

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

**Fenomén post-aktivační potenciace (PAP)  
(review a experimentální ověření)**

Bakalářská práce

Vedoucí diplomové práce:

**Mgr. Vladimír Hojka, Ph.D.**

Vypracoval:

**MUDr. Jan Horák**

Plzeň, leden 2017

Prohlašuji, že jsem závěrečnou (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 .....

MUDr. Jan Horák

### Evidenční list

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

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

---

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval školiteli Mgr. Vladimíru Hojkovi, Ph.D. za odborné vedení a podporu při tvorbě této bakalářské práce. Dále pak také za pomoc s organizací experimentální části práce a za pomoc s analýzou získaných dat.

## **Abstrakt**

**Název:** Fenomén post-aktivační potenciace (PAP) – review a experimentální ověření

**Cíle:** Vytvoření systematického přehledu aktuálně dostupné literatury týkající se dané problematiky s využitím především zahraniční literatury. Dále pak vypracování metodiky určené k měření efektu PAP v průběhu standardizované metody podpěrovýskok s volnými pažemi s využitím silových desek. Experimentální ověření PAP na malé skupině dobrovolných sportovců.

**Metody:** Přehledová část byla vypracována na základě analýzy literatury v rámci databázových systémů dostupných z elektronického systému Univerzity Karlovy. Na základě této analýzy byla vypracována metodika zahrnující měření PAP prostřednictvím silových (Kistler) desek a aktivaci zmíněného mechanismu prostřednictvím sérií hlubokých dřepů s odpovídající zátěží. Sledovanými parametry byly maximální síla a gradient síly. Tato metodika byla následně aplikována na malé skupině dobrovolných sportovců.

**Výsledky:** Výsledky experimentální části práce ukázaly signifikantní změny ve sledovaných parametrech, které jsou ve shodě s aktuálně dostupnou literaturou.

**Klíčová slova:** post-aktivační potenciace, maximální síla, gradient síly, silové desky

## **Abstract**

**Title:** Post-activation potentiation (PAP) phenomenon – review and experimental verification

**Objectives:** Firstly, to compile the systematic review of up-to-date literature. Secondly, to develop method using force platform that will be applicable for PAP measurement during the counter-movement jump. Thirdly, to verify PAP by using the developed method in small group of volunteers.

**Methods:** Review part of the thesis was compiled according to analysis of up-to-date literature accessible from Charles University electronic system. The data from the analysis were used to develop method for measurement of PAP by using the force platform (Kistler) and activation of PAP phenomenon by series of squats with specific weight. The peak force and rate of force development were the monitored parameters. This method was applied on a group of volunteers.

**Results:** Results of experimental part of the thesis showed significant changes in monitored parameters and this change is consistent with current literature.

**Keywords:** post-activation potentiation, peak force, rate of force development, force platform

# Obsah

1. Úvod .....	9
2. Teoretická východiska.....	10
2.1. Vymezení pojmů .....	10
2.2. Morfologie a fyziologie kosterního svalu a nervosvalové ploténky .....	10
2.3. Fyziologický podklad PAP .....	13
2.4. Faktory ovlivňující PAP .....	16
2.5. PAP ve sportu.....	19
3. Cíle a úkoly práce .....	23
3.1. Cíle práce .....	23
3.2. Výzkumné otázky.....	23
4. Metodika práce .....	24
4.1. Review aktuálně dostupné literatury .....	24
4.2. Etické aspekty výzkumu.....	24
4.3. Charakteristika probandů .....	24
4.4. Měření dynamických parametrů fenoménu PAP .....	25
4.5. Zpracování dat, statistická analýza a prezentace výsledků .....	26
5. Výsledky .....	28
6.1. Shrnutí analýzy dostupné literatury, identifikace konfliktních bodů a nedostatečně průkazných dat .....	32
6.2. Experimentální ověření PAP s využitím silových desek.....	33
7. Závěr .....	36
8. Seznam literatury .....	37

## Seznam užitých zkratek

<b>1RM</b>	maximum pro 1 opakování ( <i>1 repetition maximum</i> )
<b>ANOVA</b>	variantní analýza (ANalysis Of VAriance)
<b>ATP</b>	adenosintrifosfát
<b>EMG</b>	elektromyografie
<b>IQR</b>	mezikvartilové rozpětí
<b>MLC</b>	lehké řetězce myozinu ( <i>myosine light chains</i> )
<b>MLCK</b>	kináza pro lehký řetězec myozinu ( <i>myosine light chain kinase</i> )
<b>PAF</b>	post-aktivační facilitace
<b>PAP</b>	post-aktivační potenciace
<b>PTF</b>	post-tetanická facilitace
<b>PTP</b>	post-tetanická potenciace
<b>RFD</b>	gradient síly ( <i>rate of force developement</i> )
<b>RPF</b>	maximální síla vztažená na hmotnost ( <i>relative peak force</i> )
<b>SD</b>	směrodatná odchylka
<b>TTP</b>	čas k dosažení maxima ( <i>time to peak</i> )



# 1. Úvod

Příběh kanadského sprintera Bena Johnsona je notoricky známý snad všem, kteří se pohybují ve světě atletiky, jako příběh atleta, který během chvíle, po vítězství na olympijských hrách v Soulu (1988), padl z úplného vrcholu až na propadliště atletických dějin díky nálezů zakázané látky - stanozolu. Johnson se tímto jednáním zařadil mezi dopingové hříšníky a sportovnímu světu přispěl iniciací dopingových kontrol sportovců i v období mimo závody, což do té doby nebylo zvyklostí. Mnohem méně známý je však jeho další počín. Díky jeho specifické předstartovní přípravě, kterou využívali Johnson a jeho trenér Charlie Francis v Soulu, byly otevřeny dveře novému směru výzkumu na poli fyziologie svalového aparátu v zátěži. Johnson absolvoval 10 minut před finálovým závodem na 100m dřep s činkou v rozsahu 3 opakování s váhou asi 270 kg (600 liber) s cílem potencovat tak následný sprinterský výkon. Tato snaha vycházela z dřívějších pozorování jednak německého fyziologa Smidtbleichera, který pozoroval vyšší výkonost po předchozí maximální svalové kontrakci v rámci silového tréninku německých sportovců a jednak z práce Verkoshanského, který pravděpodobně jako první prezentoval odbornému světu fenomén post-aktivační potenciace (PAP, z angl. *post-activation potentiation*) v roce 1986 v Moskevském Institutu Sportu. Během následujících let se tento fenomén začal objevovat v odborné sportovní literatuře mnohem častěji – např. již zmíněný Smidtbleicher a jeho tým popsali využití PAP v předstartovní přípravě německého bobového týmu, který v roce 1995 vyhrál Mistrovství světa.

Navzdory extenzivnímu výzkumu na tomto poli a přes nepopiratelný pokrok, zůstává tento fenomén stále do jisté míry neobjasněn zejména z hlediska fyziologie a možnosti jeho využití ve sportovních odvětvích. K aktuálnímu datu je publikováno (dle databázových systémů SportDiscus a MEDLINE) více než 2700 publikací. Přes toto číslo v současnosti prakticky neexistuje konsenzus mezi jednotlivými autory, standardizace výzkumných protokolů ani extrapolace výsledků do praktické úrovně sportu.

## 2. Teoretická východiska

### 2.1. Vymezení pojmů

Fenomén post-aktivační potenciace (z angl. *post-activation potentiation*, PAP) je definován jako akutně a dočasně zvýšená síla kontrakce svalu na základě jeho předchozí volní aktivace (Verkhoshansky, 1973; Sale, 2002). V literatuře se lze setkat i s pojmem post-aktivační facilitace (PAF), která má význam stejný (Verkhosansky, 1973; Tubman, 1996). Paralelně s PAP lze nalézt i pojem post-tetanická aktivace/facilitace (PTA/PTF), který vyjadřuje akutně, dočasně zvýšenou sílu kontrakce na základě jeho mimovolní aktivace (např. po předchozí elektrické stimulaci) (Tubman, 1996). Pojem post-tetanická facilitace však přísluší spíše do oblasti fyziologie centrálního nervového systému (Zucker, 2002). Významy pojmů post-aktivační potenciace a post-tetanická aktivace se v dostupných zdrojích překrývají. Pro potřeby této práce, s ohledem na literaturu, bude užíván pojem post-aktivační potenciace (PAP).

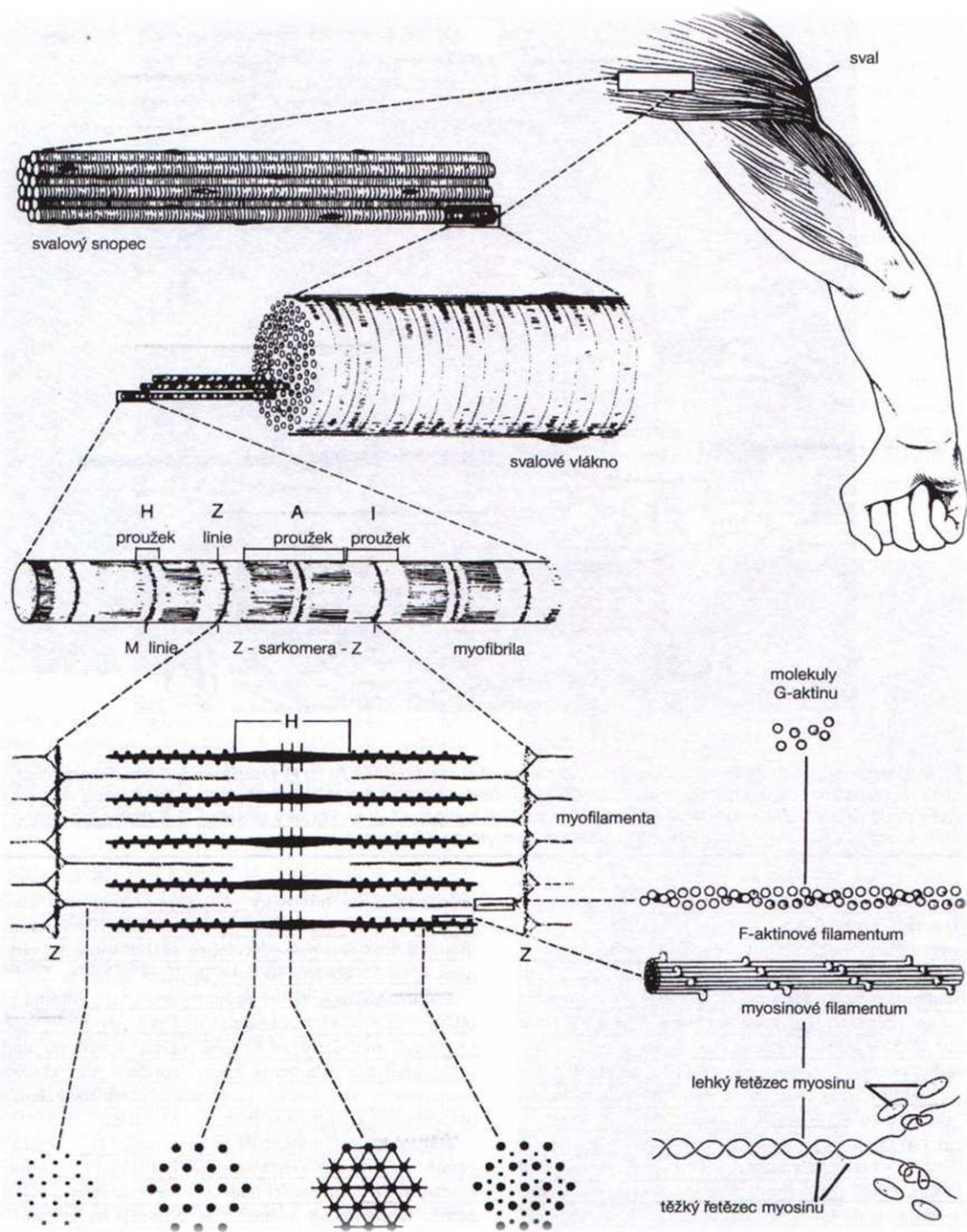
### 2.2. Morfologie a fyziologie kosterního svalu a nervosvalové ploténky

