

UNIVERZITA KARLOVA  
Fakulta tělesné výchovy a sportu

**Dynamické zatížení při reaktivně silovém cvičení**

**Dynamic load during reactive strength tasks**

Bakalářská práce

Vedoucí diplomové práce:

**Mgr. Vladimír Hojka, Ph.D.**

Vypracoval:

**Dan Kováč**

Praha, červen 2022

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne .....

Podpis diplomanta

## Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své diplomové práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto diplomovou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení: Fakulta / katedra: Datum vypůjčení: Podpis:

---

## Poděkování

Rád bych poděkoval Mgr. Vladimíru Hojkovi, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení, ochotu, pomoc a trpělivost při tvorbě bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat za účast všem probandům, kteří se i přes probíhající letní sezonu ochotně zúčastnili výzkumu.

## **Abstrakt**

### **Název:**

Dynamické zatížení při reaktivně silovém cvičení

### **Cíle práce:**

Cílem práce bylo zmapovat biomechanické parametry atletů při různých silově reaktivních cvičení.

### **Metodika:**

8 atletů – mužů (stáří  $22,4 \pm 1,2$  roku; hmotnost  $76,3 \pm 4,3$  kg) se účastnilo výzkumu. Každý provedl 8 různých reaktivně silových cvičení (Násobné odrazy střídavé a po jedné noze, kotníkové odrazy na místě a za pohybu, přeskoky vysokých překážek snožmo o výšce 76 cm a 91 cm a dálkařský odraz s rozběhem dlouhým 8 a 12 kroků). Dynamika odrazů byla měřena pomocí dvou dynamometrických desek Kistler 9281 EA s vzorkovací frekvencí 1000 Hz. Mezi hlavní pozorované parametry patřila maximální velikost vertikální komponenty síly v průběhu odrazu, čas do nástupu vrcholu vertikální velikosti síly, délka trvání oporové fáze a impuls síly. Zpracování výsledků bylo provedeno za pomoci programů MATLAB R2022a (The MathWorks, Inc. Natick, Massachusetts, USA) a Microsoft Excel 2019.

### **Výsledky:**

Rozdíly v dynamice odrazů byly pozorovány mezi cvičeními jednoož a obouož. Cvičení obouož vykazovala mnohem delší čas nástupu maximální velikosti vertikální složky síly. Nejvyšší silové působení bylo zaznamenáno u horizontálních odrazů po jedné noze, kde dosahovala relativní velikost impaktu hodnot až sedminásobku tělesné hmotnosti atleta. Naopak nejnižší silové působení bylo zaznamenáno u dálkařského odrazu z osmi-krokového náběhu. Se stoupající rychlostí náběhu se působící síly u dálkařského odrazu zvětšovaly a doba oporové fáze klesala.

### **Klíčová slova:**

atletika, odrazová cvičení, odraz, dynamika, biomechanika

## **Abstract**

### **Title:**

Dynamic load during reactive strength tasks

### **Objectives:**

Objectives were to explore and measure biomechanic parameters of athletes performing different reactive strength tasks using force plates.

### **Methods:**

8 male athletes ( $22,4 \pm 1,2$  years;  $76,3 \pm 4,3$  kg) took part in experiment. Each of them performed 8 different reactive strength tasks (alternate and single leg bounds, pogo jumps on place, low hurdle jumps, high hurdle jumps 76 cm and 91 cm and long jump take off from 8 and 12 steps approach). Dynamics of tasks was measured using Kistler 9281 EA with sample rate of 1000 Hz. Main observed parameters were maximum vertical force, time to peak force, contact time and impulse. Data were processed in MATLAB R2022a (The MathWorks, Inc. Natick, Massachusetts, USA) and Microsoft Excel 2019.

### **Results:**

Differences in dynamics of reactive tasks were observed among single leg and double leg exercises. Double leg exercises had much longer time to peak of vertical force than single leg exercises. Biggest vertical forces were observed during single leg bounds, where overload reached seven times body weight. On the other hand lowest peak of vertical force was measured during long jump takeoff from eight steps approach. Maximal forces got higher and contact time shorter with increased approach speed during long jump takeoff.

### **Keywords:**

track & field, jumping exercises, bound, dynamics, biomechanics

## Obsah

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Úvod .....                                  | 10 |
| 2     | Silové schopnosti .....                     | 11 |
| 2.1   | Rozdělení silových schopností .....         | 11 |
| 3     | Reaktivní síla .....                        | 11 |
| 3.1   | Mechanika reaktivně silových cvičení .....  | 12 |
| 3.2   | Fyziologie reaktivně silových cvičení ..... | 13 |
| 3.2.1 | Nervové řízení svalu .....                  | 13 |
| 3.2.2 | Proces natažení a smrštění .....            | 15 |
| 4     | Rozvoj reaktivní síly .....                 | 19 |
| 4.1   | Plyometrická tréninková jednotka .....      | 19 |
| 4.1.1 | Intenzita .....                             | 19 |
| 4.1.2 | Objem zatížení .....                        | 20 |
| 4.1.3 | Interval odpočinku .....                    | 20 |
| 5     | Teorie reaktivně silových cvičení .....     | 23 |
| 5.1   | Rozdělení cvičení dle intenzity .....       | 24 |
| 5.2   | Reaktivně silová cvičení .....              | 24 |
| 5.2.1 | Horizontální odrazy střídavé .....          | 25 |
| 5.2.2 | Kotníkové odrazy obounož .....              | 26 |
| 5.2.3 | Přeskoky vysokých překážek snožmo .....     | 27 |
| 5.2.4 | Přeskoky nízkých překážek snožmo .....      | 28 |
| 6     | Cíle bakalářské práce .....                 | 29 |
| 6.1   | Cíle bakalářské práce .....                 | 29 |
| 6.2   | Úkoly práce .....                           | 29 |
| 7     | Metodika bakalářské práce .....             | 30 |
| 7.1   | Design výzkumu .....                        | 30 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 7.2 | Charakteristika výzkumného souboru..... | 31 |
| 7.3 | Metodika sběru dat.....                 | 31 |
| 7.4 | Zpracování dat.....                     | 34 |
| 8   | Výsledky.....                           | 36 |
| 9   | Diskuse.....                            | 42 |
| 10  | Závěr .....                             | 45 |
| 11  | Seznam použité literatury .....         | 46 |
| 12  | Přílohy.....                            | 50 |

## **Seznam zkratek**

|     |                                |
|-----|--------------------------------|
| SEC | Sériové elastické komponenty   |
| PEC | Paralelní elastické komponenty |
| CC  | Kontraktilní komponenty        |
| SSC | Proces natažení a smrštění     |
| CNS | Centrální nervová soustava     |
| RTC | Roční tréninkový cyklus        |
| TJ  | Tréninková jednotka            |
| CP  | Kreatinfosfát                  |
| ATP | Adenosintrifosfát              |
| SD  | Směrodatná odchylka            |

# 1 Úvod

Téma bakalářské práce jsem si zvolil na základě mé atletické kariéry, ve které se specializuji na skok daleký a doplňuji ho hladkými sprinty do 200 m. Měření biomechanických parametrů atletů pro mě nebyla naprostá novinka. Neboť již několik let pomáhám na mistrovských akcích mládeže s obsluhou radarů, kamer a dalších měřících zařízení pro následné rozборы. Co už pro mě bylo novinkou je zpracování naměřených dat a vyvození výsledků. Naštěstí si sám vedu poměrně podrobný tréninkový deník obsahující různé tréninkové i závodní parametry, takže práce s daty pro mě také nebyla úplně novou.

Pro pochopení principu fungování reaktivně silových cvičení jsem se na začátku teoretické části zaměřil na mechanické a fyziologické fungování těla při těchto pohybech. Následně jsem přešel do teorie vlastního plyometrického tréninku, kde jsem se zaměřil na základní metodotvorné činitele, mezi které patří intenzita, objem zatížení a interval odpočinku. Teoretická část je zakončena teoretickým popisem v atletice nejčastěji používaných cvičení, které byly vybrány pro zkoumání v následujícím výzkumu.

Po vypracování teoretické části a určení cílů již přišel čas na samotný experiment. Vše probíhalo bez větších potíží a já získal velké množství primárních dat, která bylo třeba zpracovat a následně ve výsledkové části zhodnotit. V rámci výsledků jsem se snažil porovnat všechna zkoumaná cvičení podle jednotlivých parametrů, které byly buď přímo změřené nebo následně dopočítané.

Výsledky jsou z mého pohledu velice zajímavé, některé parametry nás velice překvapily, jiné byly očekávané. Dá se bezpochyby mluvit o tom, že jsme tímto výzkumem zmapovali méně známé zákoutí tréninkových prostředků využívaných trenéry po celém světě. Já jsem svému trenérovi již tato data představil a myslím si, že mají potenciál alespoň mírně pozměnit pohled na účinek jednotlivých cvičení a jejich využití. Například při návratu po zranění je velice důležité volit cvičení tak, aby se závodník vyvaroval těm s vyšší náročností. Která je vhodná zařadit a která nikoliv se nám podařilo zjistit.

## 2 Silové schopnosti

Dle Periče (2010) jsou silové schopnosti definovány jako schopnost překonávat nebo udržovat vnější odpor svalovou kontrakcí. Je důležité rozlišovat sílu jako fyzikální veličinu, příčinu pohybu a sílu z hlediska biologického. Síla jako pohybová schopnost neboli komplex silových schopností, je souhrnem vnitřních předpokladů pro vyvinutí síly ve smyslu fyzikálním (Lehnert, 2010).

### 2.1 Rozdělení silových schopností

Jebavý a Zumr (2009) dělí silové schopnosti podle vnějšího projevu, způsobu uvolňování energie nebo podle způsobu využití práce při specifických pohybových činnostech následovně:

- Maximální síla – je největší síla, kterou je schopen vyvinout nervosvalový systém při maximální volní kontrakci.
- Rychlá síla – je schopnost nervosvalového systému dosáhnout co největšího silového impulsu v časovém intervalu, ve kterém se musí pohyb realizovat.
- Startovní síla – je velikost síly, která byla dosažena do 50 milisekund od zahájení kontrakce, tedy schopnost dosáhnout vysoké úrovně síly již na začátku kontrakce v co nejkratším čase.
- Explozivní síla – vyjadřuje schopnost dosáhnout maximálního zrychlení v závěrečné fázi pohybu.
- Reaktivní síla – umožňuje svalový výkon, při kterém se uplatňuje cyklus protažení a následného zkrácení svalu, který vyvolá zvýšení silového impulsu.
- Vytrvalostní síla – jde o schopnost uplatňovat svalovou sílu opakovaně po delší dobu bez výrazného snížení její úrovně.

## 3 Reaktivní síla

Reaktivní sílu lze také definovat jako schopnost rychle změnit excentrickou kontrakci na koncentrickou (Young, 1995). Tento typ síly je kromě atletiky velice důležitý v mnoha dalších sportech jako jsou například bojová umění, fotbal, basketball, lakros nebo tenis. Seskok a následný výskok z jeden metr vysoké platformy vyžaduje sílu o velikosti osmi až desetinásobku hmotnosti těla (Bompa, 2015).

### 3.1 Mechanika reaktivně silových cvičení

Při reaktivně silových cvičeních, která jsou též nazývaná jako plyometrická cvičení dochází k natažení svalu a šlachy následované okamžitým zkrácením této jednotky (Donald, 2013). Z mechanické stránky dochází k ukládání elastické energie při rychlém natažení svalu, která je uvolněna při následné koncentrické kontrakci, čímž zvyšuje celkovou produkci síly. Model vysvětluje funkci svalošlachové jednotky jako spolupráci tří mechanických komponent. SEC, PEC a CC. SEC (Sériové elastické komponenty) jsou sice tvořeny z části svaly, převážně jsou však šlachovitého charakteru. Když je při excentrické kontrakci svalošlachová jednotka natažena, SEC se chová jako natahující se pružina a ukládá elastickou energii (Earle & Baechle, 2003). Ačkoliv SEC obsahuje množství svalů, bylo zjištěno, že hlavním přispěvatelem změny délky a uložení energie je šlacha (Donald, 2013). Pokud následuje okamžitá koncentrická kontrakce, získaná elastická energie se uvolní v prospěch větší svalové síly. Pokud však koncentrická kontrakce nenásleduje okamžitě nebo trvá příliš dlouho, získaná elastická energie se uvolní v podobě tepla (Earle & Baechle, 2003).

Elastické elementy nebo pružiny jsou fyzické objekty, které odolávají venkovním vlivům pokoušejícím se změnit jejich délku. Dělalí to vyvinutím síly, která působí proti směru deformace. Pružiny a stejně tak svaly nebo šlachy v sobě akumulují potenciální energii. V zjednodušeném modelu lineární pružiny je síla vyvinutá pružinou popsána Hookeovým zákonem jako:

$$F_e = -k(x - x_0)$$

Kde  $F_e$  je elastická síla,  $x$  délka pružiny,  $x_0$  nulová délka (délka při které jsou elastické síly nulové) a  $k$  je konstanta pružnosti. Míinus značí, že produkovaná síla působí proti změně délky s ohledem na  $x_0$  (Latash, 2008).

## **3.2 Fyziologie reaktivně silových cvičení**

### **3.2.1 Nervové řízení svalu**

Při excentrické kontrakci svalu jsou u reaktivně silových cvičení využívány dva protichůdné nervové mechanismy reagující na vysoké napětí svalů zachycené proprioreceptory. Prvním z nich je napínací reflex aktivovaný činností svalových vřetének a druhým je reflex s opačným efektem aktivovaný šlachovými tělísky (Zatsiorskij & Kraemer, 2021).

