

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

**Vytipování genetické predispozice ovlivňující sportovní výkon se  
zaměřením na anaerobní aktivitu kosterní svalové činnosti**

Autoreferát disertační práce

Vedoucí disertační práce:

Doc. MUDr. Eva Kohlíková, CSc.

Zpracovala:

Mgr. Iva Balkó

Praha 2017

# **ABSTRAKT**

## **Název práce**

Vytipování genetické predispozice ovlivňující sportovní výkon se zaměřením na anaerobní aktivitu kosterní svalové činnosti

## **Problém**

Vrozené dispozice každého jedince jsou ovlivněny především zděděnou genetickou informací v podobě DNA a určitým vlivem vnějšího prostředí. Na základě vysoké variability vrozených předpokladů v podobě fenotypických odlišností v anatomii či fyziologii jedince lze usuzovat na spojitost genetické výbavy a určitého sportovního talentu. Podle současných vědeckých poznatků jsou více geneticky podmíněny sportovní výkony spojené s anaerobní aktivitou kosterní svaloviny. Anatomické a funkční vlastnosti kosterní svaloviny jsou ovlivněny geny, které mají vliv na strukturu svalových vláken, krevní zásobení, látkovou přeměnu, neurotransmisi, regeneraci svalu aj. Sportovní šerm je komplexní sportovní disciplína, kde významnou úlohu hrají rychlostní předpoklady a dynamická síla. Sportovní výkon v šermu, bez ohledu na typ zbraně, je závislý na interakcích mezi reakcí šermíře na podněty z okolního prostředí (vizuální, taktilní), přesností, taktickými a technickými dovednostmi, úrovní anticipace a celkovou fyzickou a psychickou připraveností šermíře. Práce vychází z předpokladu, že u sledovaných proměnných v anaerobním Wingate testu (maximální výkon, maximální výkon vztahený na kilogram tělesné hmotnosti, anaerobní kapacita, celkový počet otáček, vrcholová hladina laktátu) a ve specifických motorických testech (reakční doba, pohybový čas přímého bodu a výpadu, rychlost provedení specifického člunkového testu a rychlost aktivace vybraných svalů) budou zjištěny rozdíly mezi šermíři různého genotypu. Tento předpoklad je založen na výsledcích a tvrzeních předchozích studií a odborné literatury, kde autoři upozorňují na skutečnost, že existují rozdíly v zastoupení určitého genotypu a konkrétního sportovního výkonu.

## Cíl práce

Cílem práce je zjistit, zda existuje závislost mezi vybranými polymorfismy genů a výsledky dosaženými v použitých testech u skupiny elitních a subelitních šermířů. Dílčím cílem práce je zjistit, zda existuje souvislost mezi sledovanými polymorfismy a rychlostí aktivace vybraných svalů při výpadu.

## Metody

Výzkumný soubor tvořilo celkem 30 šermířů (muži, kordisté a fleretisté ve věku  $24,9 \pm 6,2$  let) první a druhé výkonnostní třídy (elitní a subelitní) Českého i Slovenského šermířského svazu. Pro genotypovou analýzu vybraných polymorfismů bylo využito bukálních stěrů, které byly zpracovány v genetických laboratořích (Genomac výzkumný ústav, s.r.o; Ústav biologie a lékařské genetiky 1. Lékařská fakulta UK). Pro diagnostiku anaerobního výkonu byl využit třicetivteřinový Wingate test (WT30). Úroveň reakční doby na vizuální podnět a rychlost výpadu byla sledována pomocí zařízení Fitrosword (Fitronic, s.r.o, Bratislava). Dále byl využit specifický člunkový test pro šerm. Doplnující metoda analýzy časové aktivace vybraných svalů při výpadu byla měřena za využití povrchové elektromyografie (ME6000, MEGA Electronics, Ltd., Finsko).

Výsledky z výše uvedených testů byly porovnány s těmito polymorfismy: *ACTN3* R577X, *ACTN3* (rs2229455), *ACE* ID, *NOS3* Glu298Asp, *AMPD1* C34T, *BDKRB2* +9/-9 a *CNTF* G1357A. Rozložení genotypové a alelové frekvence šermířů bylo zároveň porovnáno s obecnou populací kavkazoidního typu.

