenec, září

Délky a počty úseků: Běžecský úsek 50 metrů, počet 2

SBC 30 metrů, počet 5

Intenzita pohybu: 90 % (subjektivně)

Doba odpočinku: 3 minuty

3. Realizovat terénní výzkum
4. Vyhodnotit získaná data
5. Porovnat svalovou práci při běhu před a po provedení SBC
6. Charakterizovat míru změny v zapojení svalů po provedení SBC a zdůvodnit vliv SBC na následný běh
7. Intraindividuálně a interindividuálně popsat rozdíly v běhu před a po provedení SBC
8. Formulovat závěry

## 3 Metodika

### 3.1 Postup řešení

Jedná se o souhrn několika případových studií atletů sprinterů. Pokaždé byl měřen velmi dobrý (průměr výkonů na 100 m je  $11,11 \pm 0,32$  s) sprinter, který má již SBC plně zažité a využívá je k téměř každodennímu nácviku techniky atletického běhu a jako prostředek atletického rozcvičení. Atleti prošli mnohaletým (8-15) atletickým tréninkem, kdy se v posledních letech specializovali na disciplínu sprint nebo jemu podobnou. Výsledky tedy nebude možné interpretovat pro celou atletickou sféru, ale jen pro sportovce, kteří používají SBC k nácviku techniky hladkého sprintu, zato ale v jakékoli výkonnostní rovině. Uvažujeme tedy především o samotných sprinterech, překážkářích nebo skokanech v horizontálních skocích a ve skoku o tyči, částečně pak středotraťářích. Ostatní sportovci jsou z obliga kvůli intenzitě provedení pohybu a techniky provedení. Aby se pohybová struktura blížila úsilí provádění při atletickém sprintu, jsou cviky prováděny subjektivně intenzitou na úrovni 90 % maxima. Veškerá cvičení byla prováděna v botách. Většina atletů provádí SBC pouze v botách.

Kvalitativní výzkum je jakýkoli výzkum, jehož výsledků se nedosahuje pomocí statistických procedur nebo jiných způsobů kvantifikace. Jde v podstatě o soubor mnoha rozdílných informací o malém počtu jedinců, tento výzkum se vyznačuje nízkou reliabilitou, ale vysokou validitou (Hendl, 1999).

Vybraní jednotlivci byli měřeni pomocí SEMG přístroje na vybraných svalových skupinách. Zároveň byli natáčeni na synchronizovanou videokameru, kdy se záznam z videokamery přiřadil pomocí triggerů k EMG křivce, aby bylo dostatečně jasné, při kterém pohybu a jak se sval zapojoval. Měření se provádělo v krátkém časovém horizontu bez přelepování elektrod, aby se zachovala vysoká validita měření. Jednalo se o dva přibližně 100 metrové (zhruba 30 metrový náběh, 50 metrů měřený úsek a 20 metrů doběh) úseky běhu na umělém povrchu. SBC (liftink, skipink, zakopávání, předkopávání, sňožné střídavé odrazy) byla prováděna na úseku 30 metrů. Pauzou mezi cvičeními byla pomalá chůze zpět, vždy 3 minuty.

### 3.2 Design výzkumu

Obsahem výzkumu byly dvě analýzy. *Intraindividuální* srovnávací analýza spočívala ve vzájemném porovnání dvou kineziologických rozborů pohybu téhož probanda. Výsledky také byly použity při *interindividuální* srovnávací analýze mezi dvěma různými probandy nebo skupinami.

### 3.3 Metody získání dat

K testování probandů došlo na atletických stadionech s umělým povrchem PSK Olympu Praha, TJ Dukly Praha a Sokola Kolín. Jedná se o typické atletické prostředí s povrchem, který se vyskytuje v nepatrných odlišnostech v podstatě na všech moderních atletických oválech. Data byla získána v září 2011, v květnu a červnu 2012. Při měřeních bylo jasné podnebí s teplotou vzduchu 22-24°C, bezvětří.

Použili jsme 16-ti kanálový EMG přístroj MT-M6T16. Fotoaparát Canon PowerShot S2 IS s rozlišením 5 Mpix, digitální videokameru CANON HDV 1080i s rozlišením 3,1 Mpix a frekvencí snímání 50 snímků za vteřinu, trigger na synchronizaci s videokamerou – výrobce Megawin (Meg Electronics, Finsko) a elektrody – hydrogel Ag/AgCl do teplot 5 – 30°C.

Elektrody byly umístěny fyzioterapeutem paralelně s průběhem svalových vláken vyšetřovaného svalu. Vzdálenost mezi elektrodami byla 20 mm (Stegeman, Hermens, 2011). Místo nalepení bylo zbaveno ochlupení, očištěno alkoholem, zbaveno nečistot a staré epidermis. Snímací přístroj byl umístěn v ledvince, kterou měl proband připevněnou k trupu.