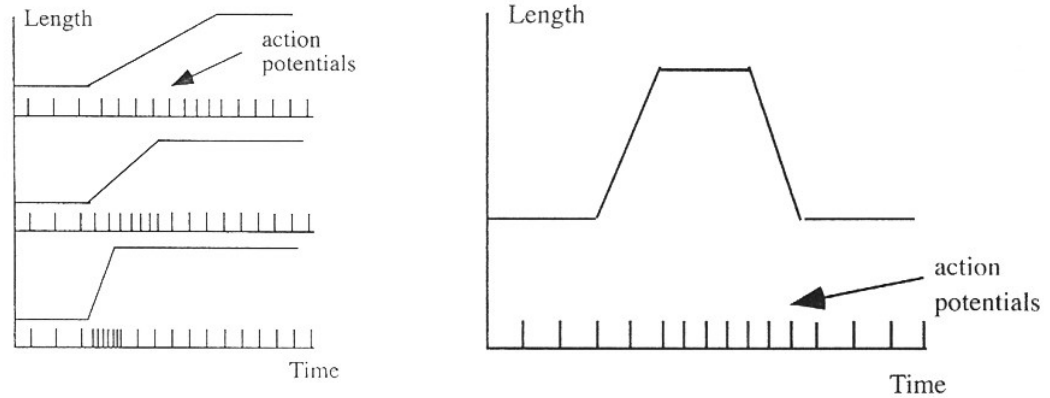
#### **Svalová vřeténka**

Svalová vřeténka jsou velmi důležitými strukturami, které dokáží informovat centrální nervstvo o změně délky svalu a rychlosti této změny. Svalová vřeténka jsou tvořena čtyřmi až šesti svalovými vlákny. Tato svalová vlákna jsou uložena ve vazivovém obalu vřetenovitého tvaru a jejich délka se pohybuje mezi 2–10 mm. Jsou tvořena speciálními intrafusálními svalovými vlákny, která jsou orientována paralelně na vlákna extrafusální neboli vlákna odpovědná za svalovou kontrakci. Na obou koncích jsou intrafusální vlákna napojena na vlákna extrafusální nebo šlachy. Když sval mění svoji délku, intrafusální vlákna reagují na změnu délky extrafusálních vláken jako detektor rozdílu stupně stahu. Počet vřetének v každém svalu je víceméně stálý a pohybuje se od několika jednotek do několika desítek. Svalová vřeténka jsou uložena na přechodu svalu do šlachy (Čihák & Grim, 2001).

Intrafusální vlákna se dále dají rozdělit na dva druhy, těmi jsou bag fibers a chain fibers. Bag fibers lze ještě dále dělit na statické a dynamické. Svalová vřeténka mají dva typy sensorických zakončení. Prvním typem jsou primární zakončení, které se připojují na všechna intrafusální vlákna včetně dynamických a statických bag fibers. Zatímco sekundární jsou ve většině případů připojena jen ke statickým bag fibers. To znamená, že primární zakončení jsou senzitivní jak na změnu svalové délky, tak i na její rychlost. Oproti tomu sekundární zakončení jsou senzitivní pouze na změnu svalové délky (Latash, 2008).

U primárních sensorických zakončení můžeme sledovat zvýšenou frekvenci akčních potenciálů po natažení svalu než před ním. Zároveň v průběhu natahování je frekvence vyšší, když je sval natahován rychleji. Vzhledem k necitlivosti sekundárních

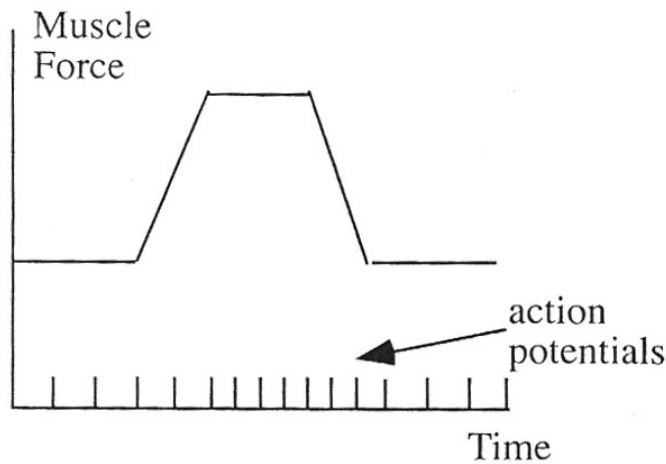
zakončení na rychlost protažení se frekvence akčních potenciálů zvyšuje pouze na základě délky svalu, a nikoliv na rychlosti změny. Viz obrázek č.1. (Latash, 2008).



**Obrázek č.1 – Grafické zobrazení zvýšení frekvence akčních potenciálů při prodloužení délky svalu v čase u primárních zakončení svalových vřetének vlevo a sekundárních zakončení vpravo (Latash, 2008)**

### Šlachová tělíska

Další skupinou proprioreceptorů uložených na pomezí svalových vláken a šlachy jsou šlachová tělíska. Šlachová tělíska jsou snopečky šlachy obklopené vřetenovitým pouzdem, ze kterých začínají senzitivní vlákna registrující stupeň napětí. Jsou obdobně jako svalová vřeténka zapojena do reflexní regulace napětí svalu (Čihák & Grim, 2001). Stejně jako svalová vřeténka jsou také senzitivní na mechanickou deformaci a jsou uložena sériově se svalovými vlákny. Jejich práce začíná v moment, kdy ostře vzroste svalové napětí. Reflex, který vyvolají inhibuje svalovou akci a je tak opačný napínacímu reflexu. Tento reflex má za úkol chránit svaly a šlachy proti poškození. Šlachová tělíska ovšem nejsou senzitivní na rychlost změny působící síly, z čehož vyplývá, že odezva šlachových tělísek je podobná odezvě sekundárních zakončení svalových vřetének. Viz obrázek č.2 (Latash, 2008).



**Obrázek č.2 – Grafické zobrazení zvýšení frekvence akčních potenciálů šlachových tělísek při zvýšení působící síly v čase (Latash, 2008)**

Svalové kontrakce jsou při fázi natahování svalu reflexivně řízené kombinací dvěma právě zmíněnými reflexy. Excitační efekt je způsoben napínacím reflexem, zatímco opačný inhibiční efekt je způsobován reflexem šlachových tělísek. Při doteku se zemí začíná být extenzor dolní končetiny napínán, na základě napínacího reflexu je kontrahován, tím narůstá svalové napětí působící na šlachová tělíska v témž svalu a ta na základě reflexu šlachových tělísek inhibují svalovou aktivitu. Za pomoci specifického tréninku je možné reflex šlachových tělísek potlačit a atlet je schopný snést velmi velké impaktové síly bez snížení vynaložené svalové síly (Zatsiorskij & Kraemer, 2021).

### **3.2.2 Proces natažení a smrštění**

Průběh natažení svalu a jeho následné zkrácení je vysvětlován pomocí modelu, který je nazýván jako proces natažení a smrštění a bývá označován zkratkou SSC z anglického *stretch-shortening cycle*. SSC je souborem mechanismů dovolující maximální nábor svalových jednotek za minimální možný čas (Earle & Baechle, 2003). Na obrázku č.3 je vykreslen průběh SSC svalu lýtka při běhu. Mezi mechanismy SSC patří napínací reflex, elasticita svalů a šlach, preaktivace a potenciace (Hansen & Kennelly, 2017).

SSC lze rozdělit do třech odlišných fází:

### **Excentrická fáze**

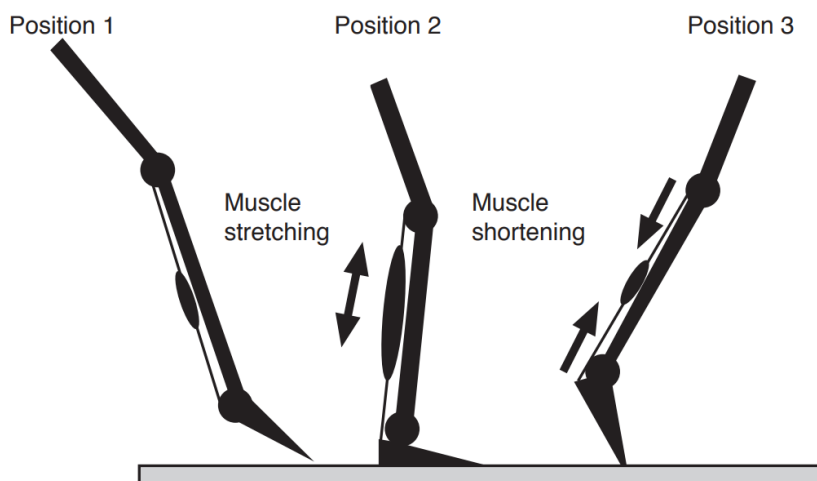
V excentrické fázi dochází k preaktivaci agonistických svalů či svalových skupin (Earle & Baechle, 2003), které následně vykonávají brzdivou kontrakci. Klíčové je pro tuto fázi ukládání elastické potenciální energie do SEC a stimulování svalových vřetének. (Donald, 2013). Příkladem může být basketbalista odhazující míč. Hráč obvykle rychle provede podřep, ze kterého okamžitě vyskakuje a odhazuje míč. Excentrická fáze probíhá v tomto případě zahájením podřepu a končí v nejnižším bodě podřepu (Earle & Baechle, 2003).

### **Amortizace**

Druhá fáze se nazývá amortizace nebo také přechodná fáze. Je to časový interval mezi ukončením excentrické a počátkem koncentrické fáze. V tomto časovém okně vysílá mícha signál do agonisty, tj. natahovaný sval, k zahájení kontrakce. Tato fáze musí být krátká, protože v opačném případě, jak již bylo zmíněno, se energie uložená při excentrické fázi uvolňuje v podobě tepla a proces natažení neposílí svalovou aktivitu v průběhu koncentrické kontrakce (Earle & Baechle, 2003). Měřitelné úbytky uložené elastické energie se dají pozorovat při amortizaci delší než 25 milisekund. Ideální čas strávený v této fázi je kratší než 15 milisekund. Cvičení, která obsahují záměrné zastavení pohybu ve fázi amortizace mohou mít jiné benefity, avšak při cíleném zvyšování síly působící na podložku by se atleti měli vyhnout cvikům obsahujících viditelnou pauzu pohybu při SSC (Donald, 2013). Na stejném příkladu basketbalisty začíná amortizační fáze v moment zastavení pohybu v podřepu a končí, jakmile se hráč začne pohybovat směrem nahoru (Earle & Baechle, 2003)

### **Koncentrická fáze**

Poslední fází je koncentrická, která je odpovědí těla na události probíhající při excentrické a amortizační fázi. V tento moment dochází k uvolňování energie uložené v SEC v průběhu excentrické fáze buď ve prospěch větší produkce síly pro následný pohyb nebo je uvolňována v podobě tepla při příliš dlouhé amortizační fázi. Využití uložené elastické energie při koncentrickém pohybu vyústí ve větší sílu než při izolované koncentrické kontrakci. Na příkladu basketbalisty pozorujeme koncentrickou fázi od momentu, kdy se začne hráč pohybovat směrem nahoru. (Earle & Baechle, 2003).



Obrázek č.3 – Znárodnění SSC lýtkového svalu při běhu (Zatsiorskij & Kraemer, 2021)

### Napínací reflex

Napínací reflex patří mezi monosynaptické míšní reflexy. Vzniká drážděním receptorů a představuje základní element spinální motoriky. Vzruch vytvořený receptory ve svalech, hlavně svalovými vřeténky, je převáděn přímo na  $\alpha$ -motoneuron téhož svalu (Ambler, 2006). Je to tedy nedobrovolná reakce těla na externí podnět. Pokud zachytí svalová vřeténka rychlé protažení svalu, svalová aktivita se zvyšuje. Tato reflexivní reakce zvyšuje aktivitu agonisty, čímž zvyšuje sílu, kterou tento sval produkuje (Earle & Baechle, 2003). Napínací reflex reaguje takovou intenzitou, jakou je sval natahován a je jedním z nejrychlejších reflexů v lidském těle. Důvodem je přímé spojení senzoričkých receptorů svalů s míchou a zpět se svalovými vlákny odpovědnými za akci. Další lidské reflexy jsou pomalejší než napínací reflex z důvodu, že signály musí být přeneseny přes několik interneuronů a CNS dříve, než je vyvolána akce. Nejznámějším příkladem napínacího reflexu je vykopnutí kolene při klepnutí kladívkem do šlachy kvadricepsu. Toto klepnutí zapříčiní natažení šlachy kvadricepsu, které je zachyceno svalem, a ten na něj reaguje kontrakcí (Donald, 2013). Napínací reflex pomáhá kontrolovat držení těla udržováním svalového tonu. Dále také může pomoci předcházet zraněním tak, že umožňuje svaly reagovat na nečekané natažení (Jarmey, 2015).

Fáze napínacího reflexu dle Jarney (2015):

1. Když je sval natahován, svalová vřeténka jsou stimulována a v reakci vysílají aferentními neurony signály o rychlosti a síle natažení do míchy.
2. Mícha tyto signály zachytí a v reakci okamžitě vyšle eferentními neurony signály ke stažení protahovaného svalu za cílem zpomalení pohybu. Tento proces se nazývá reflexní oblouk.
3. Nervový vzruch je zároveň vyslán do antagonisty natahujícího se svalu. Způsobuje inhibici antagonisty, který nemůže vzdorovat. Tento proces se nazývá reciproční inhibice.
4. Vedle míšního reflexu jsou nervové vzruchy vysílány také do mozku, kde předávají informace o napínání svalu. Mozek taktéž vysílá signály do svalů, aby se zajistil vhodný svalový tonus a byly dodrženy požadavky postavení těla a pohybu.
5. Citlivost na protažení snímaná svalovým vřeténkem je vyhlazena gamma eferentními nervy. Reflexní oblouk gamma motorického neuronu zajišťuje rovnoměrnost svalové kontrakce, která by byla trhavá, kdyby svalový tonus spoléhal pouze na napínací reflex.

### **Elasticita svalů a šlach**

Elasticita svalu je schopnost svalu zvýšit napětí při jeho protažení v kontraktálních elementech. Rozsah elasticity neboli deformace svalu je přímo úměrný schopnosti tkáně odolávat těmto silám bez poškození a vrátit se do původního stavu po uvolnění zatížení (Radcliffe, Farentinos 1999). Zatímco tuhost šlachy je konstantní, tuhost svalu je proměnná a závisí na vynaložené síle. Pasivní sval je poddajný a lze jej snadno natáhnout, na druhou stranu aktivovaný sval je tuhý a je třeba vynaložit velkou sílu, aby se natáhl. To znamená, že čím větší je svalové napětí, tím větší má sval tuhost, což znamená větší schopnost odolávat silám, které ho natahují. Tím se snižuje možnost využití jeho elastických vlastností. Důsledkem toho se potenciální elastická energie elitních sportovců ukládá především ve šlachách, a ne ve svalech (Zatsiorskij & Kraemer, 2021).