Z čistě mechanistického hlediska funguje sval jako výkonný orgán, který transformuje energii chemicky uloženou ve formě makroergní sloučeniny - *adenosintrifosfátu* (ATP) na energii mechanickou, potažmo na vlastní pohyb. Kosterní sval se skládá z mnohjaderných buněk (myocytů), které se sdružují do primárních svalových snopečků, ty dále do sekundárních svalových snopců a snopců vyšších řádů. Jednotlivá svalová vlákna jsou navzájem elektricky izolována vazivem, které se v případě vlastních svalových vláken nazývá endomysium. Svalové snopce pak navzájem odděluje perimysium a povrchově pod fascií je sval izolován epimysiem. Základní funkční jednotkou svalu je tzv. *sarkomera*. Jedná se o úsek příčně pruhovaného svalu mezi dvěma sousedními Z-liniemi (Z-disky). Tato struktura je složena z vaziva, do nějž se bilaterálně kotví tenká filamenta tvořená proteinem aktinem. Ve středu, mezi oběma Z-liniemi, je M-linie, tvořená tlustými myozinovými filamenty. Uprostřed M-linie se nachází ještě H-linie, což je místo, ve kterém se vyskytují pouze myozinová vlákna. I-linie je místem, kde se aktinová filamenta nepřekrývají s myozinovými; opačně je tomu uvnitř A-linie. Myozinová filamenta tvoří dva vzájemně se obtáčeující polypeptidové řetězce (tzv. *těžké řetězce*) zakončené přes tzv. *krček* na každém konci lobulárními hlavami. Tyto části jsou tvořené 4 tzv. *lehkými řetězci myozinu* (myosine light chains, MLC) – označovanými jako MCL<sub>20</sub> – regulační a

MLC<sub>17</sub> - esenciální. Podstatou svalové kontrakce je schopnost změny konformace krčku myozinu při vazbě fosfátu z makroergního substrátu. Aktinová filamenta jsou tvořena dvoušroubovicí F-aktinu obklopená monomery G-aktinu, po obou stranách této struktury se nachází vápník-senzitivní proteiny tropomyozin a troponin. Troponin se sestává ze tří podjednotek: Troponin-C je místem, na které se váží kalciové ionty (Ca<sup>2+</sup>), Troponin-T je místem vazby troponinu na tropomyozin a Troponin-I je místo, které zakrývá aktivní místa aktinu pro vazbu myozinu (Criswell, 2011).

Vlastní mechanismus kontrakce spočívá v uvolnění Ca<sup>2+</sup> ze specifické svalové organely - sarkoplazmatického retikula - cestou ryanidinového receptoru (RyR), který je spřažen s vápníkovým kanálem. Po depolarizaci buněčné membrány svalového vlákna (tzv. *sarkolemy*), se akční napětí přenáší přes napětově závislý dihydropyridinový receptor sarkolemy na RyR, u kterého vyvolá změnu konformace a otevření Ca<sup>2+</sup> kanálu sarkoplazmatického retikula (Jurkat-Rott, 2005). Ionty vápníku uvolněné z retikula se vážou na C podjednotku troponinu, což má za následek změnu konformace troponinu a odhalení aktivních míst aktinu, jež byly do té doby zakryté I podjednotkou. Interakce aktin-myozin vyžaduje poměrně velké množství energie, která je uvolněna defosforylací ATP (enzymem ATPázou) a vazbou fosfátového zbytku (Pi) na vznikající komplex v místě MLC<sub>20</sub>. Právě vazba Pi na aktin-myozin vyvolá konfirmační změnu krčku myozinu a vzájemný posun proteinů, zkrácení svalových vláken a přiblížení svalových úponů. Rozpad tohoto komplexu vyžaduje přítomnost dalších molekul ATP (Barret, 2015). Tento proces se nazývá jako tzv. *spřažení excitace a kontrakce*, z angl. *excitation-contraction coupling* (E-C coupling).

Podle rychlosti kontrakce a odolnosti svalových vláken vůči únavě lze rozdělit svalovou tkáň na dva hlavní typy – pomalá (červená, oxidativní) vlákna, rychlá (bílá, glykolytická) vlákna, která se dále dělí na podtyp I a podtyp II. Pomalá vlákna potřebují více než 35ms k vykonání jednoho cyklu depolarizace – depolarizace, frekvence kontrakcí je menší než 25 Hz (obvykle mezi 10 – 20 Hz). Rychlá svalová vlákna mají trvání cyklu kratší než 35ms, jejich frekvence je vyšší než 25 Hz (obvykle 30 – 50 Hz). Podtyp I je, na rozdíl od II podtypu rezistentní vůči únavě vzhledem k jeho vyšší anaerobní kapacitě (Criswell, 2011).



Obr. č. 1 – Schéma struktury kosterního svalu. (převzato z Junquiera, 1997)

**Nervosvalová ploténka** je místem nervosvalového přenosu, tedy místem, kde akční napětí, vedené periferním somatickým nervem, přestupuje na izolované svalové vlákno. Je součástí tzv. *motorické jednotky* (= motor unit, MU), která zahrnuje axon periferního nervu, nervosvalovou ploténku a inervované svalové vlákno. Během přenosu dochází k otevření napětíově závislých kanálů na povrchu nervového zakončení. Tyto kanály jsou asociovány s influxem vápníkových iontů intracelulárně do

nervového zakončení. Ve chvíli, kdy přesáhne intracelulární koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  iontů kritickou hladinu, dochází ke splynutí vezikul, které transportují neurotransmiter (v tomto případě acetylcholin) z těla neuronu přes axon až k nervosvalové ploténce, s presynaptickou (neuronální) membránou. Acetylcholin uvolněný do synaptické štěrbině přestupuje difúzí k postsynaptické (v tomto případě svalové) membráně, kde se váže na odpovídající acetylcholinový receptor. Tento receptor je spřažen se sodíkovým kanálem. Vazba neurotransmiteru na receptor vede k otevření tohoto kanálu. Na základě gradientu mezi extra- a intracelulární koncentrací sodíkových iontů dochází k influxu  $\text{Na}^+$ , což vede k depolarizaci svalové membrány a šíření akčního napětí po izolovaném svalovém vlákně. Během svalové kontrakce dochází k postupné, asynchronní aktivaci jednotlivých nervosvalových plotének podle toho, jakou je potřeba vyvinout výslednou sílu svalové kontrakce. Tento proces se nazývá *recruitment* (= nábor motorických jednotek) a je podkladem pro hladký průběh svalové kontrakce (Barret, 2015, McCommas, 1993).

### **2.3. Fyziologický podklad PAP**

Existence fenoménu post-aktivační potenciace byla prokázána celou řadou experimentálních prací (Verkhosansky, 1973; Sale, 2002; Tubman, 1996; Hodgson, 2005; Anthi, 2014; Drury, 2014; Del Rosso, 2016; Golas, 2016). Avšak navzdory poměrně intenzivnímu výzkumu v oblasti fyziologie zátěže, který se věnuje tomuto fenoménu, nebyl dosud plně objasněn dominantní fyziologický mechanismus, kterým dochází ke zvětšení síly navazující svalové kontrakce (Anthi, 2014). V současné době existují dva hlavní mechanismy, u nichž se předpokládá, že se podílí na fenoménu post-aktivační potenciace. Oba dva dále rozebrané mají své oponenty i proponenty a řadu prací, které popisují možný podíl těchto mechanismů na PAP. Mimo tyto stěžejní mechanismy jsou na okraji zájmu i některé další, jejichž podíl na PAP není dosud dostatečně experimentálně verifikován.

#### **Fosforylace lehkého řetězce myozinu (MLC)**

Již bylo zmíněno, že během spřažení excitace a kontrakce svalu dochází na podkladě depolarizace membrány sarkoplazmatického retikula k otevření napěťově závislých vápníkových kanálů a efluxu  $\text{Ca}^{2+}$  iontů do cytoplasmy svalové buňky. Zde se ionty váží ve stejné míře na troponin C (viz výše) a současně také na Ca-senzitivní protein zvaný calmodulin (Calcium-modulated protein), který má v buňkách funkci tzv.

*second messengeru* – jako druhý posel předává extracelulární signál intracelulárně (Stull, 2011). Význam calmodulinu v procesu modulace svalové kontrakce spočívá, mimo jiné, také v navýšení jeho aktivity po vazbě iontů  $\text{Ca}^{2+}$  a jeho následné interakci s kinázou (*myosin light chain kinase, MLCK*). MLCK je enzym zodpovědný za „odštípnutí“ organického fosfátového zbytku z ATP, jeho přesun na lehký řetězec myozinu, což má za následek změnu konformace krčku myozinu a vzájemnou interakci aktin-myozin za vzniku svalové kontrakce (Stull, 2011). V případě absence aktivity calmodulinu by fosforylace a defosforylace MLC probíhala ve stejné míře, čímž by bylo dosaženo dynamické rovnováhy a následná síla kontrakce, či v tomto případě spíše pravděpodobnost vzniku komplexu aktin-myozin, by byla stále stejná. Calmodulin, jehož aktivita se během opakovaných svalových kontrakcí zvyšuje, přispívá významnou měrou k tomu, že fosforylace MLC převládne nad defosforylací, čímž se zvyšuje pravděpodobnost vzniku komplexu aktin-myozin a tedy i pravděpodobnost, že opakovaná svalová kontrakce bude mít větší intenzitu než kontrakce předcházející (Gordon, 2000; Brito, 2011). Podíl tohoto mechanismu na PAP byl potvrzen na experimentech s myším modelem, u něhož byl vyřazen gen pro MLCK. Oproti myším v kontrolní (geneticky neupravené) skupině absentovala potenciační odpověď na předchozí elektrickou stimulaci svalu u myši s knock-out genem pro MLCK (Zhi, 2005). Otázku, do jaké míry jsou výsledky této práce přenositelné do fyziologie člověka, si položili již dříve Houston et al. (Houston, 1985; Houston, 1996). Jejich práce rezultovala v poměrně významnou interindividuální variabilitu vztahu mezi mírou fosforylace MLC a silou kontrakce, kdy stupeň fosforylace MLC nekoreloval se silou svalové kontrakce. Tyto rozdíly připisují autoři několika faktorům: rozdílné únavě subjektů po svalové kontrakci, změnám koncentrace anorganického fosfátu (Pi), rozdílná aktivita SERCA (=  $\text{Ca}^{2+}$  transportér přenášející ionty vápníku uvolněné do cytoplazmy zpět do sarkoplazmatického retikula) či rozdílná kapacita sarkoplazmatického retikula. Poslední tři zmíněné faktory jsou konzistentní s pozdějším výzkumem Brutona et al. (1996). Z dostupných prací lze usoudit, že převaha fosforylace MLC nad jeho defosforylací vlivem působení calmodulinu, hraje významnou roli ve fyziologii PAP. Nicméně k definitivnímu uzavření tohoto tématu bude potřeba více prací, které se budou sledovat míru fosforylace u svalu s jasně definovanou PAP.