### 3.4 Metodická specifikace

Primárně je nutné uvést, že neměříme svalovou sílu ani práci svalu. Měříme elektrický potenciál, který existuje při svalové aktivaci a který tuto aktivaci nejuvěrněji ilustruje na topicky přesně vymezeném místě svalu živého organismu. Z elektrického potenciálu usuzujeme na aktivitu motorické jednotky a z té na práci svalu.

Dále je nutné uvědomit si zejména:

1. Kvantitativně můžeme srovnávat pouze výsledky měření na 1 osobě bez přelepování elektrod a bez velké časové pauzy mezi měřeními (pocení, odlepení elektrody)
2. Zapojení velkého počtu motorických jednotek způsobuje deformaci křivky. Přibližně od zapojení 50 % motorických jednotek nestoupá křivka dále lineárně, není možné poměrné posouzení svalové práce. Můžeme však konstatovat, jestli se svalová práce u jednoho svalu zvětšila nebo zmenšila mezi dvěma různými činnostmi
3. Nelze posuzovat svalovou práci mezi dvěma různými svaly. Do hry vstupuje různá vodivost kůže na různých místech těla, odlišná síla podkožního tuku, různá velikost motorických jednotek (např. okohybné svaly mají 1 MJ vs. m. gluteus maximus, který jich má 100)

### 3.5 Organizace výzkumu

Atleti po příchodu na atletický stadion byli seznámeni s průběhem testování a bylo zjištěno, zdali netrpí jakýmkoli zdravotním omezením.

Provedli běžné atletické rozcvičení, které zahrnovalo lehkou aerobní aktivitu v podobě běhu po dobu zhruba 10 minut a následný strečink. Následovaly dva stometrové úseky mírnou a submaximální intenzitou. V rozcvičení se neobjevily prvky běžecké abecedy, aby neměly vliv na první měřený úsek běhu před provedením SBC.

Následně jsme nalepili elektrody a provedli vizuální kontrolu správnosti měření a vyšetřili šum základní klidové křivky, offset základní klidové křivky a posuny základní klidové křivky, aby splňovaly požadavky správnosti měření (Konrad, 2005).

V průběhu samotného lepení jsme provedli následující úkoly:

1. Odstranění ochlupení
2. Čištění kůže – alkoholem
3. Fixaci kabelů pomocí běžných lepicích pásek
4. Připevnění ledvinky s měřicím přístrojem

Probandi absolvovali poslední rozvíčovací běh s již nalepenými elektrodami, kdy jsme se přesvědčili, že je vše správně fixováno. Stejně tak běh sloužil k seznámení se probandů se zařízením a během s ním.

Po 3 minutovém odpočinku byl proveden první měřený běh v délce 80 metrů. Následně, po 3 minutách odpočinku, provedli atleti SBC (liftink, skipink, zakopávání, předkopávání, snožné střídavé odrazy), přesně v tomto pořadí v délce 30 metrů a s intervalem odpočinku 3 minut. Po SBC a 3 minutovém odpočinku atleti absolvovali druhý měřený běh v délce 80 metrů.

Po běžeckých úsecích jsme odstranili elektrody a přístroj z probanda.

Následovalo kvalitativní a kvantitativní zpracování a popsání EMG záznamů sledovaných pohybů.

Jednalo se o intraindividuální experiment a případovou popisnou studii, kdy jsme hodnotili zapojení svalů při sprintu před a po provedení SBC. Zároveň se interindividuálně porovnali parametry EMG křivek jednotlivých atletů mezi sebou. V tuto chvíli nastoupilo riziko při lepení elektrod na jiného atleta, kdy již nebyla zachována objektivita jako v rámci jedné osoby.

Během vyhodnocení nastupovala kvantitativní i kvalitativní složka posuzování. Kvantitativní se týká pozice lokálních maxim EMG křivky (tzv. peaků), minim, mediánu,

průměru (vše v  $\mu\text{V}$ ) a plochy [ $\mu\text{V/s}$ ] v rámci 10 po sobě jdoucích cyklů. Zároveň byla vypočítána a graficky zobrazena průměrná EMG křivka z 10 po sobě jdoucích běžecých cyklů. Za počátek a konec cyklu byl stanoven odraz pravé dolní končetiny. Dále pak byly spočítány hodnoty inervace (tzv. input, příkon - průměrné hodnoty ze všech analyzovaných EMG kanálů, svalů, jsou sečteny a výsledek je označen jako 100 % EMG input, hodnota input každého kanálu je pak procentuálně vyjádřena jako poměrná část k 100 % EMG input) jednotlivých svalů (%), normalizace vztažená k amplitudě (%), změn podílu ploch pod křivkou jednotlivých svalů a změna průměru křivky běhu před SBC k běhu po SBC (%), pořadí aktivace svalů [s]. Použitím statistické analýzy ANOVA (Analysis of variance) se hodnotily vrcholy, plochy pod křivkou a průměr EMG. Kvalitativní složka se skládala z posouzení průběhu křivky v rámci průměrného pracovního cyklu a odborného porovnání v interindividuální rovině. Toto bylo posouzeno na základě tvarové podobnosti křivky vždy dvou stejných svalů.