## 4 Rozvoj reaktivní síly

Trénink obsahující cvičení na rozvoj reaktivní síly by měl být zvolen tak, aby splňoval nároky dané disciplíny. Metody vyhovující jednomu atletovi nemusí být vhodné pro atleta druhého. Trénink zahrnující plyometrická cvičení je velmi náročný na nervový systém. Je proto nutné dbát na správné provedení cviků a zvolení optimálního objemu zatížení. Před tréninkem je důležitá správná příprava sportovce v podobě rozcvičení. Je třeba zaměřit se na oblast trupu a zpevnění svalového korzetu, jelikož tato část těla je především u začátečníků nejslabším článkem na těle. Při přetížení a nedostatečné stabilizaci může dojít k posunům a rotacím pánve či páteře. Při dodržení všech zásad však není plyometrický trénink o nic nebezpečnější než jiné formy tréninku. Naopak je velice důležitou součástí specializované přípravy a adaptace na pohyby reaktivního charakteru přítomné v samotném sportovním výkonu. Cílem takového tréninku je zlepšení využití reflexů, využití elastické potenciální energie a z toho vyplývající zrychlení pohybových úkonů (Cacek, 2007).

### 4.1 Plyometrická tréninková jednotka

Při stavbě plyometrické tréninkové jednotky bychom měli zvážit základní metodotvorné činitele, kterými jsou intenzita, objem a interval odpočinku.

#### 4.1.1 Intenzita

Intenzitu cvičení lze popsat dvěma způsoby. První z nich popisuje velikost úsilí vynaloženou pro vykonávání cviku. Z tohoto pohledu by měla být intenzita provedení vždy maximální. Pokud nebude cvičení provedeno v maximální intenzitě, snižuje se odezva SSC a tím i všechny specifické mechanismy (McNeely & Sander, 2009). Dle Hennemanova principu jsou totiž při nemaximálním úsilí zapojovány prvně pomalé motorické jednotky. Z principu reaktivní síly je naším cílem maximální rychlost pohybu a nejvyšší možná síla, které lze dosáhnout jen zapojením rychlých motorických jednotek (Latash, 2008). Druhé měřítko je ovlivněno velikostí síly potřebné při excentrické fázi cviku. Například výpadevová chůze se z tohoto pohledu dá označit jako nízko intenzivní, protože dochází k malému protipohybu a napínací reflex není zdaleka využíván tolik jako při seskoku z vyvýšeného místa a následném přeskoku překážky. Seskok a přeskok můžeme podle tohoto kritéria charakterizovat jako vysoko intenzivní cvičení (McNeely & Sander, 2009).

#### 4.1.2 Objem zatížení

Objem se v plyometrii měří pomocí množství kontaktů nohou s podložkou, přičemž dopad sounož se počítá jako dva kontakty. To znamená, že čtyři série po deseti kotníkových odrazech snožmo jsou počítány jako 80 kontaktů se zemí. Doporučovaný objem, viz tabulka č.1, záleží na výkonnostní úrovni atleta a na intenzitě cvičení z pohledu dobrzdování McNeely & Sander, 2009).

**Tabulka č.1 – Počet kontaktů se zemí v TJ v závislosti na zdatnosti atleta a intenzitě prováděných cviků**

| Úroveň            | Nízká intenzita | Střední intenzita | Vysoká intenzita |
|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| Začátečník        | 80              | 60                | 40               |
| Středně pokročilý | 100             | 80                | 60               |
| Pokročilý         | 140             | 120               | 100              |

(McNeely & Sander, 2009)

Objem zatížení je ovlivňován navíc ještě aktuální fází RTC. Počet opakování v sérii se obvykle pohybuje mezi osmi a dvanácti. Méně opakování v případě komplexnějších a intenzivnějších cviků, a naopak více opakování pro méně intenzivní cviky (Radcliffe & Farentinos 1999).

#### 4.1.3 Interval odpočinku

Interval odpočinku je zásadní proměnnou v tréninku plyometrickou metodou. Jeho délka se odvíjí od energetického systému, který je využíván. Vzhledem ke krátké době zátěže a vysoké intenzitě je hlavním zdrojem energie CP systém, který zajišťuje výrobu molekul ATP potřebných pro svalové kontrakce. Po vyčerpání zásob ATP dochází k jejich obnovení. K plnohodnotnému obnovení dochází asi po třech minutách, zatímco k částečnému obnovení na hladinu 70 % dochází již po třiceti vteřinách od ukončení zatížení (Cacek, 2007).

V praxi délka odpočinku záleží na času pod napětím, viz tabulka č.2. Může tedy za určitých okolností dosahovat až sedmi minut. V případě cviků, kde jde pouze o jedno opakování (např. seskok s následným přeskokem) je běžná pauza pro opětovné zaujetí výchozí pozice 5–10 vteřin (McNeely & Sander, 2009). Běžná délka odpočinku mezi

sériemi potřebná pro doplnění energetických zásob je jedna až dvě minuty. U cvičení s nízkou intenzitou dopadu se může zkrátit na 30–60 vteřin. Naopak u více intenzivních cviků může být interval odpočinku delší než tři minuty (Radcliffe & Farentinos, 1999).

**Tabulka č.2 – Doporučená délka odpočinku mezi opakováními a sériemi plyometrických cvičení na základě délky času pod napětím**

| Čas zatížení | Délka odpočinku mezi opakováními | Délka odpočinku mezi sériemi |
|--------------|----------------------------------|------------------------------|
| <1 s         | 5–10 s                           | 1–2 min                      |
| 1–3 s        | Žádný                            | 2–3 min                      |
| 4–15 s       | Žádný                            | 2–4 min                      |
| 15–30 s      | Žádný                            | 3–5 min                      |

(McNeely & Sander, 2009)

V rámci týdenního mikrocyklu by neměla být plyometrie zařazována více než 2x v období přípravném a více než jednou v období závodním. Tato metoda je velmi vysilující a na zotavení je potřeba alespoň 36–48 hodin (Dintian, 1998).

Cacek (2015) ve svém článku zmiňuje, že je vhodné dle části přípravy kombinovat plyometrický trénink společně s odporovým tréninkem nebo balistickým tréninkem. Ve svých doporučeních, viz tabulka č.3, pro plyometrický trénink se shoduje s výše zmiňovanými autory.

**Tabulka č.3 – Plyometrický trénink**

| Parametry zatížení                                   |   | Komentáře  |
|--|---|--|
| Velikost odporu                                      | 5–20 % 1RM nebo vlastní hmotnost  | Je otázkou trénovanosti  |
| Počet opakování v sérii                              | 1–10  |  |
| Počet cvičení v tr. Jednotce                         | 3–6   |  |
| Počet sérií v tr. Jednotce                           | 2–5   | Zpravidla 3–4 (dle počtu cvičení)  |
| Celkový počet odrazů v tr. Jednotce (objem zatížení) | Začátečníci: 70–100<br>Pokročilí: 100–200<br>Elitní: 120–150              |  |
| Interval odpočinku                                   | 1–3 minuty  | Literatura doporučuje poměr k zatížení 1 ku 10–20  |
| Rychlost cvičení                                     | Maximální – submaximální  | Měla by růst po celou dobu silového působení na odpor, kontaktní fáze by neměla být delší než 0,2s |
| Frekvence tréninků                                   | 2–3x za týden   |  |
| Regenerace mezi tréninky                             | 48–72 hodin   | Není žádoucí dva dny po sobě aplikovat plyometrický trénink  |
| Doporučení   | Kombinace v mikrocyklech s odporovým tréninkem nebo balistickým tréninkem | Dle části přípravy a disciplíny  |

(Cacek, 2015)

## 5 Teorie reaktivně silových cvičení

Reaktivní cvičení můžeme rozdělit na základě jejich intenzity do několika skupin. Pro začínající atlety a zejména pak děti je vhodné začínat u cviků s nízkou intenzitou, naučit se správné technické provedení a později, u dětí ve věku čtrnácti až šestnácti let vybavenými dostatečnými zkušenostmi pomalu přejít ke cvičením s vyšší intenzitou (Bompa, 2015).

Intenzitu cviků lze ovlivňovat několika způsoby. Jedním z nich je provádění cviků jednoноž či obouноž. Cvičení prováděná obouноž jsou relativně méně náročná a méně komplexní než cvičení prováděná jednoноž. Skákání po jedné noze vyžaduje od sportovce stabilní dopad a kontrolu boků a kolen (Hansen & Kennelly, 2017).

Co se týče typu cvičení, u horizontálních může být intenzita regulována délkou skoků, což v praxi znamená využití většího úsilí při odrazu, nebo prodloužením překonávané vzdálenosti tzn. zvýšením počtu skoků. U cvičení vertikálních můžeme intenzitu ovlivnit například výškou překážek, která ovšem nesmí dosáhnout takové výšky, která by zvyšovala riziko zakopnutí a pádu. Poslední skupinou jsou tzv. depth jumps neboli seskoky z vyvýšeného místa následované výskokem nebo přeskokem překážky. Náročnost těchto cviků může být ovlivněna jednak výškou seskoku a zároveň výškou následného přeskoku. Je ovšem důležité nastavit takovou výšku seskoku, která nebude příliš vysoká a dovolí relativně krátký kontakt s podložkou. Je možné provádět seskoky i jednoноž, ale výška seskoku musí být opět relativně nízká, aby byl udržen krátký kontakt s podložkou a nezvyšovalo se riziko úrazu (Hansen & Kennelly, 2017).

Dalším krokem, jak zvýšit obtížnost, může být spojení přeskoků překážek společně se seskoky a přeskoky do překážkové dráhy skládající se z překážek a boxů. Při tvoření takové dráhy je důležité dbát na to, aby atlet dokázal provést každý skok s maximálním úsilím a nedocházelo k přetížení nebo vyčerpání (Hansen & Kennelly, 2017).

## 5.1 Rozdělení cvičení dle intenzity

Reaktivně silová cvičení můžeme teoreticky rozdělit do pěti skupin na základě jejich intenzity. V tabulce č.3 jsou skupiny očíslovány od jedné do pěti, kde 1 označuje nejnižší intenzitu a 5 nejvyšší intenzitu.

Tabulka č.4 – Rozdělení plyometrických cvičení dle intenzity

|   |   |
|---|---|
| 1 | Kotníkové odrazy, Kotníkové odrazy za pohybu, Poskočné poskoky, Kotníkové odrazy mezi překážkami, Výpady za chůze, Přeskoky švihadla snožmo         |
| 2 | Přeskoky vysokých překážek snožmo, Přeskoky ve výpadu, Vertikální výskok s dynamickým zdvižením kolen, Skok daleký z místa, Odrazy snožmo do schodů |
| 3 | Horizontální odrazy střídavé, Běžecké odpichy, Výskok na bednu a výskok z bedny, Přeskoky švihadla na jedné noze, Dvojité přeskoky ve výpadu        |
| 4 | Horizontální odrazy po jedné noze, Seskok z bedny s následným výskokem, Seskok z bedny s následným přeskokem,                                       |
| 5 | Závodní provedení skokanských disciplín, Seskok z bedny s následným přeskokem jednož  |

(Pye, 2008; McNeely & Sander, 2009; Radcliffe & Farentinos, 1999)

## 5.2 Reaktivně silová cvičení

Existuje obrovské množství plyometrických cvičení, které lze rozdělit na cviky rozvíjející horní polovinu těla, spodní polovinu těla, trup nebo komplexně celé tělo (McNeely & Sander, 2009). Následuje teoretický popis cviků zaměřujících se na spodní polovinu těla, které jsou často používány při atletickém tréninku skokanů a které budou zkoumány v praktické části práce.

### 5.2.1 Horizontální odrazy střídavé

Provedení začíná stojem spojným či roznožným jednou nohou vpřed, následuje švih zadní nohy kolenem vpřed v souladu se švihem opačné paže. Opačnou nohu se snažíme, co největší silou propnout. V průběhu letové fáze se přední noha připraví na kontakt se zemí celou plochou chodidla. Při kontaktu se zemí se začíná opačná končetina pohybovat směrem dopředu a vzhůru. Důležité jsou svihy pažemi, které balancují pohyby spodní části těla. Základem správného provedení je snaha o co nejkratší kontakt se zemí (Hansen & Kennelly, 2017).

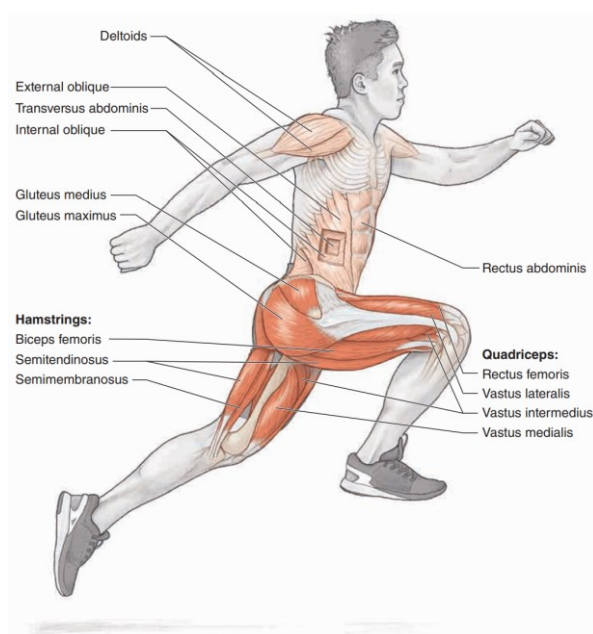
Zapojené svaly dle Hansenna a Kennelyho (2017):

Primární: gluteus maximus, gluteus medius, quadriceps, hamstring

Sekundární: transversus abdominis, internal oblique, external oblique, rectus abdominis, deltoids

Střídavé odrazy jsou nástrojem pro budování cyklické síly pro běh, skákání a více směrné pohyby. Silný švih kolene je důležitý pro správné protlačení boků při každém odrazu (Hansen & Kennelly, 2017).