### **Uplatnění mechanismů nervového a nervosvalového přenosu v PAP**

Volní kontrakce příčně pruhovaného svalu je přímo řízena aktivitou nervového

systemu (Fauci, 2008). Primární motorické centrum je místem kontroly nad motorickými funkcemi. Anatomicky se nachází v gyrus precentralis kortexu koncového mozku. Z této části vycházejí první neurony (které jsou somatotopicky uspořádané v typickém motorickém homunkulu), které tvoří sestupnou složku *tractus corticospinalis*, neboli motorické dráhy. Axony prvního neuronu této dráhy vedou dále přes *capsulae internae* mozkovým kmenem až na pyramidy prodloužené míchy, kde se asi 80% vláken z obou polovin kříží (a přecházejí kontralaterálně) a pokračují jako *tractus corticospinalis lateralis* v postranních provazcích míšních. Zbývajících 20% neuronů pokračuje v předních provazcích míšních jako *tractus corticospinalis anterior*. Obě dráhy končí buďto na  $\alpha$ -motoneuronech (menší porce) nebo na *interneuronech*, které předávají signál dále na již zmíněné  $\alpha$ -motoneurony lokalizované v předním míšním rohu. Odtud začíná 3. neuron motorické dráhy, který je zakončen na nervosvalové ploténce (Fauci, 2008). Svalová kontrakce je současně řízena i na podkladě míšních reflexů. Primárním regulátorem na této úrovni je *svalové vřetenko*. Tato na natažení reagující struktura je inervována Ia aferentním neuronem, který vede informace cestou zadního míšního rohu na  $\alpha$ -motoneuron. Jinými slovy, pokud je svalové vřetenko podrážděno, vyvolá kontraktilní odpověď svalu zmíněným reflexním obloukem (Creswell, 2011, Fauci, 2008).

Druhým potenciálním mechanismem uplatňujícím se při PAP fenoménu je potenciace neuronální odpovědi na aferentní (přívodnou) stimulaci ze svalového vřetenka (Anthi, 2014, Iglesias-Soler 2011). Za účelem měření tohoto jevu se využívá tzv. *Hoffmanův reflex* (H-reflex). Jedná se o kvantifikaci efektivity synaptického přenosu mezi Ia aferentními vlákny a  $\alpha$ -motoneuronu (Palmieri, 2004). Při elektromyografickém vyšetření (EMG), prostřednictvím něž se hodnotí mimo jiné i parametry nervosvalového přenosu v klinické lékařské praxi, se využívá elektrický impulz o nízké intenzitě (aby nedošlo k přímému podráždění svalových vláken), který vyvolá reakci svalového vřetenka, přičemž se současně snímá odpověď svalu. Ta se na EMG záznamu ozřejmí jako tzv. *H-vlna*, u níž lze hodnotit interval mezi stimulací a objevením se vlny (= rychlost vedení vzruchu) a amplitudu (= intenzitu odpovědi) (Trimble, 1998).

Již v roce 1996 se pokusili Gullich a Smidtbleicher asociovat PAP se změnami H-reflexu (Gullich, 1996). Tito autoři popsali nárůst (až o 20%) amplitudy H-vlny, která následovala po maximální izometrické volní kontrakci m. soleus. Později se

problematikou změn H-reflexu zabývali i Trimble et al. (1998), kteří též zaznamenali nárůst amplitudy H-vlny po předchozí stimulaci svalu, nicméně tento nárůst nebyl statisticky signifikantní. Pozdější práce Hogsona (2008) a Iglesia-Solera (2011) však nevnese do problematiky PAP další pozitivní výsledky ve smyslu změn H-vlny. Spolu s prvně uvedenou prací Gullicha a Smidtleichera popisují signifikantně významné změny H-vlny i Folland et al. (2008). Oproti výše zmíněným autorům využívá Folland v rámci experimentu, namísto m. soleus, pro nějž je charakteristická převaha podtypu II svalových vláken, m. quadriceps femoris. S ohledem na výše uvedené je podíl neurálních mechanismů na PAP přinejmenším otazný a jistě bude do budoucna potřeba identifikovat ty faktory ovlivňující nervosvalový přenos, které mohou být zdrojem významné variability výstupů z jednotlivých prací.

### **Ostatní zkoumané fyziologické mechanismy PAP**

Vnitřní uspořádání svalových vláken uvnitř svalu a jejich sklon vzhledem k úponové šlaše (= zpeřenost svalu, pennation angle) má vliv na směr tahu svalu a výslednou sílu svalové kontrakce (Fukunaga, 1997). Zjednodušeně lze říci, že čím je tento úhel menší, tím větší je účinnost přenosu tahu ze svalových vláken na šlachu a tím větší je i vyvinutá síla. Mahlfeld et al. (2004) prokázali signifikantní zmenšení tohoto úhlu (o 12,5%) po maximální volní kontrakci, které vedlo k navýšení síly následující kontrakce o cca 1%. Reardon et al. (2014) však tyto závěry nepotvrdili. Nicméně potvrdili signifikantní změnu (zmenšení) úhlu v časovém intervalu 8 – 20 minut aktivaci svalu v průběhu dřepu s 1RM. Podíl zpeřenosti svalu na fenoménu PAP není v současné době podložen dostatečným množstvím dat a jistě otevírá možnosti dalšího výzkumu v této oblasti.

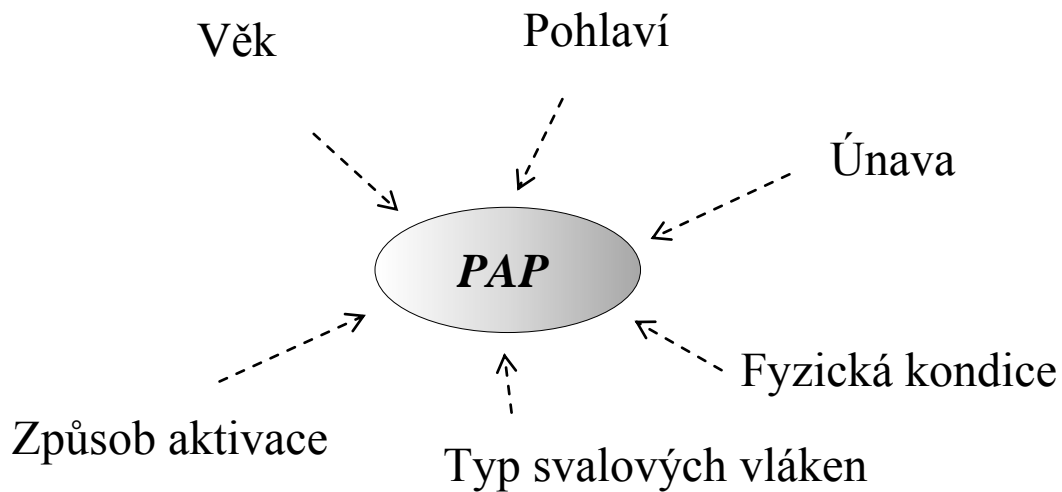
Obdobně jako zpeřenost svalu je prakticky neprozkoumanou oblastí i změna tuhosti šlachy v návaznosti na svalovou kontrakci. Je prokázáno, že některé procesy jako maximální svalová kontrakce či naopak pravidelné statické protahovací cviky vedou k redukci tuhosti šlachy a mohou mít vliv její na mechanické vlastnosti, což se může odrazit v efektivitě přenosu síly svalové kontrakce na pasivní pohybový aparát (Tillin, 2009).

## **2.4. Faktory ovlivňující PAP**

To, do jaké míry se při opakovaných svalových kontrakcích uplatní PAP, se odvíjí od působení řady faktorů. Mezi dosud experimentálně ověřované patří



následující: věk a pohlaví, únava a trénovanost, typ svalových vláken a způsob potenciace (= conditioning, aktivace).



**Obr. č. 2. – Experimentálně ověřené faktory ovlivňující PAP.**

Arabatzi et al. (2004) zjistili, že fenomén PAP je závislý na věku a pohlaví. V průběhu svého experimentu sledovali autoři rozdíl výšky výskoku před a po aktivaci; ta byla koncipována jako 3x provedená izometrická maximální volní kontrakce při dřepu v souboru 28 mužů a 30 žen rozdílného věku. Experiment rezultoval v signifikantní vzestup výkonu ve skupině mužů ve věku 20 – 25 let; ten však nebyl vysledován u adolescentů (14 – 15 let) ani u dětí (10 – 12 let) a současně také v žádné skupině ženského pohlaví. Aktivace dále vedla ke vzestupu gradientu síly (rate of force development, RFD) u obou dospělých kategorií avšak nikoliv u dětí a adolescentů. Práce ukazuje, že PAP je závislý na věku a pohlaví a projevuje se akutním zvýšením absolutní svalové síly pouze u dospělých mužů, současně pak dochází ke vzestupu gradientu síly (RFD) v obou kategoriích dospělých. Nicméně s ohledem na to, že se jedná zatím o jedinou, dosud publikovanou práci takového rozsahu na téma rozdílů věku a pohlaví, bude potřeba dalších experimentů ke stanovení míry, do jaké se tyto sledované faktory uplatňují v průběhu fenoménu PAP.

Únavu lze definovat jako reverzibilní fenomén, který je následkem oslabení neurálních, metabolických a fyziologických mechanismů, a jehož následkem je pokles svalového výkonu v průběhu vytrvalé a opakované svalové činnosti (Allen, 2008). Mechanismy, které jsou podkladem svalové únavy, nebyly dosud plně objasněny, ale zdá se, že se jedná o kombinaci útlumu na úrovni centrální regulace (inhibice nervové

aktivity a/nebo zhoršení aktivace MU) a změn svalové biochemie / fyziologie (selhání bioenergetických mechanismů či změny na úrovni E/C couplingu)(Allen, 2008). Některé z dosud publikovaných prací (Hamada, 2003, Morana, 2009) popisují významný pokles intenzity svalové kontrakce v únavě, přičemž se efekt vlastní PAP neprojeví. Nejvíce byl tento děj akcentován u osob s převahou vláken typu II a u silových atletů (Morana, 2009). Faktor únavy má, zdá se, kritický vliv nejen na průběh svalové kontrakce ale i fenoménu PAP.