### **3.6 Výzkumný soubor**

Jednalo se o skupinu osmi probandů-atletů (tabulka 7.2), kteří se specializují na atletický sprint. Skupina byla homogenní, co se týče pohlaví, vždy šlo o muže. Záměrně jsme vybrali skupinu, která má již pohybové návyky běhu-sprintu a SBC naprosto zažité, čímž jsme do určité míry eliminovali nesprávnou techniku provedení běhu nebo SBC. SBC používají probandi v rámci každodenního rozcvičení před tréninkem nebo závody, někdy jsou cvičení obsažena i v hlavní části tréninkové jednotky. Šest vybraných probandů je zařazeno ve vrcholovém sportovním středisku TJ Dukla Praha nebo PSK Olymp Praha.

### **3.7 Výběr svalů a umístění elektrod**

Při měření jsme byli odkázáni pouze na metodu povrchovou. Elektrody byly umístěny fyzioterapeutem paralelně s průběhem svalových vláken vyšetřovaného svalu. Snímací přístroj byl umístěn v ledvince, kterou měl proband připevněnou k trupu. Dále v práci jsou uváděny svaly již bez označení dx., jelikož všechny svaly byly měřeny pouze na pravé straně těla.

Vybrané svaly a umístění elektrod:

1. m. tibialis anterior dx.
2. m. gastrocnemius - caput medialis dx.
3. m. quadriceps femoris - vastus lateralis dx.
4. m. quadriceps femoris - rectus femoris dx.

5. m. biceps femoris - caput longum dx.
6. m. gluteus maximus dx.
7. m. rectus abdominis dx.

### 3.8 Analýza dat

K vyhodnocení dat jsme použili program Megawin, kdy k EMG křivce byl přiřazen pomocí triggerů (mechanická spoušť na EMG přístroji (vysílač) a na videokameře (přijímač) sloužící k synchronizaci EMG záznamu a videozáznamu) videozáznam z videokamery. V tomto programu byla provedena úprava a vyhodnocení signálu. Dílčí výpočty a metodu matematické statistiky ANOVA jsme zpracovali v programu Excel.

Nejprve jsme provedli offset korekci signálu, aby klidová křivka, která je částečně posunutá, se vrátila na hodnotu 0 (viz graf 4.2). V případě počítání s takto posunutou křivkou se veškeré výpočty stávají chybnými. Nativní EMG data musí být tedy offsetována, aby splňovala předpoklad, že EMG signál je střídavý signál oscilující stejnou vahou do kladných i záporných hodnot (Konrad, 2005).

Následovala digitální filtrace high a low pass filtry, kdy jsme odfiltrovali frekvence nižší než 5 a vyšší než 500 Hz, dále filtr notch stop pro odfiltrování frekvence 50 Hz, což je frekvence střídavého elektrického napětí v evropské elektrické rozvodné síti.

Hrubý signál se vzorkovací frekvencí 2000 Hz jsme pro určitou část vyhodnocení pouze rektifikovali (Averaging s časovou konstantou 50 ms; pro základní výsledky, nástupy vrcholů před a po SBC, hodnoty plochy pod křivkou a inervace) a následně vyhladili (RMS smoothing s časovou konstantou 20 ms; pro vyhodnocení aktivace svalů). V kineziologii se pro vyhlazování používá metoda Movag nebo RMS s časovými konstantami 20 ms (určené pro rychlé pohyby jako jsou skoky, běhy a reflexní pohyby) až 500 ms (pro pomalé pohyby). Vyšší zvolená hodnota znamená vyšší riziko fázového posunu při kontrakcích (Konrad, 2005).

Následoval výběr 10 navazujících reprezentativních pohybových cyklů, které jsme vyhodnotili (za počátek a konec cyklu byl stanoven okamžik odrazu pravé dolní končetiny) a vypočítali průměrný cyklus (časová osa byla normalizována na procenta z důvodu různé délky trvání jednotlivých pohybů a pro vhodné srovnání mezi probandy). Tento průměrný pracovní krok jsme také zhodnotili.