Střídavé odrazy mohou být modifikovány skákáním do boků, pokud je vyžadována více směrná síla. Při skákání do boků švihají paže křížem přes tělo pro vybalancování bočných sil generovaných dolními končetinami (Hansen & Kennelly, 2017).



Obrázek č.4 – Znáznornění provedení střídavých horizontálních odrazů (Hansen & Kennelly, 2017)

### 5.2.2 Kotníkové odrazy obounož

Provedení začíná ve stoji s nohama na šíři boků s rukama podél těla. První skok začíná malým protipohybem. Pohyb je vykonáván maximálním úsilím, dbáme na svislou polohu těla, při které jsou ramena, boky a nohy v jedné přímce jak při odrazu, tak při letu. Při dopadu se snažíme zpevnit celé tělo a jen mírně pokrčit kolena k absorpci nárazu. Je nutné rozložit sílu působící na nohy rovnoměrně. Důležitá je dorziflexe před kontaktem s podložkou, která nám zajistí silnou a elastickou odpověď ve formě rychlého a silného odrazu. Důležitá je vysoká kvalita provedení, rytmické opakování odrazů s přibližně stejnou výškou a držení optimální polohy těla (Hansen & Kennelly, 2017).

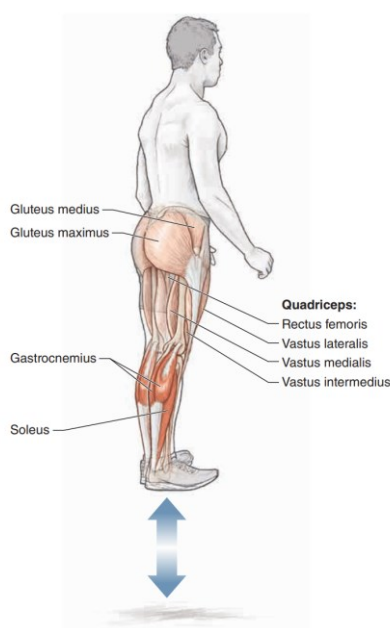
Zapojené svaly dle Hansenna a Kennelyho (2017):

Primární: soleus, gastrocnemius

Sekundární: gluteus maximus, gluteus medius, quadriceps

Kotníkové odrazy obounož jsou dobré základní cvičení pro budování reaktivní síly a celkové integrity těla. Kotníkový odraz je základem pro mnoho pohybů jako je například běh. Dále jsou prospěšné z pohledu budování pevnosti zbytku těla, díky kterému nedochází ke ztrátám kinetické energie (Hansen & Kennelly, 2017).

Kotníkové odrazy mohou být modifikovány například skákáním do stran, což vede k zesílení kotníků a minimalizuje šanci vymknutí. Taková cvičení mohou být prováděna přes čáru nebo velmi nízkou překážku (Hansen & Kennelly, 2017).



Obrázek č.5 – Znázornění provedení kotníkových odrazů obounož (Hansen & Kennelly, 2017)

### 5.2.3 Přeskoky vysokých překážek snožmo

Přeskoky vysokých překážek snožmo vyžadují maximální úsilí při odrazu. Důležitá je silná extenze v bocích podpořená silným švihem paží, které pomohou snožnému odrazu s chodidly na šířku pánve. V moment přelétání překážky je třeba zvednout kolena pro adekvátní přechod překážky. Po přechodu překážky následuje příprava na dopad v podobě dorsiflexe chodidel, která zajistí pevný a pružný dopad na přední část chodidel. Rychlý a silný elastický dopad zaručí co možná nejvyšší výšku skoků (Hansen & Kennelly, 2017).

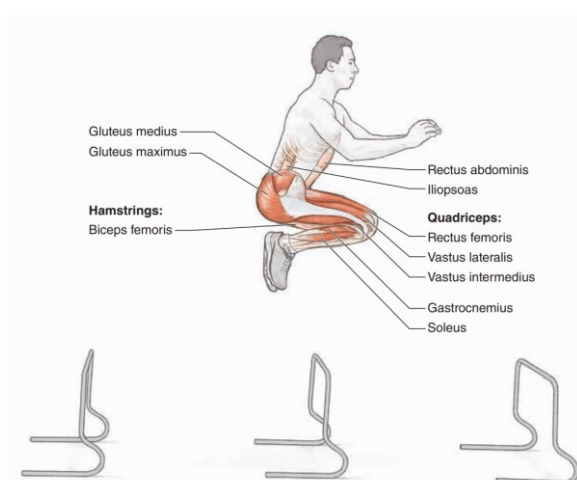
Zapojené svaly dle Hansenna a Kennelyho (2017):

Primární: gluteus maximus, gluteus medius, quadriceps, soleus, gastrocnemius.

Sekundární: rectus abdominis, iliopsoas, hamstrings

Přeskoky vysokých překážek snožmo jsou větší výzvou než většina bilaterálních cvičení z důvodu nutnosti provádění opakovaných maximálních úsilí přes danou překážku. Výška překážek by měla být dostatečně vysoká, aby zajistila maximální úsilí odrazu. Zároveň nesmí být vysoká příliš, aby nedocházelo k risku pádu a případného zranění. I z toho důvodu představují tyto přeskoky psychickou bariéru, která může být pro začátečníky nepřekonatelná (Hansen & Kennelly, 2017).

Přeskoky mohou být modifikovány například pauzou při doskoku (Hansen & Kennelly, 2017). Takovou úpravou se však z cviku vytratí důležitý aspekt cyklu natažení a zkrácení (Earle & Baechle, 2003). Další modifikací mohou být skoky s obraty či půlobraty (Hansen & Kennelly, 2017).



Obrázek č.6 – Znázornění provedení přeskoků vysokých překážek snožmo (Hansen & Kennelly, 2017)

### 5.2.4 Přeskoky nízkých překážek snožmo

Snožné přeskoky nízkých překážek se vyznačují vzpřímeným postojem a rychlým snožným odrazem mezi překážkami. Vzhledem k nízké výšce překážek, je třeba klást důraz na aktivní kontakt se zemí pro maximální zapojení svalů a šlach lýtek a chodidel. Dotyk se zemí by měl být lehký a rychlý. Kontakt s podložkou probíhá na přední části chodidla. Kolena by se měla při letu i při dotyku s podložkou pokrčovat jen minimálně. Odrazy jsou doprovázeny švihy horních končetin s relativně malým rozsahem pohybu. Po celou dobu je udržován vzpřímený postoj (Hansen & Kennelly, 2017).

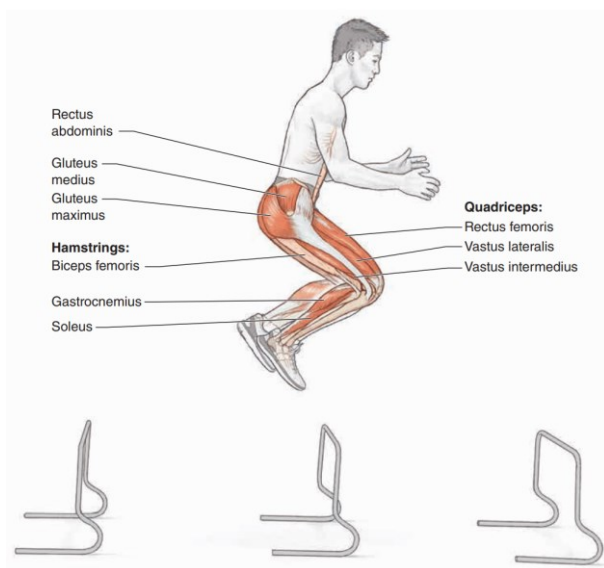
Zapojené svaly dle Hansenna a Kennelyho (2017):

Primární: soleus, gastrocnemius, Gluteus maximus, gluteus medius, quadriceps

Sekundární: rectus abdominis, iliopsoas, hamstrings

Nízké překážky představují pro atleta bariéru, která zaručuje, že bude skákat do konzistentní výšky a vzdálenosti. Tento cvik je velmi podobný kotníkovým odrazům obounož a taktéž je u něj důležitá reaktivita kotníků a lýtek. Pokud atlet při cviku nadměrně ohýbá kolena v kterékoliv fázi cviku, je na místě snížit výšku překážek (Hansen & Kennelly, 2017).

Toto cvičení lze také modifikovat, například můžeme z překážek vytvořit jednu dlouhou rovnou překážku přes kterou budeme přeskakovat bočně a vpřed zároveň (Hansen & Kennelly, 2017).



Obrázek č.7 – Znázornění provedení přeskoků nízkých překážek snožmo (Hansen & Kennelly, 2017)

## **6 Cíle bakalářské práce**

### **6.1 Cíle bakalářské práce**

Cílem této bakalářské práce je zjistit a podrobně zmapovat biomechanické parametry atletů při různých silově reaktivních cvičení za pomoci dynamometrických desek. Mezi pozorované parametry patří maximální velikost vertikální složky síly v průběhu odrazu, čas do nástupu vrcholu vertikální složky síly, délka trvání oporové fáze, impuls síly, změna vertikální rychlosti a relativní velikost impaktu uvedená v násobcích tělesné hmotnosti.

### **6.2 Úkoly práce**

K dosažení určených cílů bakalářské práce jsem si stanovil tyto úkoly:

- Prostudování odborné literatury zabývající se reaktivní silou
- Realizace vlastního měření a testování
- Zpracování výsledků a následné vyhodnocení
- Porovnání odrazových cvičení

## 7 Metodika bakalářské práce

### 7.1 Design výzkumu

V rámci výzkumu bylo sledováno 8 níže zmíněných typů reaktivně silových cvičení. Testování probíhalo na atletickém stadionu UK FTVS. Testovalo se v průběhu zhruba tříhodinového setkání. Samotnému testování předcházelo atletické rozcvičení. Data byla sbírána za pomoci zařízení snímajícího kontaktní síly s podložkou. Byla použita dynamometrická deska Kistler nastavená na vzorkovací frekvenci 1000 Hz, která umožňuje detekci kontaktních sil ve všech třech osách (dvě horizontální a jedna vertikální). Všechna pozorovaná cvičení byla prováděna v běžecké obuvi.

Reaktivně silová cvičení byla zkoumána v následujícím pořadí:

- Horizontální odrazy vpřed střídavé (levá, pravá, levá nebo pravá, levá, pravá) ze čtyř-krokového náběhu
- Horizontální odrazy vpřed po jedné noze (pravá, pravá, pravá nebo levá, levá, levá) ze čtyř-krokového náběhu
- Kotníkové odrazy obouoř na místě
- Kotníkové odrazy obouoř za pohybu přes nízké překážky o výšce 10 cm bez výrazného pokrčení v kolenou
- Přeskoky vysokých překážek snožmo o výšce 76 cm
- Přeskoky vysokých překážek snožmo o výšce 91 cm
- Dálkařský odraz z osmi-krokového náběhu
- Dálkařský odraz z dvanácti-krokového náběhu

Před měřením každého druhu odrazů byli testovaní seznámeni s tím, jak má vypadat správné provedení. Po seznámení si testovaní provedli pokusy na nečisto například pro vyměření rozběhu. Poté již následovalo samotné testování. Testování probíhalo tak, že atlet byl otestován na daný typ cvičení a poté čekal, až budou na stejný typ cvičení otestováni i ostatní.

## 7.2 Charakteristika výzkumného souboru

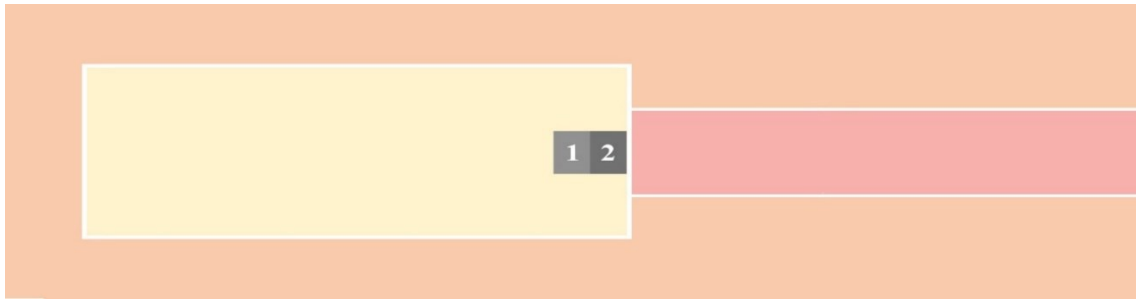
Výzkumný soubor mojí bakalářské práce se skládal z 8 atletů – mužů (stáří  $22,4 \pm 1,2$  roku; hmotnost  $76,3 \pm 4,3$  kg). Všichni vybraní atleti se v současnosti věnují atletice se zaměřením na skokanské disciplíny a mají za sebou dlouhodobou sportovní přípravu. Jejich osobní rekordy přesahují následující hranice. V případě skokanů do dálky 7 m, trojskokanů 14 m a výškařů 200 cm. Tyto hranice by měly zaručit, že vybraní jedinci mají dostatečnou pohybovou zkušenost s jednotlivými typy odrazů.

Všichni účastníci výzkumu byli podrobně seznámeni s nadcházejícími procedurami a podepsali informovaný souhlas. Projekt byl schválen etickou komisí pod jednacím číslem 124/2022.

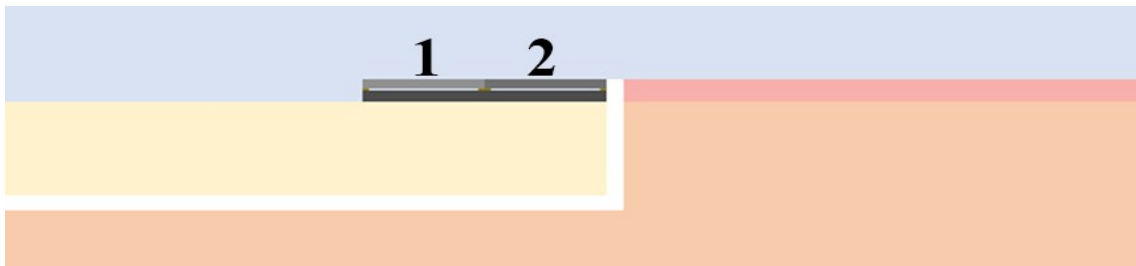
## 7.3 Metodika sběru dat

Časový průběh kontaktní síly mezi podložkou a tělem skokana byl detekován pomocí dvou dynamometrických desek Kistler 9281 EA. Data byla sbírána v programu Kistler Bioware 5.4.8 (Kistler Group, Winterthur, Švýcarsko). Desky o rozměru 40x60 cm byly umístěny příčně za sebou, čímž byla vytvořena odrazová plocha o rozměrech 80x60 cm. Desky byly uloženy na betonové dlažce položené celou plochou v písku ihned za hranou doskočiště viz obrázek č.8 a č.9. Tím bylo docíleno toho, že odrazová plocha byla v rovině s rozběhovou dráhou, aby se zabránilo zkreslení výsledků odrazem z vyvýšeného místa.