Ukázalo se také, že významným faktorem, který ovlivňuje průběh svalové kontrakce a PAP, je histologická stavba svalu. Sval, který je tvořen převážně podtypem II svalových vláken, podléhá PAP více než typ I (Ryder, 2007). Podkladem tohoto rozdílu je pravděpodobně vyšší aktivita MLCK v rychlých svalových vláknech oproti vláknům pomalým a tedy změna poměru fosforylace / defosforylace MLC ve prospěch fosforylace (Ryder, 2007; Stull, 2011). Řada prací (Houston, 1991; Houston, 1985) však tyto závěry nepodporuje. Současně také existují data, která ukazují, že za určitých podmínek aktivace (opakované izometrické kontrakce s 50% maximální volní kontrakce) mohou vytrvalostní sportovci s převahou pomalých svalových vláken vyvinout intenzivnější PAP než silově predisponovaní jedinci (Morana, 2009). Ukázalo se také, že jedinci, kteří se systematicky připravují v daném sportovním odvětví, mohou dosáhnout vyšší intenzity PAP než jedinci netrénovaní a to bez ohledu na typ svalových vláken (Mettler, 2012).

Dalším faktorem, který ovlivňuje průběh PAP je způsob jeho vyvolání, neboli již zmíněná aktivace. Bylo prokázáno, že mimovolní kontrakce (např. po stimulaci elektrickým výbojem), vyvolá větší PAP než v případě maximální volní kontrakce (Miyamoto, 2010). Předpokládá se, že tento rozdíl je způsoben obejitím centrálních nervových mechanismů únavy. V případě volní kontrakce se, z ojedinelých dostupných dat, nezdá pravděpodobné, že se intenzita PAP odvíjí od charakteru kontrakce (koncentrické, excentrické či izometrické)(Miyamoto, 2010). Obecně lze říci, že intenzita PAP roste do té doby, než svalová kontrakce, v rámci aktivace, začne generovat únavu (Miyamoto, 2010). Z toho důvodu je tento proces značně interindividuálně variabilní, což dokládají i některé práce, které ztroskotaly ve snaze nalézt optimální metodu tohoto procesu. Již bylo zmíněno, že dosud neexistuje žádný standardizovaný, jak výzkumný tak tréninkový/předstartovní aktivační protokol, který by sjednotil experimentální práce na poli výzkumu PAP a je vůbec otázkou, zda-li je

možné, v rámci působení všech faktorů tento protokol zobecnit. První pokus o stanovení optimálního protokolu v rámci aktivace PAP prezentoval Golas et al. (2017), kteří testovali sérii protokolů aktivace PAP na skupině polských špičkových skokanů na lyžích. Z testovaných protokolů vybrali optimální variantu pro jednotlivé podskupiny sledovaných sportovců. Jejich experiment je první prací se snahou o individualizaci či optimalizaci aktivace PAP. Teoreticky platí to, že maximální potenciace lze dosáhnout ve chvíli, kdy je aktivováno maximální množství nervosvalových spojení (Fukutani, 2014). V rámci stanovení tohoto momentu by bylo možné využít EMG analýzu (real-time) svalové kontrakce.

## **2.5. PAP ve sportu**

V celé řadě sportovních odvětví se výsledný výkon odvíjí od síly a rychlosti svalové kontrakce. V tomto ohledu může hrát fenomén PAP významnou roli. Praktickou, ale hlavně cílenou aplikací se v posledních letech začíná zabývat více a více autorů. Zajímavé zpracování tématiky nabízí práce Golase et al. (2016), která popisuje vliv PAP na výkon ve sportech, při nichž je nezbytná explozivní svalová síla, v tomto případě u hráčů basketbalu, u atletů – vrhačů a sáňkařů. V rámci jejich experimentu byl každé skupině sportovců přiřazen specifický protokol, který zahrnoval pro daný sport specifické cvičení s provedením 50 – 75% 1RM v předem stanovených sériích. Výkony byly měřeny před aktivací a dále v dvouminutových intervalech po ní. U většiny sportovců ze všech tří skupin došlo k nárůstu výkonu po aktivaci. Výsledky byly ve všech skupinách značně variabilní, co se týče optimálního intervalu mezi stimulací a maximální potenciací výkonu. Téměř 60% sportovců se prezentovalo nejlepším výkonem 6. minutu po aktivaci. U některých sportovců přetrvával efekt PAP i po více než 12 minut. Systematickou prací s PAP v tréninkovém procesu využili v rámci experimentu s juniorskými basketbalisty Tsimachidis et al. (2013). V rámci svého výzkumu randomizovali 26 juniorských basketbalistů do dvou skupin – tréninkové/PAP a kontrolní. Systematickou přípravou se zapojením PAP ve formě dřepů s 8RM+5RM a 30m sprintů dvakrát týdně, dosáhli během 14-týdenního sledování statisticky významného vzestupu zátěže při 1RM podřepu a rychlosti 10m sprintu oproti kontrolní skupině basketbalistů, která tato cvičení v rámci tréninku neabsolvovala. Drury et al. sledovali fenomén PAP u hráčů ragby (Drury, 2014). V rámci svého experimentu sledovali 12 hráčů ragby a jejich výkon při balistickém odhodu činky při benčpresu. Hráči absolvovali 3 sezení s dostatečným časovým odstupem, přičemž při prvním

prováděli aktivaci benčpresem s excentrickou kontrakcí se 105% maximální zvednuté hmotnosti, při druhém totéž cvičení se 110% maximální hmotnosti a třetí sezení bylo kontrolní, bez předcházející aktivace. Práce rezultovala ve statisticky signifikantní vzestup výkonu při prvním i druhém, nikoliv však třetím sezení. Rozdíl mezi prvním a druhým pak nebyl signifikantní. Možností využití PAP v plavání se zabývali Kilduff et al. (2011), kteří na malém vzorku plavců mezinárodní výkonnostní úrovně prokázali pozitivní vliv PAP na výkon v 15m sprintu a efektivitě odrazu ze startovního bloku.

V atletických disciplínách byl opakovaně pozorován vliv PAP na výkon v disciplínách, kde hraje hlavní roli explozivní síla. Již zmíněné práci Golase et al. (2016), předcházelo několik publikovaných prací týkající se PAP ve vrhačských disciplínách. Judge et al. (2010) pozorovali vliv PAP na výkon v hodu břemenem u mladých vrhačů a vrhaček. Během tří měření absolvovali tito atleti aktivaci v podobě odhodů náčiní o soutěžní hmotnosti, s náčiním o 1,37kg těžším respektive s náčiním o 2,27kg těžším. Atleti následně provedli tři pokusy s vlastní soutěžní hmotností náčiní. Vzdálenosti byli signifikantně delší v průběhu sezení, při nichž byla aktivace realizována s těžším náčiním. Tato práce potvrzuje empirické postupy některých vrhačských trenérů, kteří využívají těžší náčiní v rámci tréninku i rozcvičení před vlastním závodem. Pilotní studii týkající se PAP ve sprinterských atletických disciplínách představili v roce 2016 Kummel et al. (2016). Na malém počtu top světových sprinterů (n=3) a sprinterek (n=2) sledovali autoři vliv PAP na výkon ve 30m sprintu a výšku výskoku při „drop jump“. Metodika práce spočívala v iniciaci PAP prostřednictvím plyometrických odrazových cvičení. Vliv PAP na výkon ve sprintu nebyl, na rozdíl od druhého sledovaného parametru, statisticky signifikantní. Nicméně s ohledem na velikost sledované populace a nevhodně zvolené metodice statistického testování při malém sledované populaci, bude potřeba dalších prací na téma PAP a jeho vlivu ve sprinterských, aby bylo možné danou problematiku nějakým způsobem klarifikovat. Tématem plyometrických cvičení se v rámci přípravy na sprinterský výkon zabývají i Creekmur et al. (2016). Jejich studie, ovšem opět na malém počtu sprinterů (n=10), prokazuje pozitivní vliv plyometrických cvičení na výkon ve sprintu na 20 a 40m. Fenomén PAP se, netýká pouze sportovců využívajících explozivní sílu. Del Rosso et al. (2016) sledovali trénované půlmaratonské běžce před a v průběhu rozdělených pětakilometrových úseků (v celkovém počtu 6x). Mezi každým jednotlivým úsekem měřili rychlost úseku, subjektivní únavu a výšku výskoku. Zatímco u rychlosti

zaznamenali v průběhu běhu pokles (od 20. km). Tento pokles koreloval s narůstající subjektivně vnímanou únavou. Výška výskoku se od 1. po 4. měřený intervalu postupně zvyšovala, 5. měřený interval byla konstantní a toto by následováno dalším vzestupem výkonu při výskoku při posledním měření. Autoři se na základě tohoto experimentu domnívají, že právě PAP může být jedním z mechanismů podílejících se na udržení tempa v průběhu vytrvalostních běhu při narůstající únavě sportovce.

Zajímavou informací je, že mimo práci Tsimachidise et al. (2013), který ale pozoroval zapojení PAP v dlouhodobějším časovém horizontu, nevyplývá z dostupných prací, že k nárůstu výkonu došlo vlivem absolutního zvětšení síly. Za nárůstem výkonnosti stojí již zmíněný nárůst gradientu síly (RFD), čili že v průběhu fenoménu PAP nedochází k navýšení absolutní síly sportovce, ale spíše k potenciaci toho, jak rychle je atlet/atletka schopen či schopna dosáhnout své vlastní maximální síly. Tyto výsledky by do budoucna mohly ovlivnit i vlastní definici post-aktivační potenciace, která je uvedena v úvodu.

S ohledem na vyrovnanost výkonů na špičkové úrovni prakticky všech sportovních odvětví dochází k postupnému nárůstu zájmu o praktickou aplikaci PAP v soutěžním sportu. Možností ovlivnění výkonu prostřednictvím PAP se zabývají mnozí autoři v podstatě již od prvního popisu tohoto fenoménu. Výše je zmíněno pouze několik prací, které popisují využití PAP v rozmanitých sportovních odvětvích. S narůstajícím počtem publikací však současně dochází k tomu, že výstupy z jednotlivých experimentů jsou značně rozdílné. Důvodem může být mimo jiné i variabilita metodiky zpracování jednotlivých experimentů. Současně dosud neexistuje standardizovaný protokol ke stanovení optimální aktivace pro maximální PAP. Právě tyto rozdíly, absence dat a standardizovaného protokolu a variabilita výsledků jsou mezi hlavními příčinami toho, že potenciál PAP není dosud plně využíván v rámci přípravy na soutěž či závod.