Z těchto 10 pohybových cyklů jsme spočítali lokální maxima, minima, medián, průměr (vše v  $\mu\text{V}$ ) a plochu pod křivkou ( $\mu\text{V/s}$ ). Dále pak byly intraindividuálně porovnány a kvantifikovány změny podílu ploch pod křivkou jednotlivých svalů a změny průměru křivky

běhu před SBC k běhu po SBC (%). Za signifikantní jsou považovány rozdíly překračující 10 % (Konrad, 2005).

Průměrná hodnota EMG křivky je zřejmě nejdůležitější EMG výpočet, protože je méně náchylná na změny trvání analyzovaných intervalů. Průměrná hodnota EMG nejlépe popisuje hrubou inervaci vybraných svalů pro určitý úkol a nejvíce je využívána pro porovnávací analýzy. Na základě výpočtu hodnoty průměru lze vypočítat příkon v %. Nejprve je vypočítána průměrná hodnota EMG všech analyzovaných svalů a všechny hodnoty jsou sečteny, výsledné číslo je pak 100 %. Poté je vypočítána hodnota v % pro každý sval. Tato hodnota je částečně distribuční analýzou a může být používána k porovnání poměrů inervace mezi cvičeními (Konrad, 2005).

Pro výpočet intraindividuální normalizace vztažené k amplitudě a relativní změny jsme stanovili minimální aktivační čas 50 ms s a trigger level jako 20% z maxima křivky.

Pro vyhodnocení timingu svalové aktivace je nutné stanovit práh. Zvolili jsme metodu singletreshold a za práh jsme zvolili hodnotu 20 %, jak doporučuje Staude (2001), (15 – 25 %) nebo Hug a Dorel (2009), (20 %). Z hlediska správné evaluace je nutné stanovit dobu, po kterou se sval udrží nad stanoveným prahem. Z důvodu dynamického pohybu byla hodnota zvolena na 10 ms.

Při intra i interindividuálním hodnocení pomocí matematické statistické metody ANOVA jsme hodnotili maximální hodnoty křivek, plochy pod křivkami a průměrné EMG.

## 4 Výsledky a diskuse

### 4.1 Intraindividuální analýza

Na základě porovnání obou křivek před a po provedení SBC není jasné, jak SBC ovlivnila průběh aktivity svalů během atletického běhu. Můžeme nalézt zlepšení práce některých svalů po provedení SBC, nicméně se to týká pouze jednotlivých případů a není to pravidlem. Není tedy zcela zřejmé, že by SBC měla pozitivní vliv na běh. Při porovnání křivek interindividuálně lze říci, že svaly měly vrcholy své aktivace ve stejném okamžiku, ale celkový průběh křivek jednotlivých svalů byl rozdílný. Běh-sprint je z tohoto důvodu individuální záležitostí.

Při pohledu na tabulky zobrazující základní hodnoty jako je průměr amplitudy EMG, maximum, minimum, plocha pod křivkou a medián EMG, můžeme zjistit, že ve většině případů se hodnoty před a po provedení SBC zásadně neliší. Jelikož člověk je individuální bytostí a atletický sprint je náročnou disciplínou na techniku provedení, je možné konstatovat, že není v podstatě možné reprodukovat „stejný“ běh dvakrát za sebou v rámci jedné osoby, natož pak mezi jednotlivými atlety.

Jak je z uvedených výsledků zřejmé, nárůst nebo pokles hodnot po SBC není u této měřené skupiny jednotný. Můžeme se pouze domnívat, jestli různorodost výsledků je zapříčiněna použitím SBC, proměnlivostí běhu nebo dalšími faktory. Některé z těchto výsledků jsou ovlivněny anomálií amplitudy v EMG křivce, týká se to jen maxim, která jsou náchylná na extrémy (nejedná se o zprůměrovanou hodnotu) – musculus biceps femoris u probanda č. 3, musculus vastus lateralis u probanda č. 5, musculus tibialis anterior a musculus rectus femoris u probanda č. 6. Všeobecně se dá říci, že svaly u běhů po SBC měly nižší hodnoty (plocha pod křivkou, průměr EMG křivky, maxima, minima) než u běhů před SBC (celkově 35 svalů z 53), což by mohl být důkaz toho, že běh po SBC je efektivnější a svaly pracují v úspornějším režimu. Nicméně nálezy nejsou jednoznačné. Porovnání obou běhů a změn v hodnotách plochy pod křivkou a změn v hodnotách průměru křivky v procentech můžeme nalézt v tabulkách 8.2 a 8.3. Podporu k výše uvedenému tvrzení můžeme nalézt v tabulce 7.1, kdy časy obou měřených běhů byly podobné, ale hodnoty stejné nebyly, jak bychom očekávali (očekávali bychom, že bude čas po SBC pomalejší).