Vzorkovací frekvence dynamometrické desky byla nastavena na 1000 Hz. Sledovaná vertikální komponenta síly odpovídala ose z z pohledu testovaného. Za prvotní kontakt (dokrok) byl považován okamžik, kdy hodnota vertikální komponenty reakční síly podložky překročila práh 20 N od klidových hodnot. Za okamžik odrazu byl považován moment, kdy se hodnota vertikální komponenty reakční síly podložky vrátila pod hranici 20 N od klidových hodnot.



**Obrázek č.8 – Půdorys rozběhové dráhy s dynamometrickými deskami označenými číslicemi (vlastní obrázek)**



**Obrázek č.9 – Nárýs rozběhové dráhy s dynamometrickými deskami označenými číslicemi (vlastní obrázek)**

### **Horizontální odrazy vpřed střídavě a po jedné noze**

Testování horizontálních odrazů každého jedince probíhalo v devadesátisekundovém měřeném intervalu. Atleti měli za úkol naběhnout k rozběhové značce, kterou si vyměřili před měřenými pokusy. Od značky byly provedeny dva odrazy na dráze a třetí na dynamometrické desce s proběhem do písku. Každý měl za úkol provést tento úkon 4x. Mezi jednotlivými pokusy se atlet volnou chůzí dostavil zpět na rozběhovou značku, odkud následoval další pokus. Celkem tedy vykonal 12 odrazů v průběhu devadesáti vteřin. Pokud došlo k chybě v podobě netrefení odrazové desky, dostal atlet náhradní pokus. Měření bylo ukončeno buď vypršením časového limitu, nebo před ním ručně po dokončení čtvrtého opakování.

### **Kotníkové odrazy obounož na místě**

Prvním testovaným vertikálním cvikem byly kotníkové odrazy obounož na místě. Měření probíhalo v šedesátisekundovém měřeném intervalu, který byl vždy ukončen ručně po dokončení cvičení. Atlet se postavil na dynamometrickou desku a na povel provedl 15 kotníkových odrazů na místě. V případě, že měl problém s udržení se v prostoru dynamometrické desky, pokus byl přerušen a po pauze byl pokus opakován.

### **Kotníkové odrazy obounož za pohybu přes překážky**

Dále bylo na řadě testování kotníkových odrazů obounož za pohybu přes překážky. To probíhalo taktéž v šedesátisekundovém měřeném intervalu. K testování byly použity tři nízké překážky o výšce 10 cm, které byly umístěny s rozestupy 100 cm následovně. Dvě překážky byly položeny před dynamometrickou deskou a třetí za ní. Atlet provedl vždy tři odrazy, přičemž třetí byl z měřících desek. Poslední dopad byl do písku, odkud se atlet pomalou chůzí vrátil zpět na začátek. Každý provedl tento úkon opět 4x, v případě nepovedeného pokusu byl přidělen pokus náhradní. Měření bylo ukončeno buď vypršením časového limitu, nebo před ním ručně po dokončení čtvrtého opakování.

### **Přeskoky vysokých překážek snožmo o výšce 76/91 cm**

Posledním typem reaktivně silových cvičení, které lze charakterizovat jako vertikální, byly přeskoky vysokých překážek snožmo. K testování jsme použili dvě vysoké překážky, v prvním případě o výšce 76 cm a následně 91 cm. Překážky byly umístěny před a za dynamometrickou deskou s rozstupem 150 cm. Testovaný začal vždy nárokem k první překážce, po kterém následovaly dva přeskoky snožmo, z nichž druhý se odehrával na dynamometrické desce. Dopad za druhou překážkou byl do písku, odkud se testovaný vrátil a opakoval tento cvik celkem 4x. Při nepovedeném pokusu byl udělen pokus náhradní. Měření probíhalo opět v šedesátisekundovém intervalu a obvykle bylo ukončeno předčasně ručně po dokončení čtvrtého opakování.

### **Dálkařský odraz z osmi a dvanácti-krokového náběhu.**

Finálním testovaným typem odrazu byl dálkařský odraz z krátkého a středního rozběhu. Atleti měli za úkol si před ostrým měřením vyměřit délku rozběhu a vyzkoušet, zda jim rozběh vyjde tak, aniž by museli záměrně měnit délku posledních kroků před odrazem. Z důvodu větší fyzické náročnosti prováděli testování pouze tři pokusy od každého druhu, které měli zvládnout v intervalu devadesáti vteřin. Z důvodu nedostatečné délky pískoviště, jelikož odraz byl prováděn až skoro metr za hranou pískoviště, neskákali probandí s doskokem, ale pouze naznačili odraz a proběhli pískem. Z důvodu poměrně velkého odrazového prostoru nebylo nutné mnohokrát řešit chyby v podobě nesprávného trefení dynamometrických desek, ale i přes to byl v pár případech udělen náhradní pokus.

## 7.4 Zpracování dat

Všechna data naměřená pomocí programu Kistler Bioware 5.4.8 (Kistler Group, Winterthur, Švýcarsko). V tomto programu byla vyexportována do textového dokumentu a následně byla vyhodnocena za pomoci programu MATLAB R2022a (The MathWorks, Inc. Natick, Massachusetts, USA), kterým byly vypočítány následující parametry:

- Maximální velikost vertikální síly v jakémkoliv okamžiku opory
  - Za maximální velikost vertikální síly se považuje nejvyšší naměřená hodnota v průběhu odrazu.
- Délka opory
  - Délkou opory je chápán čas, po který měl atlet kontakt s podložkou. Jako počátek opory je brán moment, kdy vertikální komponenta síly překročí hranici 20 N. Čas opory končí v moment, kdy se velikost vertikální komponenty vrátí zpět pod hranici 20 N.
- Čas do nástupu vrcholu velikosti vertikální síly
  - Čas do nástupu maximální síly je časový interval mezi začátkem oporové fáze a momentem nejvyšší hodnoty velikosti vertikální síly.
- Impuls síly
  - Impuls síly byl spočítán pomocí Newtonovy kvadratury a vyjadřuje časový účinek působení síly.
- Hmotnost atleta
  - Hmotnost atleta je rovna střední hodnotě naměřené při stoji v klidu vydělená gravitačním zrychlením  $9.81 \text{ ms}^{-2}$ .

Tyto získané hodnoty byly přeneseny do programu Microsoft Excel 2019, kde byly dopočítány další parametry:

- Změna rychlosti
  - Za změnu rychlosti je označována změna vertikální velikosti rychlosti před a po odrazu zapříčiněná silovým působením atleta. Tato hodnota byla získána za pomoci vzorce:

$$\Delta v = \frac{(F-m.g).t}{m}$$

Kde  $F$  je průměrná velikost síly,  $m$  je hmotnost atleta,  $g$  je gravitační zrychlení a  $t$  je délka opory.

- Relativní velikost impaktu
  - Relativní velikost impaktu udává, kolikanásobku tělesné hmotnosti bylo tělo atleta vystaveno při vrcholu velikosti vertikální síly. Tato hodnota byla získána za pomocí vzorce:

$$\frac{F_{max}}{m.g}$$

Kde  $F_{max}$  je maximální velikost vertikální složky síly,  $m$  je hmotnost atleta a  $g$  je gravitační zrychlení

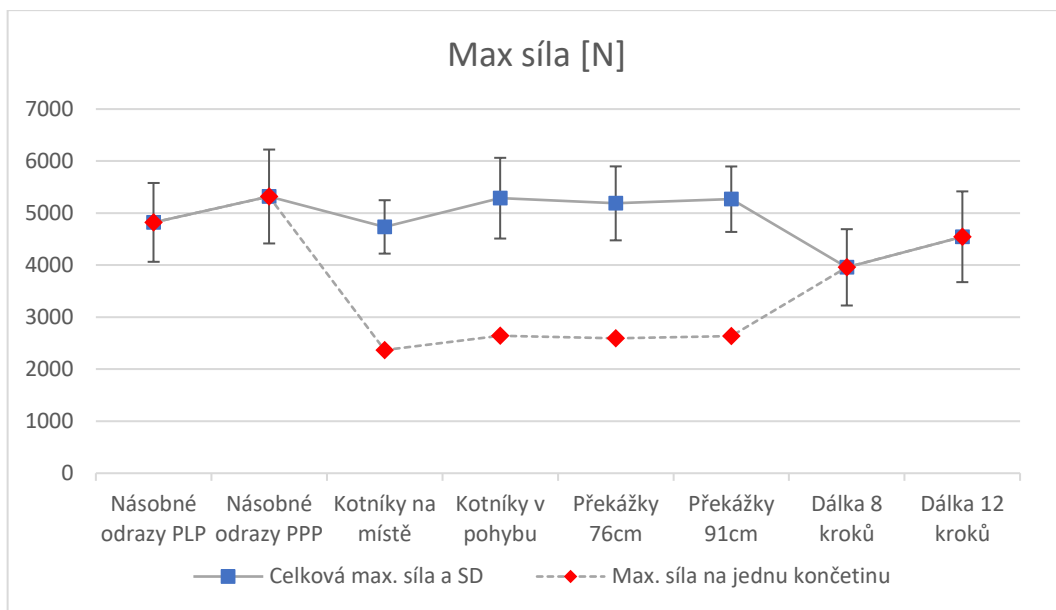
### **Statistická analýza dat**

Pro nalezení odlišností mezi vybranými cvičeními z pohledu biomechanických parametrů jsme všechna naměřená data převedli do programu Microsoft Excel 2019 a pomocí vzorce vypočítali průměr a směrodatnou odchylku všech výsledků.

## 8 Výsledky

Tabulka č.5 – Průměry a směrodatné odchylky (SD) sledovaných parametrů u vybraných typů odrazů

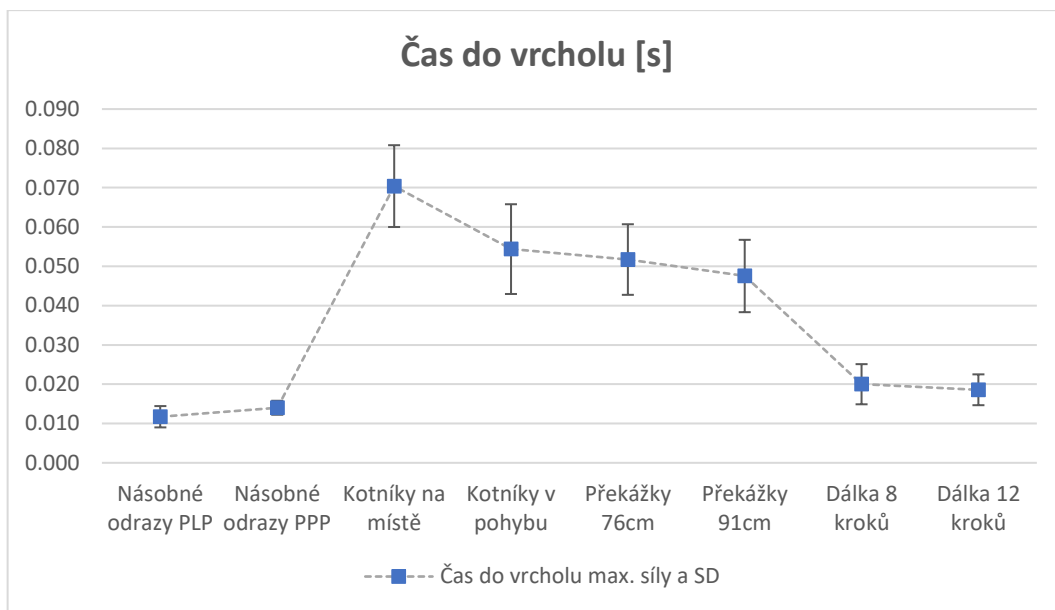
|                    | Max síla [N]<br>Průměr ± SD | Čas do vrcholu [s]<br>Průměr ± SD | Opora [s]<br>Průměr ± SD | Impuls [Ns = kg.m/s]<br>Průměr ± SD | $\Delta v$ [m/s]<br>Průměr ± SD | Relativní velikost impaktu<br>Průměr ± SD |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---|
| Násobné odrazy PLP | 4822 ± 758                  | 0.012 ± 0.003                     | 0.239 ± 0.047            | 424 ± 81                            | 3.33 ± 0.71                     | 6.30 ± 0.85                               |
| Násobné odrazy PPP | 5320 ± 903                  | 0.014 ± 0.002                     | 0.193 ± 0.023            | 408 ± 65                            | 3.32 ± 0.63                     | 6.95 ± 1.04                               |
| Kotníky na místě   | 4735 ± 514                  | 0.070 ± 0.010                     | 0.170 ± 0.015            | 434 ± 52                            | 3.98 ± 0.53                     | 6.28 ± 0.54                               |
| Kotníky v pohybu   | 5287 ± 776                  | 0.054 ± 0.011                     | 0.174 ± 0.017            | 520 ± 49                            | 5.07 ± 0.52                     | 7.01 ± 0.89                               |
| Překážky 76 cm     | 5187 ± 711                  | 0.052 ± 0.009                     | 0.191 ± 0.020            | 565 ± 38                            | 5.49 ± 0.34                     | 6.89 ± 0.88                               |
| Překážky 91 cm     | 5267 ± 629                  | 0.048 ± 0.009                     | 0.200 ± 0.021            | 594 ± 48                            | 5.77 ± 0.30                     | 7.00 ± 0.80                               |
| Dálka 8 kroků      | 3957 ± 734                  | 0.020 ± 0.005                     | 0.157 ± 0.014            | 318 ± 27                            | 2.61 ± 0.31                     | 5.25 ± 0.96                               |
| Dálka 12 kroků     | 4545 ± 872                  | 0.019 ± 0.004                     | 0.149 ± 0.013            | 303 ± 38                            | 2.48 ± 0.38                     | 6.01 ± 0.97                               |



**Graf č.1 – Grafické znázornění velikosti maximální síly u všech druhů reaktivně silových cvičení**

V grafu č.1 můžeme pozorovat modré čtverce udávající maximální hodnoty působící síly v průběhu jednotlivých druhů odrazů. Lze vyčíst, že průměrně nejnižší silová působení byla zaznamenána u dálkařského odrazu z osmi-krokového náběhu, přičemž s prodloužením rozběhu na 12 kroků se velikost maximální síly zvětšila. Naopak nejvyšší průměrné hodnoty bylo dosaženo u horizontálních odrazů vpřed po jedné noze, které předčili sesterské horizontální odrazy střídavé. U cviků prováděných obounož dosahují hodnoty maximální velikosti síly podobných hodnot jako u cviků prováděných jednož. Za povšimnutí stojí fakt, že velikost maximální produkované síly při přeskoku překážek s výškou 91 cm je pouze o 1,5% vyšší než u přeskoků překážek o výšce 76 cm.