<b>Autoři</b>	<b>Sportovní odvětví</b>	<b>Sledované parametry</b>	<b>Způsob aktivace</b>	<b>Efekt</b>	<b>Rok</b>
<b>Del Rosso et al.</b>	Atletika vytrvalost	Rychlost Výška výskoku	Self-pacing	Vzestup výkonu v „podřep-výskok“ s nárůstem uběhnuté vzdálenosti	2016
<b>Golas et al.</b>	Atletika Sáňkování	Výkon (W) ve specifických cvičcích	Série pro daný sport specif. cvičení s 50 – 75% 1RM	Vzestup výkonu (W) ve specifických cvičcích	2016
<b>Tsimachidis et al.</b>	Basketbal	1RM dřep 10m sprint	Dřep s 8RM + 5RM + sprint 30m	Vzestup výkonu při dřepu s 1RM Vzestup výkonu v 10m sprintu	2013
<b>Drury et al.</b>	Ragby	Balistický odhod činky	Bench-press se supramax. zátěží	Vzestup výkonu při sezeních s 105% a 110% maxima	2014
<b>Kilduff et al.</b>	Plavání	Odraz z bloku Sprint 15m	Dřep s 87% 1RM	Vzestup výkonu při odraze z bloků Vzestup výkonů při plavání na 15m	2011
<b>Judge et al.</b>	Atletika	Hod břemenem	Odhody o 1,37 / 2,25kg těžím náčiním	Vzestup výkonu při odhodu se soutěžní vahou	2010
<b>Kummel et al.</b>	Atletika	Sprint na 30m Výskok	Plyometrie	Vzestup výkonu pouze ve výskoku	2016
<b>Creekmur et al.</b>	Atletika	Výkon ve sprintu na 20 a 40m	Plyometrie Drop-jump	Vzestup výkonů ve sprintu na 20m a 40m	2016

**Tabulka č. 1 – Přehled aktuálních prací týkající se problematiky PAP ve sportu.**

## **3. Cíle a úkoly práce**

### **3.1. Cíle práce**

Hlavním cílem empiricko-teoretické práce zabývající se fenoménem post-aktivační potenciace je vypracování metodiky měření PAP s využitím silových desek a experimentální ověření existence fenoménu PAP. Dílčím cílem pak je analýza jednotlivých parametrů fenoménu PAP a jejich srovnání s aktuálně dostupnou literaturou.

Sekundárním cílem práce je poskytnutí systematického review aktuálně dostupné literatury týkající se problematiky post-aktivační potenciace, její analýza s identifikací insuficientních dat a konfliktních bodů dané problematiky s následným návrhem možností směřování dalšího výzkumu.

Dílčími úkoly práce jsou tyto:

- analýza dostupné literatury s využitím databázových programů
- identifikace insuficientních dat a konfliktních bodů dané problematiky
- návrh možností směřování dalšího výzkumu PAP
- vypracování metodiky měření PAP s využitím desek pro inverzní dynamiku
- experimentální ověření existence PAP na sportujících jedincích
- analýza parametrů PAP a srovnání s dostupnou literaturou

### **3.2. Výzkumné otázky**

- Jsou aktuálně publikovaná data ve všech oblastech dané problematiky přesvědčivá?
- Existují konfliktní body ve sledované problematice?
- Existují ve sledované problematice nedostatečně průkazná data, která nabízí možnosti dalšího směřování výzkumu? Pokud ano, tak jaká?
- Lze v rámci vypracované metodiky sledovat efekt post-aktivační potenciace na sledované parametry při měření prostřednictvím silových desek?
- Korelují eventuální výsledky měření s výsledky aktuálně dostupné literatury?

## 4. Metodika práce

### 4.1. Review aktuálně dostupné literatury

V rámci tvorby systematického přehledu aktuálně dostupné literatury bylo využito databázových systémů (SportDiscus, MEDLINE...). Jako klíčová slova pro vyhledávání odpovídajících publikací byla zvolena „*post-activation potentiation*“, „*post-activation facilitation*“, „*post-tetanic activation*“ a „*PAP*.“ V rámci review byly využity pouze práce dostupné jako „plný text“ z přihlašovacího systému Univerzity Karlovy. Využité publikace nebyly limitovány rokem vydání, nicméně byla snaha o preferenční využití prací publikovaných v posledních 10 letech.

### 4.2. Etické aspekty výzkumu

Veškerá měření v rámci experimentu byla prováděna na zdravých aktivně sportujících dobrovolnících (dále jen proband) bez deklarované fyzické či mentální limitace. Každý proband byl před zahájením experimentu plně a detailně seznámen s předem stanoveným protokolem experimentu. Po seznámení s protokolem byl probandům ponechán prostor pro doplňující dotazy, po nichž byli vyzváni k podepsání informovaného souhlasu. Všechna měření v rámci experimentu byla prováděna neinvazivní cestou. Získaná data byla anonymizována a identifikační údaje smazány.

### 4.3. Charakteristika probandů

Měření proběhlo ve dvou termínech s časovým odstupem v rámci týdnů. V průběhu prvního měření byl primárně modifikován experimentální protokol. Experiment dle stanoveného protokolu absolvovalo celkem 9 probandů (2 v průběhu prvního sezení, 7 v průběhu druhého sezení). Všichni sledovaní probandi byli mužského pohlaví (n=9; 100%), medián věku 23 let (18-33), s mediánem výšky 185cm (172-195) a tělesné hmotnosti 78kg (70-97). Ve většině případů se jednalo o atlety (n=7; 77,8%), z nichž 4 probandi (57,1%) byli orientováni směrem ke sprinterským disciplínám. Zbývající probandi (n=2; 22,2%) byli hráči fotbalu resp. basketbalu. Medián zatížení v průběhu aktivace PAP, při hlubokém dřepu s činkou, byl 70kg (60-105).



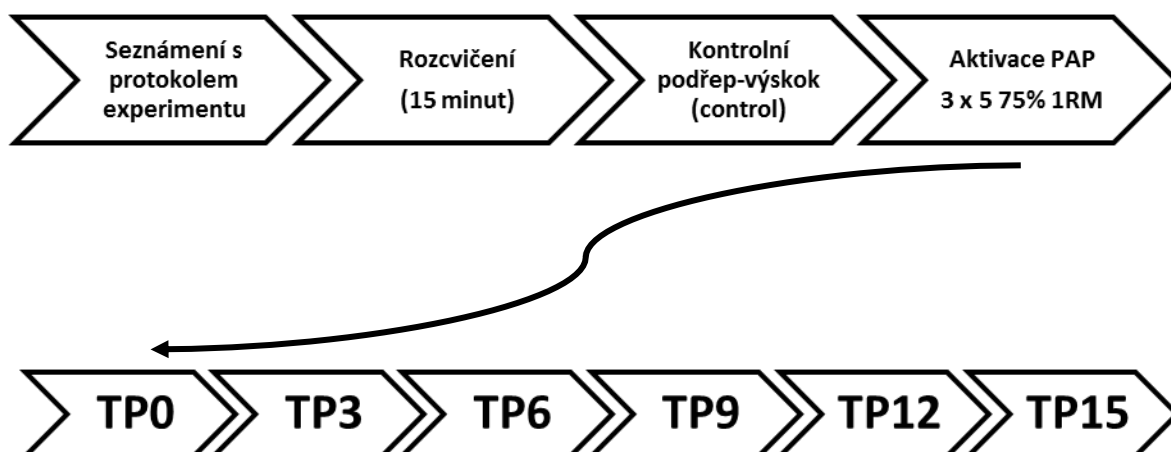
Proband	Výška (cm)	Váha (kg)	Věk	Sport	Aktivace (kg)
1	184	77	23	Atletika - sprint	80
2	187	89	18	Atletika - sprint	60
3	178	78	33	Atletika - skoky	60
4	192	78	27	Atletika - vytrvalost	60
5	185	88	27	Atletika - víceboj	70
6	185	90	22	Basketbal	70
7	175	70	31	Atletika - sprint	70
8	172	63	21	Atletika - sprint	70
9	195	97	21	Fotbal	105
<b>Medián</b>	<b>185</b>	<b>78</b>	<b>23</b>	-	<b>70</b>

Tabulka č. 2 – Charakteristika sledovaného souboru

#### 4.4. Měření dynamických parametrů fenoménu PAP

##### Protokol měření dynamických parametrů PAP

V úvodu protokolu byl každému probandovi ponechán čas (15 minut) na individuální rozcvičení před zahájením měření. V rámci rozcvičení byly prováděny preferenčně cviky dynamického protahování. Po uplynutí této doby absolvoval každý z probandů tři kontrolní (označeny jako *control*) výskoky (standardizovanou metodikou podřep-výskok s volnými pažemi) z desek pro měření kontaktních sil (Kistler 6384, Winterthur, Switzerland). Ihned poté provedl, v rámci aktivace PAP, tři série hlubokých dřepů s činkou po pěti opakováních se zátěží 75% 1RM a intervalem odpočinku 1 minuta. Následně absolvoval po třech výskocích v intervalu tří minut až do celkového času 15 minut po aktivaci PAP (označených jako *TP0*, *TP3*, *TP6*, *TP9*, *TP12* a *TP15*). Mezi jednotlivými TP nebylo probandům povoleno posazování, ležení nebo provádění jiné pohybové aktivity jako prevence progresu únavy.



Obr. č. 3 – Schéma experimentálního protokolu.

### **Analýza dat a sledované parametry**

Získaná data byla exportována z programu BioWare a následně analyzována v programu Matlab (MathWorks Inc., Natick, Massachusetts, USA). Výstupem z této analýzy byly parametry maximální vyvinuté síly (peak force, PF) a času potřebného k dosažení maximální hodnoty (time to peak, TTP) uvedené v absolutních hodnotách. Z těchto hodnot byly dopočítány hodnoty vztažené na aktuální tělesnou hmotnost (relative peak force, RPF). Posledním, taktéž kalkulovaným, parametrem byly gradient síly (rate of force development, RFD). Gradient síly je dán podílem RPF a TTP. Vypočítán byl také procentuální rozdíl mezi jednotlivými TP a kontrolními výskoky a zaznamenána jeho průměrná změna (v případě RPF) eventuálně medián změny (u RFD parametru). Parametry u každého z probandů v časech TP0 – TP15 byly následně graficky znázorněny a statisticky srovnány vůči kontrolním výskokům (viz dále).

## **4.5. Zpracování dat, statistická analýza a prezentace výsledků**

### **Zpracování a analýza dat z měření inverzní dynamiky**

Výstupem z analýzy dat byly 3 absolutní hodnoty v každém sledovaném parametru (RF, RPF), ve všech TP u každého z probandů. Z výstupních dat byly vždy 2 hodnoty s nejmenším vzájemným rozdílem zprůměrovány. V případě, že se v rámci TP lišila/y jedna či více hodnot signifikantně (tzn.  $\geq 50\%$ ) od průměrných hodnot v rámci měření u stejného probanda, nebyly tyto hodnoty zahrnuty v rámci analýzy pro signifikantní chybu měření. Takto zpracované hodnoty ve sledovaných parametrech byly vyneseny do tabulkového zobrazení, dále zobrazeny graficky a statisticky

analyzovány. V rámci statistického zpracování byl využit test normality (dle Kolmogorova-Smirnova) a v případě parametrického rozložení výsledků proběhla variantní analýza (ANOVA) sledovaných parametrů. U neparametrického rozložení v rámci souboru (v rámci parametru RFD) byl využit test dle Friedmana (RM ANOVA on ranks). Ukazatel věcné významnosti (effect size) byl stanoven v rámci jednotlivých TP.

## 5. Výsledky

Výstupem z analýzy dat byly absolutní hodnoty ve sledovaných parametrech (RPF a RFD). Tato data jsou uvedena v tabelárním zobrazení níže v textu.

Z technických důvodů nejsou dostupná data u probanda č. 1 v TP3, dále data v TP15 u probandů č. 8 a 9. Z důvodu signifikantní chyby při měření nebyla do analýzy zahrnuta data v TP3 u probanda č. 4 v kalkulovaném parametru RFD a RPD. Nezahrnutí tohoto výsledku signifikantně neovlivňuje statistický výstup.