I když zapojení svalů, nástupy aktivace a polohy lokálních maxim jsou na první pohled stejné nebo velmi podobné, podrobnější výpočty dávají za pravdu tvrzení, že každý běh je v podstatě novým pohybem. Na druhou stranu, pokud se podíváme na tabulku 8.4, je zřejmé, že jednotlivé podíly inervace svalů v % se výrazně nemění, což je důležitý údaj. Sice

se mění hodnoty vrcholů, průměru EMG a ploch pod křivkou, ale poměr inervace (Konrad, 2005) zůstává víceméně stejný, což znamená, že svaly spolupracovaly vždy stejně a stejným poměrem se podílely na výsledném pohybu, ať již šlo o běh před provedením SBC nebo o běh po provedení SBC.

Z hlediska základních hodnot EMG křivky (maximum, průměr, plocha pod křivkou a medián), změn plochy pod EMG křivkou, změn průměru EMG křivky a změn hrubé inervace se u probanda č. 1 nejvíce mění hodnoty u svalu musculus gastrocnemius medialis, a to ve všech výpočtech, u probanda č. 2 hodnoty u svalů musculus vastus lateralis a musculus rectus femoris, u probanda č. 3 hodnoty u všech svalů, u probanda č. 4 hodnoty u svalu musculus biceps femoris, u probanda č. 5 hodnoty u svalů musculus vastus lateralis, musculus biceps femoris, musculus gluteus maximus a musculus rectus abdominis, u probanda č. 6 hodnoty u svalů musculus tibialis anterior a musculus gluteus maximus, u probanda č. 7 hodnoty u svalů musculus gastrocnemius medialis, musculus biceps femoris a musculus rectus femoris a u probanda č. 8 hodnoty u svalů musculus rectus femoris a musculus gluteus maximus.

Z pohledu poměru hrubé inervace se až na jeden extrémní případ (musculus tibialis anterior u probanda č. 6) jedná o pohyby velmi podobné, kdy se svaly inervují v téměř shodném poměru jak při běhu před provedením SBC, tak i při běhu po provedení SBC. Z těchto údajů nemůžeme jasně vyslovit, v jakém smyslu změnila SBC následný běh, spíše je na místě otázka, jestli vůbec z tohoto pohledu SBC běh ovlivnila.

Z výsledků normalizace EMG křivky vztažené k amplitudě a relativní změny jednotlivých svalů je jasné, že jsou odlišné od hodnocení průměru EMG, tudíž pokud sval dosahoval jistého výkyvu v průměru EMG, nemuselo to nutně být z důvodu velkých změn hodnot vrcholů křivky. Všeobecně lze potvrdit, že běh před provedením SBC se výrazně nelišil od běhu po provedení SBC. Procentuální podíl vrcholů běhu před SBC a běhu po SBC byl vyrovnaný, stejně tak i relativní změny jednotlivých svalů. Rozdíly, které nacházíme, se objevují jen výjimečně a pouze u jednotlivých svalů.

Z pohledu nástupů aktivace a deaktivace svalů můžeme říci, že u probandů č. 2, 7 a 8 jsou oba běhy koordinačně velmi podobné. U ostatních probandů se shodují vždy zhruba 3 až 4 svaly, jak v případě aktivace, tak i deaktivace. I v tomto případě by bylo vhodné a zajímavé tímto parametrem zhodnotit dva identické běhy ihned po sobě u jednoho probanda, do jaké míry se aktivace svalů shoduje. V tuto chvíli se můžeme pouze dohadovat, jestli je to způsobeno vlivem SBC na koordinaci svalů.

Jak je zřejmé z výsledků matematické statistické metody ANOVA v intraindividuální rovině, tak běh před i po SBC byl velmi podobný a u obou dvou zkoumaných parametrů (plochy pod křivkou a vrcholy) vykazuje zhruba 80 % výsledků homogenost skupin, čili běhu před i po SBC. Je tím řečeno to, že skupiny hodnot u běhu před SBC k běhu po SBC se v rámci jednotlivých probandů významně nelišily. Z hlediska tohoto parametru můžeme tedy vyřknout závěr, že oba běhy byly stejné.

#### **4.2 Interindividuální analýza**

V interindividuální analýze jsme se snažili posoudit, jestli běhy mezi probandy z hlediska homogenosti skupin jsou stejné nebo rozdílné (tabulka 8.7), vyhodnotili jsme vždy běh před SBC. Zároveň jsme se snažili zodpovědět, zdali je běh před i po SBC stejný i napříč jednotlivci pomocí ploch pod křivkami, vrcholů a průměru EMG (tabulka 8.8).