Zatímco modré čtverce udávají celkovou sílu, červené znázorňují působící sílu vztaženou na jednu končetinu. U odrazů prováděných jednož tedy nevidíme žádnou změnu, avšak u odrazů obounož je velikost síly působící na jednu nohu poloviční. Z grafu je ihned patrné, že odrazy obounož jsou z hlediska sil působících na dolní končetiny mnohem méně náročné.



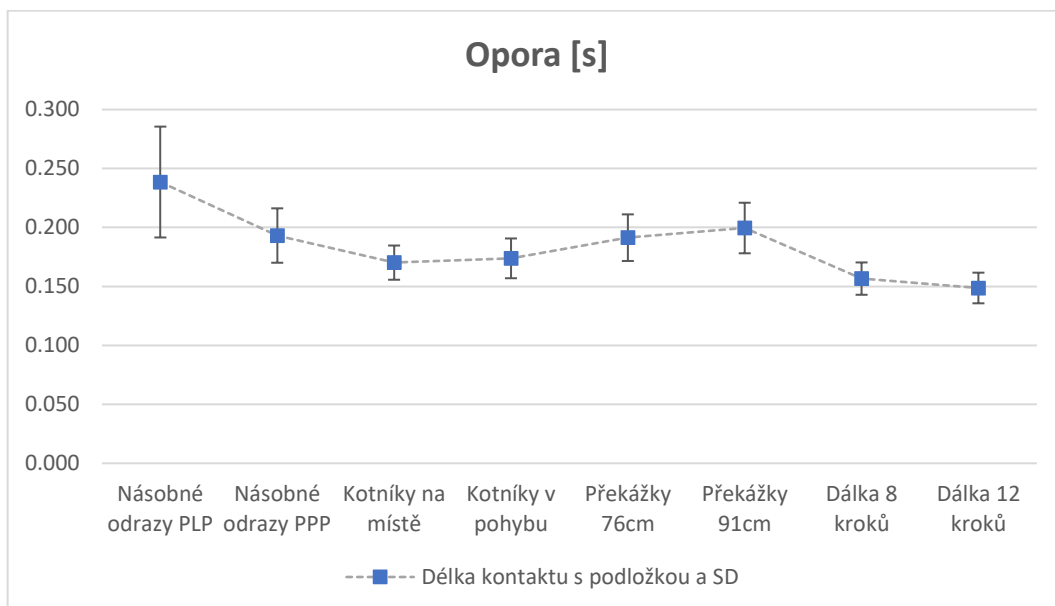
**Graf č.2 – Grafické znázornění délky trvání od došlapu po maximální silové působení u všech druhů reaktivně silových cvičení**

V grafu č.2 můžeme pozorovat délku časového intervalu od dokroku po okamžik nástupu maximální velikosti vertikální síly. Na první pohled lze vidět velký rozdíl mezi cvičeními obounož a jednož. Zatímco u cviků jednož je nástup maximální síly v průměru vždy do dvaceti milisekund. V případě kotníkových odrazů obounož dosahoval až sedmdesáti milisekund, což je velký rozdíl oproti čtyřiapadesáti milisekundám u kotníkových odrazů za pohybu. Nejkratší interval byl zaznamenán při horizontálních odrazech střídavých, kde byl o 2 milisekundy kratší než u horizontálních odrazů po jedné noze. U přeskoků překážek snožmo se interval se zvyšující se překážkou snižoval. U dálkařského odrazu se s prodloužením rozběhu jen nepatrně zkrátil.

Výrazný rozdíl mezi cviky jednož a obounož lze vidět také na grafu č.3, který zobrazuje průběh silových působení v průběhu oporové fáze. Graf červené barvy zastupující odrazy jednož (v tomto případě násobné odrazy po jedné noze) se vyznačuje velkým pasivním impaktem, který nastupuje velmi rychle po dokroku a je následován nižším aktivním vrcholem síly. Oproti tomu modrý graf společný pro odrazy obounož (v tomto případě kotníkový odraz) má pozvolný nástup směrem k maximální velikosti síly, odkud opět pozvolně klesá bez žádného dalšího vrcholu.

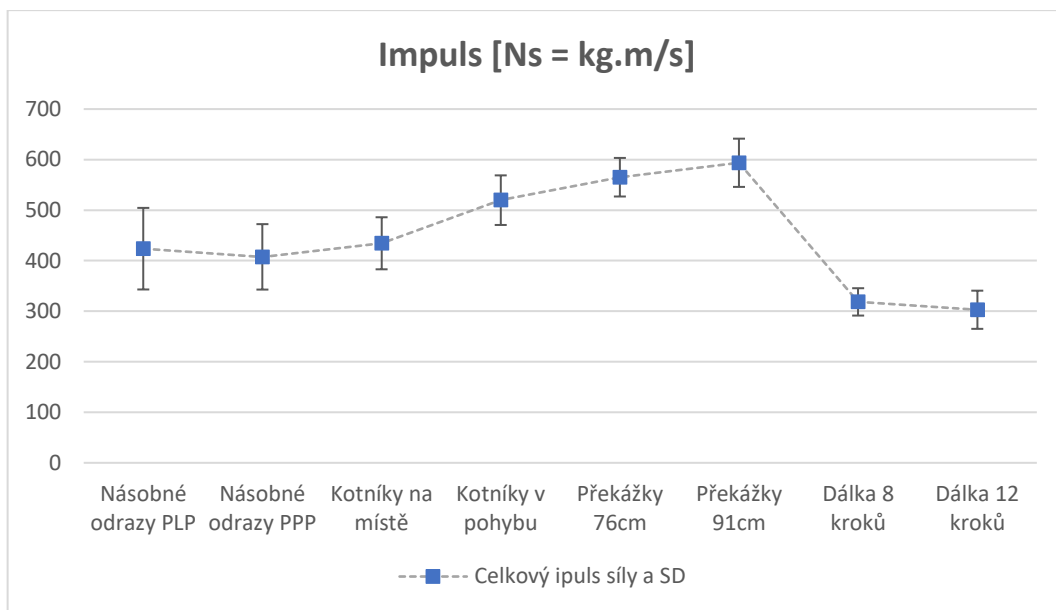


**Graf č.3 – porovnání grafů vertikální složky síly u odrazů jednož a obouž**



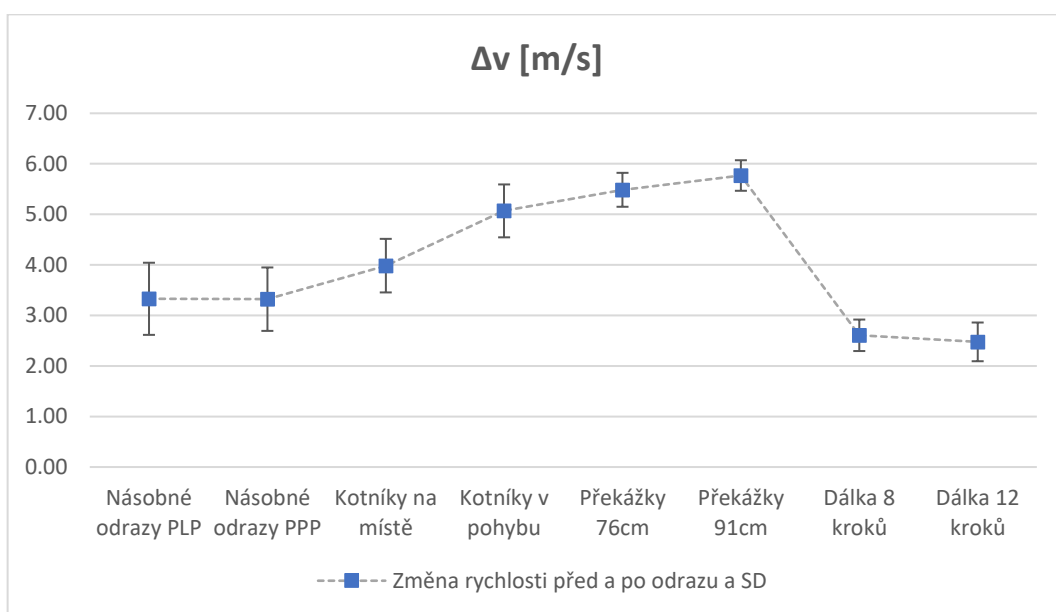
**Graf č.4 – Grafické znázornění délky trvání opory u všech druhů reaktivně silových cvičení**

V grafu 3 lze pozorovat délky oporových fází. Poměrně velký rozdíl v délce oporové fáze se nachází u horizontálních odrazů střídavých, které oproti horizontálním odrazům po jedné noze vykazují v průměru o 46 milisekund delší čas opory. U přeskoků překážek snožmo došlo se zvýšením přeskoku k prodloužení oporové o 9 milisekund. Kotníkové odrazy na místě a za pohybu mezi sebou mají rozdíl v délce opory pouhé 4 milisekundy. U dálkařského odrazu se s delším rozběhem délka oporové fáze snížila a to o 8 milisekund.



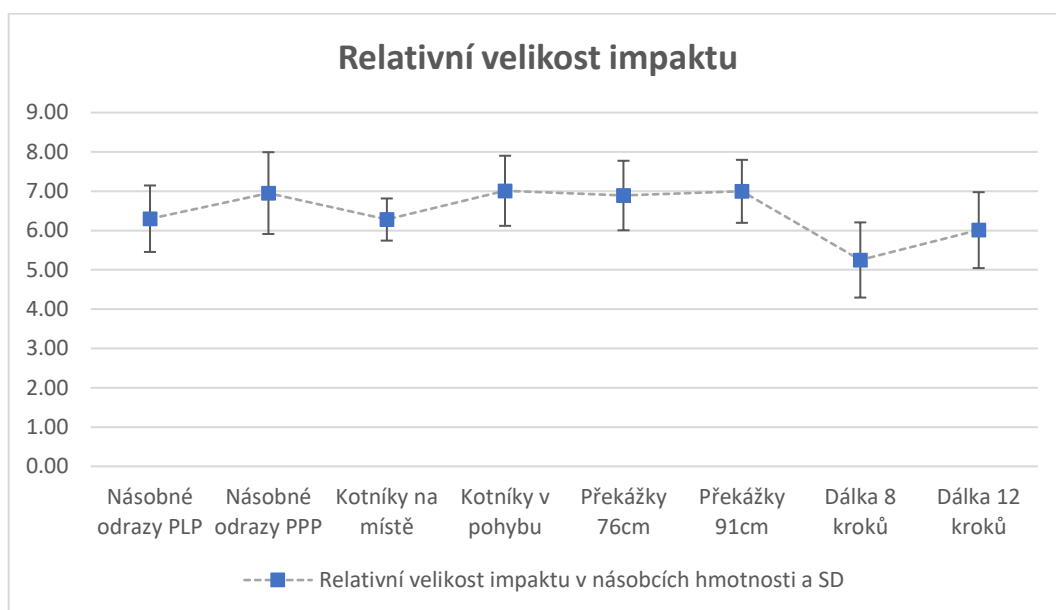
**Graf č.5 – Grafické znázornění velikosti impulsu síly u všech druhů reaktivně silových cvičení**

V grafu č.4 můžeme pozorovat velikosti silového impulsu. Na rozdíl od maximální velikosti silového působení je větší impuls síly pozorován u horizontálních střídavých odrazů než u horizontálních odrazech po jedné noze. Ještě větší rozdíl je vidět mezi kotníkovými odrazy na místě a za pohybu, kde je rozdíl až sedmnácti procent. Co se týče přeskoků překážek, s vyšší výškou přeskočku se zvýšil i celkový impuls síly. Naměřený impuls síly dálkařského odrazu byl vyšší u rozběhu z osmi kroků než u rozběhu z kroků dvanácti.



**Graf č.6 – Grafické znázornění velikosti změny rychlosti u všech druhů reaktivně silových cvičení**

V grafu 5 lze vidět změnu velikosti rychlosti důsledkem odrazu. Největší změnu velikosti rychlosti nalezneme u přeskoků překážek snožmo, kde vyšší výška překážek znamená větší změnu velikosti rychlosti. Na opačné straně spektra je dálkařský odraz, kde je změna rychlosti nejmenší. S prodloužením rozběhu z osmi na dvanáct kroků se změna velikosti rychlosti zmenšila. U kotníkových odrazů lze pozorovat větší změnu velikosti rychlosti v případě variace za pohybu. U horizontálních odrazů je změna velikosti rychlosti u střídavých odrazů a u odrazů po jedné noze takřka stejná.



**Graf č.7 – Grafické znázornění relativní velikosti impaktu u všech druhů reaktivně silových cvičení**

Poslední sledovanou charakteristikou je velikost relativní velikost impaktu. Na grafu 6 lze vidět, že rozdíly napříč cviky jsou poměrně malé. Nejnížší hodnoty vykazují opět dálkařské odrazy. Nižší přetížení je pozorováno při rozběhu z osmi kroků než při rozběhu z dvanácti kroků. U překážek snožmo je rozdíl mezi vyšším a nižším přeskokem jen nepatrný. U kotníkových odrazů je větší přetížení pozorováno u kotníkových odrazů v pohybu. Podobně velký rozdíl je i mezi horizontálními odrazy po jedné noze a odrazy střídavými. Zatímco u odrazů po jedné noze je atlet vystaven v průměru přetížení 6,95násobku své hmotnosti, u střídavých je to v průměru 6,30násobek vlastní hmotnosti.