### Relative Peak Force (RPF)

Parametr RPF popisuje maximální sílu, kterou byl daný proband schopen vyvinout v rámci odrazu. Tato síla je vztažena na tělesnou hmotnost a je udávána v  $\text{N.kg}^{-1}$ .

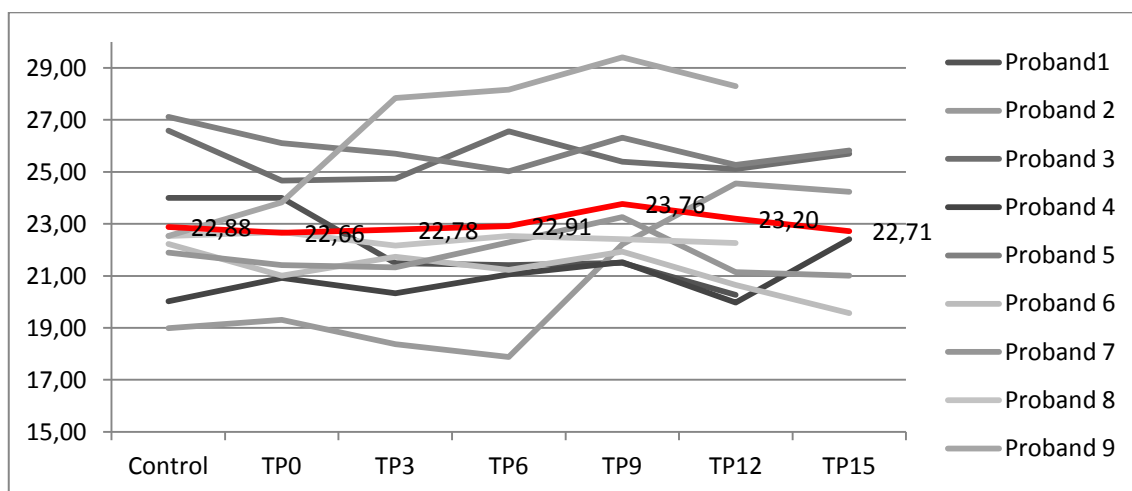
Níže uvedená tabulka (tabulka č. 3) shrnuje absolutní hodnoty ve sledovaných parametrech (RPF). V tabulce je dále uvedena také průměrnou procentuální změnu RPF v jednotlivých TP vůči kontrolnímu měření.

RPF ( $\text{N.kg}^{-1}$ )							
Proband	Control	TP0	TP3	TP6	TP9	TP12	TP15
1	23,99	23,99	N	21,49	21,41	21,51	20,27
2	18,99	19,31	18,38	17,88	22,21	24,55	24,23
3	26,59	24,67	24,73	26,56	25,39	25,11	25,70
4	20,02	20,92	20,33	21,05	21,53	19,97	22,41
5	27,12	26,10	25,70	25,02	26,31	25,26	25,83
6	22,23	21,00	21,73	21,23	21,93	20,65	19,56
7	21,89	21,42	21,33	22,29	23,26	21,15	21,01
8	22,53	22,68	22,16	22,53	22,40	22,27	N
9	22,53	23,83	27,84	28,16	29,40	28,29	N
<b>Průměr</b>	<b>22,88</b>	<b>22,66</b>	<b>22,78</b>	<b>22,91</b>	<b>23,76</b>	<b>23,20</b>	<b>22,71</b>
<b>SD</b>	<b>2,69</b>	<b>2,17</b>	<b>3,09</b>	<b>3,15</b>	<b>2,72</b>	<b>2,75</b>	<b>2,58</b>
<b>% změna</b>	<b>0,00</b>	<b>-0,67</b>	<b>0,41</b>	<b>0,38</b>	<b>4,56</b>	<b>2,24</b>	<b>-0,01</b>

Tabulka č. 3 – Shrnutí parametru RPF a jeho procentuální změny oproti kontrole. SD = směrodatná odchylka v rámci jednotlivých TP

Výše uvedená data týkající se RPF vykazují parametrické rozdělení (test normality dle

Kolmogorova-Smirnova,  $P > 0,200$ ) a nízkou variabilitu souboru. Dle následně provedené variantní analýzy (ANOVA) nejsou rozdíly mezi jednotlivými TP a kontrolním měřením statisticky signifikantní ( $p = 0,984$ ). Statisticky významná není ani průměrná procentuální změna RPF vůči kontrolnímu měření ( $p = 0,954$ ). Lze říci, že ve sledovaných TP došlo k průměrnému 4,6% nárůstu síly v TP9, nicméně tato změna není statisticky signifikantní. Data jsou dále graficky znázorněna v grafu č. 1.



**Graf č. 1 – Grafické zobrazení RPF u jednotlivých probandů.** Červeně je označen průměr měření v daném TP. Procentuální změna není, s ohledem na rozsah grafu, zanesena.

Ukazatele věcné významnosti (dle Cohena, d) vůči TP0					
TP	TP3	TP6	TP9	TP12	TP15
Effect size (d)	0,044	0,094	0,447	0,217	0,024

**Tabulka č. 4 – Ukazatele věcné významnosti (effect size, dle Cohena) vykazují nízkou až středně významnou signifikanci mezi jednotlivými TP.**

### Gradient síly (rate of force development, RPF)

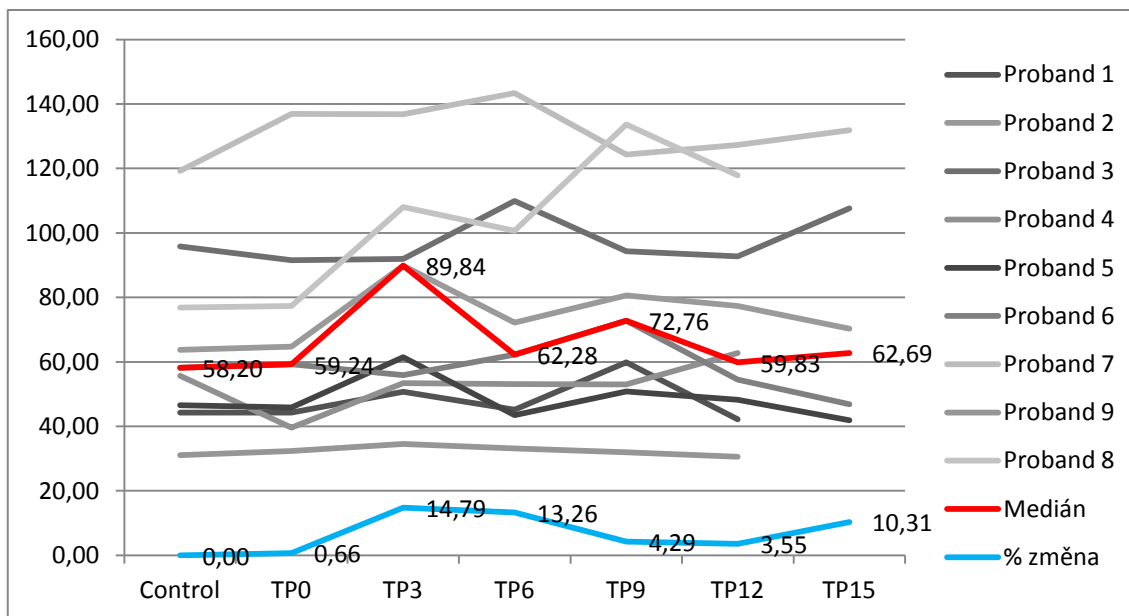
Kalkulovaný parametr gradientu síly je dán podílem relativní vrcholové síly (RPF) a času potřebného k jeho dosažení (time to peak, TTP). Popisuje rychlost aktivace svalu a dosažení maximální síly svalové kontrakce.

S ohledem na významnou odchylku měření u probanda č. 4 v TP3 (v parametru TTP) nebylo toto měření zahrnuto do statistické analýzy. Absence této hodnoty nevede k ovlivnění statistického výstupu. Tabulka č. 3 shrnuje parametr RFD v absolutních hodnotách a je v ní vynesena procentuální změna (její medián s ohledem na dvouvrcholovou křivku síly během odrazu) vůči kontrolnímu měření.

<b>RFD (F.kg<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>							
<b>Proband</b>	<b>Control</b>	<b>TP0</b>	<b>TP3</b>	<b>TP6</b>	<b>TP9</b>	<b>TP12</b>	<b>TP15</b>
<b>1</b>	44,27	44,27	N	50,75	45,18	59,83	42,18
<b>2</b>	63,73	64,72	89,84	72,18	80,64	77,30	70,30
<b>3</b>	95,82	91,55	91,89	109,92	94,31	92,74	107,65
<b>4</b>	55,71	39,56	N	53,42	53,06	53,03	62,69
<b>5</b>	46,56	45,83	61,46	43,46	50,86	48,21	41,84
<b>6</b>	58,20	59,24	55,86	62,28	72,76	54,49	46,80
<b>7</b>	119,20	136,94	136,84	143,39	124,31	127,33	131,87
<b>8</b>	31,02	32,37	34,50	33,11	31,92	30,51	N
<b>9</b>	76,84	77,35	108,02	100,64	133,67	117,85	N
<b>Medián</b>	<b>58,20</b>	<b>59,24</b>	<b>89,84</b>	<b>62,28*</b>	<b>72,76</b>	<b>59,83</b>	<b>62,69</b>
<b>25%</b>	45,99	43,09	57,26	48,93	49,44	51,83	43,34
<b>75%</b>	81,59	80,90	103,99	102,96	101,81	99,02	98,31
<b>IQR</b>	35,60	37,81	46,73	54,03	52,37	47,19	54,97
<b>% změna</b>	<b>0,00</b>	<b>0,66</b>	<b>14,79*</b>	<b>13,26*</b>	<b>4,29</b>	<b>3,55</b>	<b>10,31</b>

Tabulka č. 5 – Kalkulovaný parametr RFD a jeho procentuální změna oproti kontrole. 25% = 1. kvartil, 75% = 3. kvartil. IQR = mezikvartilové rozpětí

Výše uvedená data vykazují neparametrické rozdělení souboru s poměrně významnou variabilitou. Variantní analýza (RM ANOVA on ranks, post-analýza dle Student-Keuls-Newmana (SNK)) absolutních hodnot parametru RFD vykazuje signifikantní rozdíl mezi *control* a *TP6* ( $p=0,034$ ). Z vývoje mediánu procentuální změny lze vypočítat vzestup RFD o 14,8% v *TP3* oproti kontrolní skupině. Tato změna je statisticky signifikantní (ANOVA, SNK,  $p=0,041$ ). Statisticky signifikantní je i procentuální změna 13,3% v *TP6* (ANOVA, SNK,  $p=0,025$ ) vůči kontrolnímu měření.



Graf č. 2 – Parametr RFD a medián jeho procentuální změny (vyznačen modře).

Ukazatele věcné významnosti (dle Cohena, d) vůči TP0					
TP	TP3	TP6	TP9	TP12	TP15
Effect size (d)	0,502	0,249	0,309	0,235	0,181

Tabulka č. 6 – Ukazatele věcné významnosti (effect size, dle Cohena) vykazují nízkou až středně významnou signifikanci mezi jednotlivými TP.