Jak lze vidět na tabulce 8.7, veškeré naměřené hodnoty pomocí matematické statistické metody ANOVA vykazují na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  a při  $F_{\text{krit}} = 2,25-2,58$  nehomogenost skupin, a to velmi výrazně. Z tohoto pohledu můžeme tvrdit, že interindividuální porovnání práce svalů je zcela odlišné a každý proband pracuje podle svého vzorce, specificky. Hodnoty F naměřené na základě výsledků ploch pod křivkami a vrcholů dokazují, že svaly u každého jedince pracují s jiným objemem práce a s jinou maximální aktivitou. Tímto vyhodnocením se potvrzuje teze, že běh je specifickým projevem každého jedince a zároveň metoda EMG je nejreliabilnější pouze v rámci hodnocení intraindividuálně.

Tabulka 8.8 ukazuje pravý opak tabulky 8.7. Všechny hodnoty získané výpočtem na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  se nacházejí pod stanovenou kritickou hodnotou F, zde v rozmezí 4,60-4,95. Výsledné hodnoty jsou vskutku malé a poukazují na velmi vysokou homogenost skupin, tedy během před a po SBC. Z těchto údajů lze tvrdit, že interindividuálním hodnocením běhu před i po SBC, je běh stejný.

## 5 Závěry

Veškeré úkoly této práce jsme splnili. Základem, z kterého práce vychází, je teoretický úvod. Stanovili jsme základní parametry jako datum měření, délku a počet měřených úseků, intenzitu cvičení a dobu odpočinku. Vybrali jsme vhodný soubor probandů a relevantní svaly k měření. Byla stanovena kritéria pro verifikaci hypotéz. Po stanovení základních parametrů jsme realizovali terénní měření, vyhodnotili získaná data, sumarizovali výsledky a postulovali závěry spolu s verifikací či falzifikací stanovených hypotéz.

Cílem této práce byla komparativní analýza zapojení svalů při běhu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení. Jestli speciální běžecká cvičení ovlivnila následný sprinterský běh a to jak v intraindividuální, tak i v interindividuální rovině. Zároveň bylo cílem zjistit, jestli existují významné rozdíly v zapojení svalů mezi jednotlivými probandy.

Z porovnání křivek běhu-sprintu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení nemůžeme jasně vyslovit závěr, jestli speciální běžecká cvičení měla vliv na aktivitu svalů po provedení speciálních běžeckých cvičení. Z porovnání křivek se můžeme přiklonit k verifikaci nulové hypotézy  $H_{10}$ : Bylo potvrzeno, že neexistuje intraindividuální rozdíl v běhu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení. Alternativní hypotéza  $H_{11}$  je tímto falzifikována.

Podle hodnot průměrů EMG křivky, maxim, minim, ploch pod křivkou a mediánů EMG křivky verifikujeme alternativní hypotézu  $H_{11}$ : Bylo potvrzeno, že existuje intraindividuální rozdíl v běhu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení. Nulová hypotéza  $H_{11}$  je tímto falzifikována. Tento intraindividuální rozdíl je naprosto jedinečný u každého jedince.

Podle poměru inervace, normalizace EMG křivky vztažené k amplitudě, relativní změny jednotlivých svalů a podle aktivace a deaktivace svalů jsme potvrdili, že můžeme verifikovat nulovou hypotézu  $H_{10}$ : Bylo potvrzeno, že neexistuje intraindividuální rozdíl v běhu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení. Alternativní hypotéza  $H_{11}$  je tímto falzifikována.

Hodnoty F vypočítané pomocí matematické statistické metody ANOVA na základě hodnocení ploch pod křivkami a vrcholů křivek verifikují nulovou hypotézu  $H_{10}$ : Bylo potvrzeno, že neexistuje intraindividuální rozdíl v běhu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení. Alternativní hypotéza  $H_{11}$  je tímto falzifikována.

Z porovnání křivek běhu-sprintu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení mezi jednotlivými probandy můžeme vyslovit závěr poukazující na individuálnost běhu.

Z porovnání křivek verifikujeme alternativní hypotézu  $H_{21}$ : Existuje interindividuální rozdíl mezi jednotlivci v běhu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení. Nulová hypotéza  $H_{20}$  je tímto falzifikována.

Hodnoty F naměřené na základě výsledků ploch pod křivkami a vrcholů dokazují, že svaly u každého jedince pracují s jiným objemem práce a s jinou maximální aktivitou. Na základě interindividuální analýzy pomocí matematické statistické metody ANOVA můžeme verifikovat hypotézu  $H_{21}$ : Existuje interindividuální rozdíl mezi jednotlivci v běhu před a po provedení speciálních běžeckých cvičení. Nulová hypotéza  $H_{20}$  je tímto falzifikována.