## Výsledky a závěry

Po porovnání vyšetřených frekvencí alel a genotypů skupiny šermířů s obecnou populací kavkazoidního typu nebyly nalezeny žádné rozdíly ani v jednom sledovaném polymorfismu. Významné rozdíly byly identifikovány u polymorfismů *ACTN3* R577X, *ACE* ID, *BDKRB2* +9/-9 a *NOS3* Glu298Asp u vybraných proměnných zjištěných ve Wingate testu.

Mezi zastoupením polymorfismů *NOS3* Glu298Asp, *BDKRB2* +9/-9 a *CNTF* G1357A a výsledky specifických motorických testů (reakční doba výpadu, pohybová rychlost výpadu, celková rychlost pohybu, specifický člunkový test i aktivace vybraných svalů) byly také nalezeny významné rozdíly. Dále bylo zjištěno, že osob, u kterých byla identifikována alela -9

polymorfismu *BDKRB2* +9/-9 mají rychlejší časovou aktivaci svalů *m. rectus femoris* a *m. deltoideus* při výpadu než šermíři s genotypem +9/+9.

Na základě výsledků je možné konstatovat, že s ohledem na různé zastoupení polymorfismů u skupiny šermířů byly zjištěny rozdíly ve výkonech v anaerobním testu WT30, reakční době při výpadu, pohybovém času výpadu, celkové době výpadu, specifickém člunkovém testu i aktivaci vybraných svalů. Je však nutné pohlížet na tyto výsledky s jistým nadhledem, jelikož sportovní výkon nepochybně ovlivňuje celá řada dalších vnitřních i vnějších faktorů.

### **Klíčová slova**

Anaerobní výkon, polymorfismus, sportovní šerm, genotypy, motorické testy, genetické predispozice, reakční doba, pohybový čas

# 1 ÚVOD

Veškeré aktivity mnohobuněčných organismů jsou zajištěny molekulou deoxyribonukleové kyseliny (DNA), která organizuje kompletní fungování celého organismu (Snustad & Simons, 2009). Vysoká variabilita děděné genetické informace a rozdílný vliv vnějšího prostředí (životní styl, výživa, ekonomické možnosti, trénink aj.) určuje míru projevu vrozených dispozic. Míra vrozených předpokladů je velmi variabilní. Rozdíly lze nalézt i v rámci jednotlivých oblastí uplatnění člověka, ať už se jedná o oblast uměleckou či sportovní. Na základě dostupných informací lze usuzovat na spojitost mezi genetikou a sportovním výkonem v určité sportovní disciplíně. Rozklíčováním vztahu mezi vnitřními předpoklady jedince a příslušností k určité sportovní disciplíně může být lépe vytipován jedinec, který bude díky genetickému vybavení dosahovat lepších výkonů než jedinec s genofondem odlišným (struktura kosterní svaloviny, regenerace, metabolismus, predikce úrazů, funkce orgánů atd.). Lze samozřejmě předpokládat, že sportovní výkon není sám o sobě utvářen pouze genetickým předurčením, ale skládá se z celé řady dalších faktorů (trénink, technická a taktická vybavenost apod.).

Pokud se zaměříme na vrcholové sportovce a jejich předpoklady k určitým typům pohybové aktivity zjistíme, že více než z 90 % jsou geneticky podmíněny somatické parametry, avšak významné rozdíly v míře vlivu byly nalezeny i u fyziologických kritérií. V rámci genetických faktorů ovlivňujících sportovní výkon se předpokládá, že existují genové varianty, které mají zásadní dopad na složení lidského těla a metabolismus. V tomto ohledu uvádí Kohlíková (2015), že u sprinterů a vytrvalců jsou významné rozdíly v míře genetických předpokladů na fyziologický účinek uplatnitelný ve sportovním výkonu. Nejvíce geneticky zatížené jsou rychlostní a reakční schopnosti, méně pak psychické vlastnosti a koordinační předpoklady. S těmito závěry nepochybně souvisí i tvrzení Leońska-Duniec (2013), že genové varianty mají vliv na velikost a složení svalových vláken, flexibilitu, nervosvalovou koordinaci, jejichž úroveň je ovlivněn sportovní výkon.