S ohledem na dostupná data lze říci, že v *TP3* a *TP6* došlo ke statisticky významnému navýšení gradientu síly u sledovaných probandů oproti kontrolnímu měření.

## 6. Diskuze

### 6.1. Shrnutí analýzy dostupné literatury, identifikace konfliktních bodů a nedostatečně průkazných dat

Fenomén post-aktivační potenciace je fenoménem známým ve sportovní vědě již více než 40 let. Navzdory poměrně intenzivnímu výzkumu (o čemž svědčí více než 2700 publikací), zůstávají některé jeho aspekty dosud uspokojivě neobjasněny. Hlavní otázkou je vlastní fyziologický mechanismus, který stojí v pozadí PAP. V kapitole Fyziologické mechanismy PAP jsou popsány dva hlavní mechanismy – muskulární a neurální, kdy oba mají své oponenty i proponenty, kteří stojí za svými názory na základě experimentálních prací. Tyto práce však vznikly bez jasné standardizace výzkumných protokolů (a to zejména v procesu vlastní aktivace) a sledovaných parametrů, tudíž zůstává otázkou, do jaké míry lze jejich výsledky srovnávat. Jednotná shoda v problematice post-aktivační potenciace panuje prakticky pouze v názoru na existenci tohoto fenoménu. Z dostupných prací pak lze vyvodit vliv PAP nikoliv na zvýšení maximální síly, nýbrž primárně její vliv na vzestup gradientu síly.

Řada prací, zmíněných v předchozích kapitolách, předkládá mnohdy protichůdné výsledky, které se týkají fyziologických mechanismů ať již periferních/muskulárních nebo neurálních. Některé další potenciální mechanismy, které se mohou minimálně parciálně podílet na PAP – jako podíl zpeřnosti svalu či tuhost šlachy, nejsou podpořeny dostatečně průkaznými daty nebo nebyly hlouběji experimentálně zkoumány. Tak či tak bude potřeba dalšího výzkumu, cíleného primárně nikoliv na existenci fenoménu PAP, ale na snahu o vysvětlení hlavního fyziologického mechanismu. V tomto ohledu bude (by měl) následovat návrat k základnímu *in vitro* či aplikovanému výzkumu na zvířecím modelu spíše než další práce s lidskými dobrovolníky. Teprve na podkladě základního výzkumu bude možné vytvořit optimální experimentální protokol, který bude nezbytně individuálně upravit dle vnitřních a vnějších faktorů daného jedince.

Tato konfliktní situace, v kombinaci s již dříve zmíněnou absencí experimentálního standardizovaného protokolu aktivace, spolu s nedostatkem nástrojů pro následnou individualizaci aktivačního protokolu pro daného sportovce má detrimetální vliv na transfer výsledků experimentálních prací do sportovní praxe. Jistě existují trenéři, kteří využívají PAP na základě dlouholeté empirie, nicméně je otázkou,



do jaké míry se jim touto cestou daří využít potenciál PAP.

S ohledem na dříve uvedené lze očekávat, že do sportu a primárně do sportovní vědy budou pronikat technologie jako například povrchová EMG či ultrasonografie. Potenciál těchto neinvazivních metod je obrovský. V kapitole Faktory ovlivňující PAP bylo zmíněno, že maximální potenciace svalové kontrakce lze dosáhnout po předchozí aktivaci maximálního množství nervosvalových spojení. Právě EMG by v budoucnosti mohla být metodou, která by tento proces zachytila v reálném čase a která by mohla být metodou volby v procesu individualizace aktivačních protokolů. Také ultrasonografie by mohla být přínosná v rámci individualizace aktivačních protokolů, ukáže-li se podíl vlivu zpeřnosti svalu či tuhosti šlachy na fenomén PAP. Aplikaci těchto metod do praxe však bude předcházet intenzivní výzkum a v případě potenciálu využití pak dlouhodobá edukace pomocného personálu, trenérů i sportovců

## **6.2. Experimentální ověření PAP s využitím silových desek**

Z dostupné literatury vyplývá, že metodika měření PAP prostřednictvím desek pro měření kontaktních sil nebyla dosud nikdy experimentálně testována.

Experimentální část této práce je tedy první, která se danou problematikou zabývá. Aktivační protokol PAP, který byl využit v rámci experimentu, byl testovaný v již dříve publikovaných pracích. Při využití tohoto protokolu – aktivace prostřednictvím 5 dřepů se zátěží 75% 1RM provedeného ve 3 sériích s intervalem odpočinku 1 minuta – byl popsán signifikantní vliv PAP na výsledný výkon. Tento protokol byl z literatury vybrán pro svou jednoduchost při výpočtu zatížení a neobtížnou realizaci v rámci laboratoře, kde probíhalo měření.

Sledované parametry – v tomto případě maximální síla vztažená na tělesnou hmotnost (RPF) a gradient síly (RFD) – byly zvoleny jako parametry, které jsou v souvislosti s problematikou PAP sledovány nejčastěji. Zatímco RPF je parametr, který lze odečíst z křivky, která je výstupem z měření prostřednictvím silových desek, parametr RFD je parametrem vypočítaným. Je dán podílem RPF a času, který je potřebný k dosažení této maximální síly. Tento čas lze opět získat analýzou výsledné křivky měření silovými deskami.

Vlastní experimentální ověření PAP bylo provedeno v průběhu dvou sezení v rozestupu několika týdnů. Při prvním sezení byla modifikována metodika měření tak, aby ji bylo možné realizovat v podmínkách, které nabízela laboratorní prostory. Při

prvním sezení byli změřeni dva probandi, v průběhu druhého měření pak zbývajících sedm probandů. Celkem tak bylo změřeno devět probandů, což je v kontextu aktuálně dostupné literatury spíše podprůměrný počet v rámci sledovaného souboru. Všichni sledovaní sportovci byli mužského pohlaví, aktivně sportující jedinci, z nichž většinu tvořili atleti – především se zaměřením na sprinterské disciplíny. Medián věku byl 23 let, medián zatížení při aktivaci pak 70 kg.

V průběhu statistické analýzy parametru RPF bylo zjištěno, že získaná data vykazují nízkou variabilitu a mají parametrické rozdělení s jedním vrcholem. Tento vrchol je charakterizován pozvolným vzestupem RPF o 4,6% v *TP9* (+0,4% v *TP3 a TP6*), který je následován jeho poklesem od *TP12* (+2,2%) s normalizací k hodnotám získaným při kontrolním měření v *TP15* (-0,01%). Tyto změny však nejsou statisticky signifikantní. Změny parametru RPF v jednotlivých *TP* ve srovnání s *TP0* dosahují nízkou až středně významnou věcnou signifikanci. Během měření RPF byl zjištěn vzestup maximální síly s jeho maximem v *TP9*, tato změna však nebyla statisticky významná. Hodnoty ukazatele věcné významnosti ( $d$ )  $< 0,2$  jsou známkou triviálních rozdílů mezi hodnotami v jednotlivých *TP* (Cohen, 1988).

Analýza parametru RFD ukázala, že získaná data vykazují neparametrické rozdělení s dvouvrcholovým průběhem v měřeném souboru a významnou variabilitu danou IQR. Vzestup RFD v *TP3* (o +14,8%) s perzistencí efektu v *TP6* (+13,3%) vykazuje statistickou významnost vůči kontrolnímu měření. Tento vrchol vzestupu ve sledovaném parametru je vystřídán poklesem v *TP9 a TP12* (+4,3%, resp. +3,6% vůči kontrolnímu měření). Další vzestup v *TP15* (+10,3%) již není statisticky signifikantní. Příčina opětovného vzestupu RFD v *TP15* nebyla uspokojivě objasněna. Na této změně se mohou podílet absentující data u probandů č. 8 a 9. Z fyziologických procesů pak delší odstup od aktivačního protokolu při překonání mechanismů únavy či pouze chyba měření. Parametr RFD vykazuje signifikantní vzestup gradientu síly ve sledovaných *TP3 a TP6*. Změny v jednotlivých *TP* vůči *TP0* vykazují nízkou až středně významnou věcnou signifikanci.

Získané výsledky korelují s aktuálně dostupnou literaturou (Golas, 2016; Drury, 2014; Kilduff, 2011; Judge, 2010; Kummel, 2016; Creekmur, 2016) i všeobecně přijímanými závěry, podle nichž je vzestup výsledného výkonu ve sledovaných cvičeních, vyžadujících primárně explozivní sílu, výsledkem primárně vzestupu gradientu síly, nikoliv vzestupu maximální síly.

S ohledem na metodiku práce je však nezbytné zmínit některé faktory, které se mohly podílet na výsledku experimentu. Prvním faktorem je významná nehomogenita sledované skupiny ve sledovaných morfologických parametrech, ve variabilitě věku a také ve sportovním zaměření. Tato nehomogenita, především věková, může být potenciální příčinou významných rozdílů mezi jednotlivými probandy, jak dokázaly již dříve publikované práce (Arabatzí, 2004). Významný nedostatek lze spatřit v absenci probandů ženského pohlaví. Možným zdrojem rozdílů ve sledovaném souboru může být i úroveň trénovanosti probandů. Tato nebyla žádným způsobem kvantifikována a to s ohledem na malý soubor probandů. Podíl může mít i rozestup mezi jednotlivými sezeními. První sezení bylo realizováno v přípravném období (v ročním tréninkovém cyklu atleta), druhé pak v období závodním. Dalším nedostatkem je absence standardizace v rámci přípravy před experimentem, kdy probandi nebyli nuceni dodržet stanovený klidový režim. Z toho důvodu se na výsledném měření mohl významně podílet i faktor únavy.

Optimální soubor probandů by měl imitovat rozložení skupin sportovců dle daného sportovního odvětví. V případě atletiky by měla skupina zahrnovat sportovce stejného zaměření, co se týče specializace, dále by měla vykazovat nízkou variabilitu ve sledovaných morfologických parametrech a nízkou variabilitu věku. Rozložení probandů mužského a ženského pohlaví je diskutabilní při existenci mužských / ženských skupin. Všichni probandi by měli být na podobné výkonnostní úrovni s nízkou variabilitou rozložení tréninkových jednotek a jejich obsahu v průběhu mikrocyklu. V rámci metodiky by dále měl být standardizován protokol zahrnující odpočinek před vlastním měřením, které by mělo proběhnout optimálně v jediném sezení.

## 7. Závěr

Žijeme ve vzrušující době transformace prakticky všech odvětví lidského konání mezi empiric-based a evidence-based přístupů ke specifickým problémům a tato proniká pozvolna i do světa sportu. S narůstajícím množstvím vědomostí roste i zájem o nové informace, narůstá snaha o implementaci nových technologií, postupů a přístupů do sportovní přípravy. Profesionální sportovní špička je v současné době tak vyrovnaná, že každý detail, každý nový poznatek či přístup znamená rozdíl mezi vítězstvím a prohrou, mezi slávou a zapomněním.

Fenomén PAP může být jedním z těch detailů, které mohou rozhodovat o vítězství. Nejprve však bude nezbytné objasnit to základní, tedy fyziologii. Na tomto základě bude možné vyvinout postupy, které umožní plné využití potenciálu PAP. Dalším krokem bude implementace těchto postupů do sportovní praxe.