Na základě výsledků matematické statistické metody ANOVA z tabulky 8.8 můžeme verifikovat nulovou hypotézu  $H_{30}$ : Neexistuje rozdíl v běhu mezi skupinami před a po provedení speciálních běžeckých cvičení. Alternativní hypotéza  $H_{31}$  je tímto falzifikována.

Ze zjištěných výsledků je tedy zřejmé, že speciální běžecká cvičení nemají zásadní okamžitý vliv na průběh následného sprinterského běhu. Proto používání speciálních běžeckých cvičení hraje důležitější roli v samotném tréninku jako prostředek na rozvoj požadované schopnosti, nežli jako prostředek, který nám napomáhá k aktuálnímu zlepšení běhu z pohledu práce svalů. Speciální běžecká cvičení pomáhají atletovi v rámci rozcvičení se lépe připravit na závod nebo trénink spíše po psychické stránce, než že by měly velký vliv na samotný běh. Můžeme je posuzovat jako rituál pro vyladění aktuálního psychického předstartovního stavu. Z geneze sportovní výkonnosti závodníka vysoká úroveň fixace pohybového stereotypu ztrácí smysl a nastupuje důležitost aktuálního psychického stavu. Stejně tak tomu může být i po zranění.

Existují velké rozdíly v zapojení a aktivitě jednotlivých svalů mezi probandy. Díky těmto zjištěním můžeme tvrdit, že atletický sprint je individuální záležitostí.

Z výsledků můžeme říci, že pro tuto skupinu výkonnostních sportovců, kteří mají svoje stereotypy velmi pevně fixovány, nemůžou krátké vstupy speciálních běžeckých cvičení koordinačně nic změnit. Speciální běžecká cvičení jsou optimální prevencí poškození struktur pohybové soustavy sportovce, ať již formou specifického rozcvičení, tak již formou zahřátí exponovaných oblastí pohybové soustavy.

## 6 Seznam vybrané literatury

1. Bramble, D., M., Lieberman, D., E. Endurance running and the evolution of Homo. *Nature*, 2004, 432, p. 345-352.
2. Bowers, J., E. A New Model for the Origin of Bipedality. *Human Evolution*, 2006, 21, p. 241-250.
3. Carr, G. *Fundamentals of track and field*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1999.
4. Cavanagh, P., R. *Biomechanics of distance running*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1990.
5. Cavanagh P., R. The biomechanics of the lower extremity action in distance running. *Foot and Ankle*, 1987, 7, p. 197-217.
6. Clarys, J., P. Electromyography in sports and occupational settings: an update of its limits and possibilities. *Ergonomics*, 2000, 43, 10, p. 1750-1762.
7. Čihák, R. *Anatomie I*. Praha: Grada Publishing, 2006.
8. Čoh, M., Peharec, S., Bačić, P. Dynamic, kinematic and EMG parameters of squat jump and drop jump. *5<sup>th</sup> International Scientific Conference on Kinesiology* (pp. 229-234). Slovenia: University of Ljubljana, Faculty of Sport, 2008.
9. De Luca, C., J. Use of the surface EMG signal for performance evaluation of back muscles. *Muscle Nerve*, 1993, 16, 2, 210-216.
10. De Luca, C., J. [Online]. *The use of surface electromyography in biomechanics*. The international Society for Biomechanics [Citace: 15. 2. 2012]. Dostupné z: <<http://www.delsys.com/>>.
11. De Luca, C., J., Merletti, R. Surface myoelectric signal cross-talk among muscles of the leg. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1998, 69, p. 568-575.
12. Dietz, V. *Der Aussagewert der Elektromyographie bei der spastischen Bewegungstörung*. EMG Meeting 94 – Beilage. Berlin, 1994.
13. Dillman, C., J. Kinematic analysis of running. *Exercise Sports Science Revue*, 1975, 3, p. 193-218.
14. Dostál, E. *Sprinty*. Praha: Olympia, 1985.
15. Dovalil, J. a kol. *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia, 2002.
16. Dufek, J. *Elektromyografie*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995.