## 9 Diskuse

Studie analyzující odraz u skoku dalekého (Ghareb, Elshaer & Elgawad, 2016) ukazuje mnohem vyšší hodnoty maximální velikosti vertikální síly vztažené na kilogram hmotnosti. V našem výzkumu jsme dospěli k hodnotám 51 N/Kg u dálkařského odrazu z osmi-krokového rozběhu a 59 N/Kg u dálkařského odrazu z dvanácti-krokového rozběhu. Ghareb, Elshaer a Elgawad (2016) prováděli svůj experiment z dlouhého rozběhu a pozorovali síly o velikosti 82 N/Kg. Na základě těchto měření lze předpokládat, že s vyšší náběhovou rychlostí se zvyšuje i velikost maximální vertikální síly.

V případě impulsu síly je ovšem situace naprosto opačná. Ve stejném výzkumu Ghareb, Elshaer a Elgawad (2016) uvádí hodnoty opět vztažené na kilogram hmotnosti. Jejich pozorovaný impuls síly měl velikost 3,17 N.s/Kg. V našem případě byly silové impulsy na úrovni 4,1 N.s/Kg v případě osmi-krokového náběhu a 3,9 N.s/Kg v případě dvanácti-krokového náběhu. Můžeme tedy pozorovat snižování silového impulsu s přibývajícím délkou rozběhu.

Bridgett a Linthorne (2006) pozorovali změny biomechanických parametrů při zvyšující se náběhové rychlosti. Při pozorování zjistili, že při zvyšující se rychlosti se délka opory výrazně snižuje. Dle jejich měření se délka opory při rychlosti náběhu 5 m/s pohybovala okolo 200 ms, zatímco při náběhové rychlosti 10 m/s klesla až k hranici 130 ms. Stejný trend můžeme pozorovat i u nás, kde jsme se různě dlouhými rozběhy snažili simulovat vyšší a nižší rychlost náběhu. V našem případě trvala průměrná délka opory u osmi-krokového náběhu 157 ms a prodloužením rozběhu na 12 kroků klesla na 149 ms. To je zapříčiněno tím, že těžiště atleta se s vyšší náběhovou rychlostí taktéž pohybuje rychleji. To znamená, že dráhu, kterou vykonává při oporové fázi urazí za kratší čas, což zkrátí dobu opory.

Již zmiňovaná velikost impulsu síly je ovlivněná kromě velikosti působící síly také délkou opory. Ačkoliv maximální velikost vertikální síly se s přibývajícím rychlostí zvětšuje, neznamená to, že průměrná velikost síly se také zvedá. Pravdou je, že průměrná velikost síly byla v našem případě u krátkého a středního náběhu téměř totožná. V případě osmi-krokového náběhu 2025 N a v případě dvanácti-krokového náběhu 2033 N. Z toho důvodu je rozdíl v impulsu síly způsoben délkou opory, která, jak již bylo řečeno, s přibývajícím rychlostí klesá. Při odrazu z dvanácti-krokového rozběhu působí atlet na

podložku v podstatě stejnou průměrnou silou jako při osmi-krokovém rozběhu, avšak po menší časový interval, takže výsledný impuls síly je z toho důvodu menší.

Horizontální odrazy střídavé a po jedné noze jsou cvičení často používaná napříč skokanskými a sprinterskými trenéry. Mají velmi blízko k trojskoku, a proto se nabízí porovnání právě s trojskokem. Perttunen, Kyröläinen, Komi a Heinonen (2000) ve svém výzkumu zkoumali biomechanické parametry jednotlivých částí trojskoku. Už na první pohled je vidět, že maximální velikost vertikální síly je v případě trojskoku až dvakrát větší, než se podařilo změřit nám u násobných odrazů. V případě kroku byla průměrná velikost maximální síly 10624 N, přičemž my jsme naměřili při odrazech po jedné noze 5320 N. U trojskokanského skoku, což je vlastně střídavý odraz, se dočkali výzkumníci hodnoty 9056 N. My jsme u střídavých naměřili hodnotu 4822 N. Můžeme tedy pozorovat podobnost v tom, že při opakovaném odrazu z jedné nohy je maximální působící síla vyšší než při odrazu, kterému předcházela odraz z druhé nohy.

Další podobností s tímto výzkumem je podobné chování délky oporové fáze. V našem experimentu byla v průměru oporová fáze delší při odrazech střídavých oproti odrazům po jedné noze. V řeči čísel to znamená 239 ms pro odrazy střídavé a 193 ms pro odrazy po jedné noze. U trojskoku jsou z důvodu vyšší horizontální rychlosti oporové fáze kratší, ale u kroku čili druhém odrazu z jedné nohy byla délka opory v průměru 157 ms a u skoku, stejně jako u našich střídavých odrazů, vyrostla na 177 ms. V případě trojskoku je však délka opory ovlivněna navíc klesající vertikální rychlostí v průběhu pokusu. Delší trvání oporové fáze u odrazů střídavých je lze vysvětlit tak, že při střídavých odrazech nasazuje atlet odraz více před sebou než u odrazů po jedné noze. To může mít několik důvodů. Prvním z nich může být, že vzhledem k vyšší obtížnosti cviku je snazší nasadit odraz blíže k průsečíku svislé osy těžiště s podložkou. Druhým důvodem je fakt, že při odrazech po jedné noze se musí odrazová noha po odrazu ihned vrátit zpět dopředu a připravit se na další odraz. Kvůli nedostatku času není odraz nasazován tak dopředu jako při odrazech střídavých. Způsob nasazení odrazu pravděpodobně ovlivňuje i větší maximální velikost síly u odrazů po jedné noze. Jelikož při odrazech po jedné noze dokračuje atlet více pod sebe, je tímto způsobem schopen vytvořit větší pasivní impakt než při nasazení odrazu více před sebe.

Předpokládali jsme, že cvičení prováděná snožmo by měla vykazovat relativně nižší zatížení dolních končetin. Naměřené biomechanické parametry byly napříč cviky jednoož a obouož velmi podobné. Je však potřeba brát v potaz, že při cvičení obouož se působící síly ještě rodějí mezi obě končetiny. Navíc se eliminují křížné síly, se kterými se musí atlet vypořádat, takže také přispívají k náročnosti cviku. Síly vztažené na jednu končetinu jsou tedy u cvičení obouož o mnoho menší. Výjimkou v měřených parametrech byl čas nástupu maximální síly, který byl u cvičení souož několikanásobně delší, což také přispívá k menší náročnosti cviku. Všechna pozorovaná cvičení obouož byla podobného charakteru. Při jejich provádění by měl totiž kontakt se zemí probíhat pouze na přední části chodidla. Na rozdíl od toho při pozorovaných cvičení jednoož by měl být kontakt se zemí celou plochou chodidla. Kvůli tomu na grafu velikosti síly u cvičení souož nelze rozeznat pasivní impakt a aktivní odraz, protože pasivní impakt je plynule pohlcen elastickými komponenty lýtku a ihned je využit k aktivnímu odrazu.

Zajímavým zjištěním bylo, že při překonávání vysokých překážek snožmo nedošlo k výraznému navýšení maximální odrazové síly při zvýšení výšky překážek, nýbrž došlo k prodloužení délky oporové fáze, což zapříčinilo zvýšení impulsu síly. Průměrná velikost vertikální síly v průběhu oporové fáze je téměř totožná. U překážek vysokých 76 cm je to 2958 N a u překážek o výšce 91 cm je to 2970 N. Toto chování lze vysvětlit následujícím způsobem. Při zvýšení výšky překážek nedošlo k většímu využití svalů lýtek, které by zajistily vyšší vertikální výskok. Vzhledem k prodloužení oporové fáze předpokládám, že došlo k větší flexi v kolenou a vyššímu výskoku tak přispěly hlavně stehenní svaly. Bylo by zajímavé sledovat rozdíly v kinematice pohybu s přibývající výškou překonávaných překážek.

## 10 Závěr

Pozorované rozdíly mezi přeskoky vysokých překážek mohou být jistým přínosem. Dospěli jsme k závěru, že při zvyšování jejich výšky se maximální produkce síly téměř nezměnila a větší změna vertikální rychlosti a větší silový impuls byly implikovány delším časem opory. Jako alternativa k přeskokům vysokých překážek se tak nabízí kotníkové odrazy za pohybu přes překážky. Velikost maximální síly při kotníkových odrazech za pohybu byla dokonce o 20 N vyšší než u přeskoků 91 cm vysokých překážek a zároveň u nich byla pozorována kratší doba opory o celých 26 milisekund.

Nepřekvapujícím zjištěním bylo, že cvičení obounož jsou z pohledu působících sil na jednu končetinu takřka o polovinu méně náročná. Co už ale jasné nebylo, je chování velikosti vertikální síly v průběhu odrazů obounož. Na grafu síly nelze rozlišit pasivní impakt a aktivní odraz jako v případě odrazů jednož. Cvičení snožmo mají velice pozvolný nástup síly, což jejich náročnost na tělo atleta snižuje ještě více.

Dálkařský odraz z krátkého a středního rozběhu vykazoval ve většině sledovaných parametrů velice nízké hodnoty. Maximální vertikální síla byla u dálkařského odrazu nižší než u všech ostatních druhů odrazů. To bylo způsobeno nízkou náběhovou rychlostí, kterou atleti při osmi a dvanácti-krokovém náběhu byli schopni nabrat. Z toho důvodu lze doporučit v tréninku využívat skoky z krátkého a středního rozběhu z důvodu relativně nižšího náporu na tělo skokana. Důležité je brát ale také v potaz jiné časování odrazu, které je třeba rozbourat i skoky z dlouhého rozběhu.

Jako nejvíce náročné cvičení ze všech pozorovaných lze označit horizontální odrazy po jedné noze. Při tomto typu cvičení jsme zaznamenali nejvyšší hodnoty působících sil. Navíc čas od dokroku do vrcholu síly byl druhý nejkratší, což znamená, že atlet se musí vypořádat se silou až sedminásobku jeho hmotnosti, která má velmi rychlý nástup. Z tohoto důvodu je dobré používat tento typ cvičení jen s kondičně a technicky dobře připravenými atlety.

## 11 Seznam použité literatury

1. AMBLER, Z. *Základy neurologie*. 6. přeprac. a dopl. vyd. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-726-2433-4.
2. BOMPA, Tudor O. a Carlo A. BUZZICHELLI. *Periodization training for sports*. Third Edition. Champaign: Human Kinetics, 2015. ISBN 978-1-4504-6943-2.
3. BRIDGETT, LA. a LINTHORNE NP. *Changes in long jump take-off technique with increasing run-up speed*. J Sports Sci. 2006 Aug;24(8):889-97. doi: 10.1080/02640410500298040. PMID: 16815784.
4. CACEK, J., LAJKEB, P. a MICHÁLEK, J. *Trénink síly v atletice (metoda plyometrická)*. Atletika. Praha 4: Česká atletika s.r.o., 2007, roč. 59, č. 3, s. 17-20. ISSN 0323-1364.
5. CACEK, J. *Trénink explozivní síly v atletice*. Atletika. Praha: Česká atletika s.r.o., 2015, roč. 67, č. 1, s. 52-53. ISSN 0323-1364.
6. ČIHÁK, R., a GRIM, M. *Anatomie I*. 2.vyd. Praha: Grada, 2001. ISBN 80-716-99705.
7. DINTIMAN, G. *Sports speed*. USA: United Graphics, 1998, ISBN: 0-88011- 607-2
8. EARLE, W. Roger a BAECHLE, R. Thomas. *NSCA's Essentials of Personal Training*, Edition: 1st. Champaign: Human Kinetics, 2004. ISBN 9780736000154.
9. GHAREB, E, ELSHAER O. a ELGAWAD M. *Relationship between preparation to take off and ground reaction force characteristics in male long jumpers*. International Journal of Sports Science and Arts. 2016. DOI:10.21608/eijssa.2016.72073.
10. HANSEN, D. a KENNELLY, S. *Plyometric Anatomy*. Champaign: Human Kinetics, 2017. ISBN 9781492533498.
11. CHU, Donald A. a G. Curt MEYER. *Plyometrics*. USA: Human kinetics, 2013. ISBN 978-0-7360-7960-0.
12. JARMEY, C. *The concise book of muscles*. Chichester: Lotus Publishing, 2015. ISBN: 9781905367627.
13. JEBAVÝ, R. a ZUMR, T. *Posilování s balančními pomůckami*. 1.vyd. Praha: Grada, 2010. ISBN: 978-80-247-5130-6.