Cílem této práce bylo shrnout a systematicky utřídit aktuálně dostupná data týkající se problematiky post-aktivační potenciace a jejího možného využití ve sportu, dále pak poukázat na nedostatečně průkazná data a konfliktní body a vyzdvihnout cesty možného směřování dalšího výzkumu. Její součástí bylo i experimentální ověření PAP na podkladě vytvořené metodiky s využitím silových desek a srovnání výstupů z experimentu s dostupnou literaturou. S ohledem na výše uvedené lze říci, že cíle a dílčí úkoly práce byly naplněny.

## 8. Seznam literary

ALLEN, DG., LAMB, GD., WESTERBLAD, H. *Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. Physiological Reviews*, 2008, vol. 88, no. 1, s. 287–332.

ANTHI, X., DIMITRIOS, P., CHRISTOS, K. On the mechanisms of post-activation potentiation: The contribution of neural factors. *Journal of Physical Education and Sport*, 2014, vol. 14, no. 2, s. 134–137

ARABATZI, F., PATIKAS, D., ZAFEIRIDIS, A., GIAVROUDIS, K., KANNAS, T., GOURGOULIS, V., KOTZAMANIDIS, CM. (2014). The Post-Activation Potentiation Effect on Squat Jump Performance: Age and Sex Effect. *Pediatric Exercise Science*, 2004, vol. 26, no. 2, s. 187–194.

BARRET, KE., BARMAM, SM., BOITANO, S., BROOKS, H. *Ganong's Review of Medical Physiology*. 25<sup>th</sup> Edition. New York: McGraw-Hill, 2015. ISBN 978-0071825108

BRITO, R., ALAMO, L., LUNDBERG, U., GUERRERO, JR., PINTO, A., SULBARAN, G., PADRON, R. A molecular model of phosphorylation-based activation and potentiation of tarantula muscle thick filaments. *Journal of Molecular Biology*, 2011, vol. 414, no. 1, s. 44–61.

BRUTON, JD., WESTERBLAD, H., KATZ, A., LANNERGREN, J. (1996). Augmented force output in skeletal muscle fibres of *Xenopus* following a preceding bout of activity. *The Journal of Physiology*, 1996, vol. 493, s. 211–217.

COHEN, J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2<sup>nd</sup> Edition. NJ: Lawrence Erlbaum, 1988.

CREEKMUR, CC., HAWORTH, J., COX, RH., WALSH, MS. Effects of plyometrics performed during warm-up on 20 and 40 meter sprint performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2016, vol. 57, no. 5, s. 550-555.

CRISWELL, E. *Cram's Introduction to Surface Electromyography*. 2<sup>nd</sup> Edition. Jones & Bartlett Learning, 2011. ISBN 978-0763732745

DEL ROSSO, S., BARROS, E., TONELLO, L., OLIVEIRA-SILVA, I., BEHM, DG., FOSTER, C., BOULLOSA, DA. Can pacing be regulated by post-activation potentiation? Insights from a self-paced 30 km trial in half-marathon runners. *PLoS ONE*, 2016, vol. 11, no. 3, s. 1–16.

DRURY, B., TWIST, C. The Effects of Acute Heavy Eccentric Loading on Post-Activation Potentiation. *Journal of Australian Strength Conditioning*, 2014, vol. 22, no. 5, s. 195–201.

FAUCI, ANTHONY S., HARRISON, TR., eds. *Harrison's principles of internal medicine*. 17<sup>th</sup> Edition. New York: McGraw-Hill Medical, 2008. ISBN 978-0-07-147692-8.

- FOLLAND, JP., WAKAMATSU, T., FIMLAND, MS. The influence of maximal isometric activity on twitch and H-reflex potentiation, and quadriceps femoris performance. *European Journal of Applied Physiology*, 2008, vol. 104, no. 4, s. 739–748.
- FUKUNAGA, T., ICHINOSE, Y., ITO, M., KAWAKAMI, Y., FUKASHIRO, S. Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *Journal of Applied Physiology*, 1997, vol. 82, no. 1, s. 354-358.
- FUKUTANI, A., HIRATA, K., MIYAMOTO, N., KANEHISA, H., YANAI, T., KAWAKAMI, Y. Effect of conditioning contraction intensity on postactivation potentiation is muscle dependent. *J Electromyogr Kinesiol*, 2014, vol. 24, no. 2, s. 240-5.
- GOŁAŚ, A., MASZCZYK, A., ZAJAC, A., MIKOŁAJEC, K., STASTNY, P. Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *Journal of Human Kinetics*, 2016, vol. 52, no. 1, s. 95–106.
- GOLAS, A., WILK, M., STASTNY, P., MASZCZYK, A., PAJERSKA, K., ZAJAC, A. Optimizing Half Squat Post Activation Potential Load In Squat Jump Training For Eliciting Relative Maximal Power In Ski Jumpers. *Journal of Strength and Condition Research*, 2017.
- GORDON, AM., HOMSHER, E., REGNIER, M. Regulation of contraction in striated muscle. *Physiological Reviews*, 2000, vol. 80, no. 2, s. 853–924.
- GULLICH, A., SCHMIDTBLEICHER, D. MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Stud Athl*, 1996, vol. 4, s. 67-80.
- HAMADA, T., SALE, DG., MACDOUGALL, JD., TARNOPOLSKY, MA. Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 2003, vol. 178, no. 2, s. 165–173.
- HODGSON, M., DOCHERTY, D., ROBBINS, D. Post-Activation Potentiation. *Sports Med*, 2005, vol. 35, no. 7, s. 585–596.
- HODGSON, MJ., DOCHERTY, D., ZEHR, EP. Postactivation potentiation of force is independent of h-reflex excitability. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2008, vol. 3, no. 2, s. 219–231.
- HOUSTON, ME., GREEN, HJ., STULL, JT. Myosin light chain phosphorylation and isometric twitch potentiation in intact human muscle. *Pflugers Archiv : European Journal of Physiology*, 1985, vol. 403, no. 4, s. 348–352.
- HOUSTON, ME., GRANGE, RW. Myosin phosphorylation, twitch potentiation, and fatigue in human skeletal muscle. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 1990, vol. 68, no. 7, s. 908–913.

- HOUSTON, ME., GRANGE, RW. Torque potentiation and myosin light-chain phosphorylation in human muscle following a fatiguing contraction. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 1991, vol. 69, no. 2, s. 269-73.
- IGLESIAS-SOLER, E., PAREDES, X., CARBALLEIRA, E., FERNA, M., MA, G. Effect of intensity and duration of conditioning protocol on post-activation potentiation and changes in H-reflex. *European Journal of Sport Science*, 2011, vol. 11, no. 1, s. 33-38.
- JUDGE, LW., BELLAR, D., JUDGE, M. Efficacy of Potentiation of Performance Through Overweight Implement Throws on Male and Female High-School Weight Throwers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2010, vol. 24, no. 7, s. 1804–1809.
- JUNQEIRA, LC., KELLEY, R., JELÍNEK, R., CARNEIRO, J. *Základy histologie*. 7. vydání. Jinočany H+H, 1997. ISBN 8085787377
- JURKAT-ROTT, K., LEHMANN-HORN, F. Review series Muscle channelopathies and critical points in functional and genetic studies. *Gene*, 2005, vol. 115, no. 8.
- KILDUFF, LP., CUNNINGHAM, DJ., OWEN, NJ., WEST, DJ., BRACKEN, RM., COOK, CJ. Effect of Postactivation Potentiation on Swimming Starts in International Sprint Swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2011, vol. 25, no. 9, s. 2418–2423.
- KÜMMEL, J., BERGMANN, J., PRIESKE, O., KRAMER, A., GRANACHER, U., GRUBER, M. Effects of conditioning hops on drop jump and sprint performance: a randomized crossover pilot study in elite athletes. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 2016, vol. 8, no. 1, s. 1.
- MAHLFELD, K., FRANKE, J., AWISZUS, F. Postcontraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle. *Muscle and nerves*, 2004, vol. 29, no. 4, s. 597-600.
- MCCOMAS, AJ., GALEA, V., DE BRUIN, H. Motor unit populations in healthy and diseased muscles. *Physical Therapy*, 1993, vol. 73, no. 12, s. 868–877.
- METTLER, JA., GRIFFIN, L. Postactivation potentiation and muscular endurance training. *Muscle Nerve*, 2012, vol. 45, no. 3, s. 416-25.
- MIYAMOTO, N., MITSUKAWA, N., SUGISAKI, N., FUKUNAGA, T., KAWAKAMI, Y. Joint angle dependence of intermuscle difference in postactivation potentiation. *Muscle Nerve*, 2010, vol. 41, no. 4, s. 519-23.
- MORANA, C., PERREY, S. Time course of postactivation potentiation during intermittent submaximal fatiguing contractions in endurance- and power-trained athletes. *Journal of Strength and Condition Research*, 2009, vol. 23, no. 5, s. 1456-64.

PALMIERI, RM., INGERSOLL, CD., HOFFMAN, MA. The Hoffmann Reflex: Methodologic Considerations and Applications for Use in Sports Medicine and Athletic Training Research. *Journal of Athletic Training*, 2004, vol. 39, no. 3, s. 268–277.

RYDER, JW., LAU, KS., KAMM, KE., STULL, JT. Enhanced Skeletal Muscle Contraction with Myosin Light Chain Phosphorylation by a Calmodulin-sensing Kinase. *Journal of Biological Chemistry*, 2007, vol. 282, no. 28, s. 20447–54.

SALE, DG. Postactivation potentiation: role in human performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 2002, vol. 30, no. 3, s. 138–143.

STULL, J. T., KAMM, KE., VANDENBOOM, R. Myosin light chain kinase and the role of myosin light chain phosphorylation in skeletal muscle. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2011, vol. 510, no. 2, s. 120–128.

TILLIN, NA., BISHOP, D. Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Med*, 2009, vol. 39, no. 2, s. 147–66.

TRIMBLE, MH., HARP, SS. Postexercise potentiation of the H-reflex in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1998, vol. 30, no. 6, s. 933–941.

TSIMACHIDIS, C., PATIKAS, D., GALAZOULAS, C., BASSA, E., KOTZAMANIDIS, C. The post-activation potentiation effect on sprint performance after combined resistance / sprint training in junior basketball players, 2013, vol. 31, no. 10, s. 1117–1124.

TUBMAN, LA., MACINTOSH, BR., MAKI, WA. Myosin light chain phosphorylation and posttetanic potentiation in fatigued skeletal muscle. *Pflugers Archiv : European Journal of Physiology*, 1996, vol. 431, no. 6, s. 882–887.

VERKHOSANSKY, Y., TETYAN, V. Speed-strength preparation of future champions. *Legkaya Atleika*, 1973, vol. 2, no. 2, s. 12–13.

ZHI, G., RYDER, JW., HUANG, J., DING, P., CHEN, Y., ZHAO, Y., STULL, JT. Myosin light chain kinase and myosin phosphorylation effect frequency-dependent potentiation of skeletal muscle contraction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2005, vol. 102, no. 48, s. 17519–17524.

ZUCKER, RS., REGEHR, WG. (2002). Short-term synaptic plasticity. *Annual Review of Physiology*, 2002, vol. 64, s. 355–405.