17. Frigo, C., Shiavi, R. Applications in movement and gait analysis. In *Electromyography: physiology, engineering and noninvasive applications*. Hoboken: Wiley inter-science, 2004, p. 381-397.
18. Guidetti, L., Rivellini, G., Figura, F. EMG patterns during running: intra- and inter-individual variability. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 1996, 6, p. 37-48.
19. Hawley, J., A. *Running*. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2000.
20. Heynen, M. Hamstring injuries in sprinting. *New Studies in Athletics*, 2001, 16, 3, p. 43-48.
21. Hendl, J. *Úvod do kvalitativního výzkumu*. Praha: Karolinum, 1999.
22. Hlína, J. Běh mužů a žen na 100 a 200 m. In V. Millerová, J. Hlína, A. Kaplan, V. Korbel. *Běhy na krátké tratě*. Praha: Olympia, 2001, s. 5-47.
23. Hottenrott, K., Neumann, G. *Das grosse Buch vom Laufen*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag, 2002.
24. Hug, F. Can muscle coordination be precisely studied by surface electromyography? *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2011, 21, p. 1-12.
25. Choutka, M., Dovalil, J. *Sportovní trénink*. Praha: Olympia, 1987.
26. Janura, M., Rodová, D., Mayer, M. Současné možnosti využití povrchové elektromyografie. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 2001, 4, s. 173 – 177.
27. Joch, W. Leistungsstruktur in den Sprint- und Hürdendisziplinen. In W. Joch, *Rahmentrainingsplan für das Aufbautraining* (pp. 18-44). Aachen: Meyer & Meyer Verlag, 1992.
28. Kněnický, K. a kol. *Technika lehkooatletických disciplín*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1974.
29. Konrad, P. *The ABC of EMG – A practical Introduction to Kinesiological Electromyography*. Scottsdale: Noraxon, 2005.
30. Lieberman, D., E., Bramble, D., M., Raichlen, D., A., Shea, J., J. The evolution of endurance running and the tyranny of ethnography: A reply to Pickering and Bunn (2007). *Journal of Human Evolution*, 2007, p. 1-4.
31. Lynne, A., I., Truman, P., Y. The evolution of bipedalism in hominids and reduced group size in chimpanzees: alternative responses to decreasing resource availability. *Journal of Human Evolution*, 1996, 30, p. 389-397.
32. Mann, R., A., Hagy, J. Running, jogging and walking: a comparative electromyographic and biomechanics study. In J. E. Bateman, A. W. Trott, *The foot and ankle* (167-175). American Orthopaedic Foot Society. New York: Thieme-Stratton, 1980.

33. McClay, I., S., Lake, M., J., Cavanagh, P., R. Muscle activity in running. In P. R. Cavanagh, *Biomechanics of distance running* (165-186). Champaign, IL: Human Kinetics, 1990.
34. Merletti, R., Parker, P. *Electromyography*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2004.
35. Pánek, D., Pavlů, D., Čermusová, J. Počítačové zpracování dat získaných pomocí povrchového EMG. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 2009, 16, 4, s. 177-180.
36. Pickering, T., R., Bunn, H., T. The endurance running hypothesis and hunting and scavenging in savanna-woodlands. *Journal of Human Evolution*, 2007, 53, p. 10-16.
37. Pinnington, H., C., Lloyd, D., G., Besier, T., F., Dawson, B. Kinematic and electromyography analysis of submaximal differences running on a firm surface compared with soft, dry sand. *Journal of Applied Physiology*, 2005, 94, p. 242-253.
38. Stegeman, D., F., Hermens, H., J. [Online]. *Standarts for surface electromyography: the European project "Surface EMG for non-invasive assessment of muscles (SENIAM)"* [Citace: 4.2.2011]. Dostupné z: <<http://www.med.uni-jena.de/motorik/pdf/stegeman.pdf>>.
39. Travell, J., G., Simons, D., G. *Myofascial Pain and Dysfunction: the triggerpoint manual. Vol. 2*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1999.
40. Ulrich, J. Krempel, R., Haag, E., Müller, H. *Leichtathletik 1, Laufen*. Reinbek bei Hamburg: Verlag GmbH, 1995.
41. Véle, F. *Kineziologie. Přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapie poruch pohybové soustavy*. Praha: Triton, 2006.
42. Vindušková, J. a kol. *Základy atletiky*. Praha: UK FTVS, 2006.
43. Von Tscharner, V. Intensity analysis in time-frequency space of surface myoelectric signals by wavelets of specific resolution. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2000, 10, p. 433-435.
44. Vonstein, W. Technika sprintu maximální rychlostí. *Atletika*, 1996, 3, s. VI-VII.
45. Williams, K., R. Biomechanics of running. *Exercise Sports Science Review*, 1985, 13, p. 389-441.
46. Winter, D., A. *Biomechanics and motor control of human movement*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1990.
47. Zwiack, E., B., Kollmitzer, P. *Zeit Frequenzanalysen (TFA) des oberflächen – EMGs des M. soleus beim Gehen*. EMG Meeting 94 – Beilage. Berlin, 1994.