14. LATASH, Mark L. *Neurophysiological basis of movement*. 2nd ed. Champaign: Human Kinetics, 2008. ISBN 978-0-7360-6367-8.
15. LEHNERT, M. *Trénink kondice ve sportu*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 2010. ISBN 9788024426143.
16. MCNEELY, E. a SANDER, D. *Power Plyometrics - The complete program*, 2 vyd. UK: Meyer and Meyer Sport, 2009. ISBN: 9781841269269.
17. PERIČ, T., a DOVALIL, J. *Sportovní trénink*. 1. vyd. Praha: GradaPublishing, 2010. ISBN: 978-80-247-2118-7.
18. PERTTUNEN J., KYRÖLÄINEN H., KOMI P., HEINONEN A. *Biomechanical loading in the triple jump*. J Sports Sci. 2000 May;18(5):363-70. doi: 10.1080/026404100402421. PMID: 10855682.
19. PYE, Jonathan A. *Plyometric training for dynamic performance*. P2P Publishing Ltd, 2008. ISBN: 978-1-905096-45-9.
20. RADCLIFFE, James C. a FARENTINOS, Robert C. *High-Powered Plyometrics*, 2. vyd. USA: Human Kinetics, 2015. ISBN: 978-1-4504-9813-5.
21. ZATSIORSKY, Vladimír M. a KRAEMER, William J. *Science and practice of strenght training*, 3.vyd. USA: Human kinetics, 2021. ISBN: 978-1-4925-9200-6.
22. YOUNG, W. 1995. Laboratory strength assessment of athletes: New Studies in
23. Athletics. New studies in athletics [online]., roč. 10, č. 1 s. 89-96 [cit. 2022-06-05]. ISSN 0961-933x. Dostupné z: <https://www.worldathletics.org/download/downloadnsa?filename=9daf7a4d-c52b-4956-8453-caa4b378606c.pdf&urlslug=laboratory-strength-assessment-of-athletes>

## **Seznam obrázků**

Obrázek č.1 – Grafické zobrazení zvýšení frekvence akčních potenciálů při prodloužení délky svalu v čase u primárních zakončení svalových větének vlevo a sekundárních vpravo

Obrázek č.2 - Grafické zobrazení zvýšení frekvence akčních potenciálů šlachových tělísek při zvýšení působící síly v čase

Obrázek č.3 – Znázornění SSC lýtkového svalu při běhu

Obrázek č.4 – Znázornění provedení střídavých horizontálních odrazů

Obrázek č.5 – Znázornění provedení kotníkových odrazů obounož

Obrázek č.6 – Znázornění provedení přeskoků vysokých překážek snožmo

Obrázek č.7 – Znázornění provedení přeskoků nízkých překážek snožmo

Obrázek č.8 – Půdorys rozběhové dráhy s dynamometrickými deskami označenými číslicemi

Obrázek č.9 – Narys rozběhové dráhy s dynamometrickými deskami označenými číslicemi

## **Seznam tabulek**

Tabulka č.1 – Počet kontaktů se zemí v TJ dle McNeelyho a Sandera (2009) v závislosti na zdatnosti atleta a intenzity prováděných cviků

Tabulka č.2 – Doporučená délka odpočinku mezi opakováními a sériemi plyometrických cvičení na základě délky času pod napětím

Tabulka č.3 – Plyometrický trénink (Cacek, 2015)

Tabulka č.4 – Rozdělení plyometrických cvičení dle intenzity

Tabulka č.5 – Průměrné výsledky a směrodatné odchylky sledovaných parametrů u vybraných typů odrazů

## **Seznam grafů**

Graf č.1 – Grafické znázornění velikosti maximální síly u všech druhů reaktivně silových cvičení

Graf č.2 – Grafické znázornění délky trvání od došlapu po maximální silové působení u všech druhů reaktivně silových cvičení

Graf č.3 – porovnání grafů vertikální složky síly u odrazů jednož a obouž

Graf č.4 – Grafické znázornění délky trvání opory u všech druhů reaktivně silových cvičení

Graf č.5 – Grafické znázornění velikosti impulsu síly u všech druhů reaktivně silových cvičení

Graf č.6 – Grafické znázornění velikosti změny rychlosti u všech druhů reaktivně silových cvičení

Graf č.7 – Grafické znázornění relativní velikosti impaktu u všech druhů reaktivně silových cvičení

## **Seznam příloh**

Příloha č.1 – Souhlas Etické komise UK FTVS

Příloha č. 2 – Vzor informovaného souhlasu schválený Etickou komisí FTVS UK

## 12 Přílohy

UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešleslavín

### Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, kvalifikační či seminární práce zahrnující lidské účastníky

**Název projektu:** Dynamické zatížení při reaktivně silovém cvičení

**Forma projektu:** výzkumná práce - bakalářská práce

**Období realizace:** květen 2022 – červen 2022

Výzkum bude realizován v souladu s platnými epidemiologickými opatřeními Ministerstva zdravotnictví ČR.

**Předkladatel:** Dan Kováč

**Hlavní řešitel:** Dan Kováč

**Místo výzkumu (pracoviště):** atletický ovál FTVS

**Vedoucí práce (v případě studentské práce):** Mgr. Vladimír Hojka, Ph.D.

**Popis projektu:** Projekt se zabývá měřením impaktových sil při silově reaktivních cvičeních. Jedná se o experiment. Sběr dat bude probíhat pomocí laboratorních testů. Účastníci provedou 7 různých silově reaktivních cvičení (Střídavé odrazy vpřed levá pravá, Střídavé odrazy vpřed po jedné noze, Kotníkové odrazy obounož na místě bez odporu, Kotníkové odrazy jednož na místě bez odporu, Přeskok vysoké překážky snožmo o výšce 76 cm a Přeskok nízké překážky snožmo o výšce 20 cm, skok daleký z krátkého rozběhu), přičemž měřený odraz je proveden na zátěžové desce Kistler.

**Charakteristika účastníků výzkumu:** Předpokládaný počet účastníků 6-10 ve věku 20-30 let s platnou sportovní prohlídkou bez omezení způsobilosti k vybraným sportovním aktivitám ne starší než jeden kalendářní rok. Do projektu nemůže být zařazen proband, který bude mít zranění, akutní zejména infekční onemocnění nebo proband s jakýmkoliv onemocněním či omezením pohybového aparátu a v rekonvalescenci po onemocnění či úrazu.

Účastníci jsou aktivně sportující atleti specializovaní na skokanské disciplíny. Probandi budou vybráni z řad atletů specializujících se ve skokanských disciplínách na alespoň republikové úrovni.

Výběr probandů bude konzultován s vedoucím práce. Probandi budou osloveni jednotlivě na sociálních sítích.

**Zajištění bezpečnosti:** Jedná se o neinvazivní metodu výzkumu. Při výzkumu bude přítomen vedoucí práce Mgr. Vladimír Hojka, Ph.D. Výzkumu bude předcházet aktivní rozcvičení v prostorách atletického oválu na FTVS.

Budou zajištěny adekvátní podmínky prostředí a adekvátní příprava účastníků k provádění aktivit v rámci daného výzkumu. Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžně očekávaná rizika u aktivit a testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu. Bezpečnost bude zajištěna standardním způsobem.

**Etické aspekty výzkumu:** vulnerabilní skupiny nejsou předmětem zkoumání

**Potenciální střet zájmů:** Výzkum není prováděn pro žádnou instituci či organizaci. Nejsem v pracovně právním (ani rodinném) vztahu k žádnému účastníkovi výzkumu. Neexistuje žádná skutečnost, která by mohla ovlivnit objektivitu výzkumu. Nemám soukromý zájem na výsledku výzkumu a ani výzkum nevede k osobnímu prospěchu. Vedoucí práce bude dohlížet nad korektností a nestranností posuzování výsledků výzkumu mou osobou. Neexistuje žádná skutečnost, která by mohla ohrozit integritu a důvěryhodnost výzkumu.

**Ochrana osobních dat:** Data budou shromažďována a zpracovávána v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Budou získávány následující osobní údaje: jméno, příjmení, váha, výška, věk, data získaná výše uvedenými metodami - které budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači, přístup k nim bude mít řešitel a zadávající práce. Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby – budu dbát na to, aby jednotliví účastníci nebyli rozpoznatelní v textu práce. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou do 1 dne po testování anonymizována. Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v bakalářské práci, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.

**Požizování fotografií/vidео/аudio nahrávek účastníků:** Během výzkumu nebudou pořizovány žádné fotografie, audionahrávky ani videozáznamy.

V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita. **Text informovaného souhlasu (IS):** příložen

Povinností všech účastníků výzkumu na straně řešitele je chránit život, zdraví, důstojnost, integritu, právo na sebeurčení, soukromí a osobní data zkoumaných subjektů, a podniknout k tomu veškerá preventivní opatření.

UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU  
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

Odpovědnost za ochranu zkoumaných subjektů leží vždy na účastnících výzkumu na straně řešitele, nikdy na zkoumaných, byť dali svůj souhlas k účasti na výzkumu. Všichni účastníci výzkumu na straně řešitele musí brát v potaz etické, právní a regulační normy a standardy výzkumu na lidských subjektech, které platí v České republice, stejně jako ty, jež platí mezinárodně. Potvrzují, že tento popis projektu odpovídá návrhu realizace projektu a že při jakékoli změně projektu, zejména použitých metod, zašlu Etické komisi UK FTVS revidovanou žádost.

V Praze dne: 24. 5. 2022

Podpis předkladatele: *J. Svoboda*

Datum a podpis odpovědného pracovníka z místa výzkumu:

### Vyjádření Etické komise UK FTVS

Složení komise: **Předsedkyně:** doc. PhDr. Irena Parry Martínková, Ph.D.

**Členové:** prof. MUDr. Jan Heller, CSc.

prof. PhDr. Pavel Slepíčka, DrSc.

PhDr. Pavel Hráský, Ph.D.

Mgr. Eva Prokešová, Ph.D.

Mgr. Tomáš Ruda, Ph.D.

MUDr. Simona Majorová

Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem: ..... *124/2022* .....

dne: ..... *24. 5. 2022* .....

Etická komise UK FTVS zhodnotila předložený projekt a **neshledala rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnici pro provádění výzkumu zahrnujícího lidské účastníky.

**Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu Etické komise UK FTVS.**

UNIVERZITA KARLOVA  
Fakulta tělesné výchovy a sportu  
Josef Martího 31, 162 52, Praha 6  
- 20 -

*MP*  
.....  
podpis předsedkyně EK UK FTVS

## INFORMOVANÝ SOUHLAS k žádosti 124/2022

Vážený pane,

v souladu se Všeobecnou deklarací lidských práv, nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů a dalšími obecně závaznými právními předpisy (*jakož jsou zejména Helsinská deklarace, přijatá 18. Světovým zdravotnickým shromážděním v roce 1964 ve znění pozdějších změn (Fortaleza, Brazílie, 2013); Zákon o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zejména ustanovení § 28 odst. 1 zákona č. 372/2011 Sb.) a Úmluva o lidských právech a biomedicíně č. 96/2001, jsou-li aplikovatelné*), Vás žádám o souhlas s ve výzkumném projektu na UK FTVS v rámci *bakalářské práce* s názvem *Dynamické zatížení při reaktivně silovém cvičení prováděné na atletickém ovále na Fakultě tělesné výchovy a sportu.*

**Období realizace:** květen 2022 – červen 2022

Výzkum bude realizován v souladu s platnými epidemiologickými opatřeními Ministerstva zdravotnictví ČR.

Cílem výzkumného projektu je změřit velikosti impaktových sil při různých cvičeních reaktivně silového charakteru.

Budete se účastnit laboratorního experimentu, ve kterém budete provádět několik typů odrazů, u kterých se bude měřit síla, kterou působíte na podložku.

Provedete 7 různých silově reaktivních cvičení (Střídavé odrazy vpřed levá pravá, Střídavé odrazy vpřed po jedné noze, Kotníkové odrazy obounož na místě bez odporu, Kotníkové odrazy jednoož na místě bez odporu, Přeskok vysoké překážky snožmo o výšce 76 cm a Přeskok nízké překážky snožmo o výšce 20 cm, skok daleký z krátkého rozběhu), přičemž měřený odraz je proveden na zátěžové desce Kistler. Měření bude probíhat jednorázově v rámci jednoho dne. Po rozcvičení budete instruován, jaký typ cvičení budete provádět, bude vám předvedeno jeho provedení a spolu s tím vám bude doporučena vzdálenost rozběhu u cvičení horizontálních a místo zahájení vertikálních. Od každého druhu cvičení provedete jeden zkušební pokus a dva měřené, případně třetí v případě odrazu mimo měřící zařízení.

Časová náročnost projektu: Jednorázové měření trvajících 2 hodiny.

Jedná se o neinvazivní metodu výzkumu. Při výzkumu bude přítomen vedoucí práce Mgr. Vladimír Hojka, Ph.D. Budou zajištěné adekvátní podmínky prostředí a adekvátní příprava účastníků k provádění aktivit v rámci daného výzkumu. Výzkumu bude předcházet aktivní rozcvičení v prostorách atletické haly. Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžně očekávaná rizika u aktivit a testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu. Bezpečnost bude zajištěna standardním způsobem.

Do projektu nemůžete být zařazen, pokud budete mít zranění, akutní zejména infekční onemocnění nebo s jakýmkoliv onemocněním či omezením pohybového aparátu a v rekonvalescenci po onemocnění či úrazu.

Vaše účast v projektu je dobrovolná a nebude finančně ohodnocená.

Přínosem pro Vás může být zjištění zdravotních rizik na základě Vašich biomechanických parametrů, které obdržíte hned po měření. Poté to nebude možné, protože Vaše data budou anonymizována – do 1 dne po měření. Díky tomuto zjištění můžete zlepšit způsob Vašeho tréninku.

S celkovými výsledky a závěry výzkumného projektu se můžete seznámit na emailové adrese [dankovac30@gmail.com](mailto:dankovac30@gmail.com)

Data budou shromažďována a zpracovávána v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Budou získávány následující osobní údaje: jméno, příjmení, váha, výška, věk, data získaná výše uvedenými metodami – které budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači, přístup k nim bude mít řešitel a zadávající práce. Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby – budu dbát na to, aby jednotliví účastníci nebyli rozpoznatelní v textu práce. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou do 1 dne po testování anonymizována. Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v bakalářské práci, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.

V průběhu výzkumu nebudou pořizovány fotografie, nahrávky ani videa.

V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

Jméno a příjmení předkladatele a hlavního řešitele projektu: Dan Kováč

Jméno a příjmení osoby, která provedla poučení: Dan Kováč

Podpis: .....

Prohlašuji a svým níže uvedeným vlastnoručním podpisem potvrzuji, že dobrovolně souhlasím s účastí ve výše uvedeném projektu a že jsem měl(a) možnost si řádně a v dostatečném čase zvážit všechny relevantní informace o výzkumu, zeptat se na vše podstatné týkající se účasti ve výzkumu a že jsem dostal(a) jasné a srozumitelné odpovědi na své dotazy. **Potvrzuji, že mám platnou zdravotní prohlídku bez omezení způsobilosti k vybraným sportovním aktivitám.** Byl(a) jsem poučen(a) o právu odmítnout účast ve výzkumném projektu nebo svůj souhlas kdykoli odvolat bez represí, a to písemně Etické komisi UK FTVS, která bude následně informovat předkladatele projektu. Dále potvrzuji, že mi byl předán jeden originál vyhotovení tohoto informovaného souhlasu.

Místo, datum .....

Jméno a příjmení účastníka ..... Podpis: .....

**Příloha č. 2 – Vzor informovaného souhlasu schválený Etickou komisí FTVS UK**