Vzhledem k tomu, že výsledky některých běžně používaných fyzických testů nelze u dětí považovat za objektivní indikátory pro určení míry sportovního potenciálu v dospělosti, mohou být genetické testy pro identifikaci sportovních talentů velmi přínosné. Podobně uvádí i Bouchard a Hoffman (2011), že genetické testování mladých sportovců nabízí vhodný způsob identifikace výkonových předpokladů ještě před jejich rozvojem.

Předložená disertační práce je zaměřena na sledování vztahu mezi sportovním výkonem a vybranými genetickými polymorfismy u skupiny vrcholových šermířů. Ve sportovním šermu je sportovní výkon ovlivněn celou řadou faktorů, které na šermíře v daný okamžik působí (kondiční připravenost, technická úroveň, psychika, únava nebo kvalita soupeře atd.). Na základě předchozích výzkumů (Balkó, Borysiuk, Balkó, & Špulák, 2016a; Borysiuk, 2008c; Czajkowski, 2005) lze usuzovat na skutečnost, že významnou komponentou sportovního výkonu v šermu je úroveň anaerobního výkonu a rychlost reakce. Šermíři se v průběhu zápasu snaží prostřednictvím útočných akcí zasáhnout soupeře ve vhodný okamžik. Tyto akce musí být provedeny velmi rychle, jinak dochází k odhalení záměru soupeřem a původní úmysl o zasažení může být neúspěšný. Stejně důležité je velmi rychle reagovat na činnosti protivníka. Šermíř se tak musí během několika milisekund rozhodnout, jakou útočnou či obrannou akci provede, aby nebyl zasažen nebo aby soupeře zasáhl.

Vzhledem k výše uvedeným zákonitostem je nutné v práci objasnit problematiku zabývající strukturou kosterního svalu, která ovlivňuje úroveň anaerobního výkonu. V této souvislosti uvádí Kohlíková (2015), že sportovní výkon je z hlediska genetických predispozic ovlivněn jak kvantitativní tak i kvalitativní charakteristikou svalových vláken. Genetická podmíněnost k rychlostně silovým předpokladům je podle Bouchard a Hoffman (2011) zjištěna u více než 20 genových polymorfismů. Z oblasti genetického kódování budou v práci sledovány polymorfismy genů, u kterých se předpokládá pozitivní efekt právě na rychlostně silový výkon (*ACE I/D*, *ACTN3 R577X*, *CNTF G1357A*, *AMPD1 C34T*, *BDKRB2 +9/-9* a *NOS3 Glu298Asp*). Všechny uvedené geny jsou v současných výzkumech analyzovány většinou u skupin „bělošské“ rasy v celé řadě sportovních disciplín. Ve sportovním šermu není tato problematika dostatečně rozpracována. V současné době jsme v této oblasti omezeni pouze na publikaci autorů Gronek, Kryściak, Holdys, a Gronek (2013). Problematika efektu genů pro rychlostně silové předpoklady na hodnoty motorických testů byla dostatečně rozpracována v řadě předchozích studií (Ahmetov, Egorova, Gabdrakhmanova, & Fedotovskaya, 2016; Bouchard & Hoffman, 2011; Eynon, Hanson, Lucia, Houweling, Garton, North, & Bishop, 2013; Gibson, 2009; Leońska-Duniec, 2013; Mac Arthur & North, 2005; Petr, 2015; Sessa at al., 2011; aj.). Současné studie zabývající se určením genetických predispozic ve sportu poukazují na široké možnosti uplatnění nejen při výběru sportovních talentů, ale i při výběru sportovního odvětví či disciplíny. Mohou také naznačit hranice potenciálu svěřenců s cílem předejít možným nežádoucím psychickým zatížením a zraněním.

Záměrem předložené práce je zjistit, zda existuje vztah mezi výskytem polymorfismu vybraného genu a výsledky motorických testů u skupiny elitních a sub elitních šermířů. Ve výzkumu, který je stěžejní částí předložené práce, jsou zohledněny předchozí studie zaměřené na porovnání přítomnosti určitých polymorfismů u sportovců a výkonem dosaženým v motorických testech. Problematice genetických predispozic ve sportu se ve svých studiích věnuje Bouchard et al. (1997, 2011). Velkým přínosem v řešené problematice jsou studie Ahmetov et al. (2008, 2012, 2012a, 2012b, 2016), MacArthur a North (2005), Petr (2015), Gronek et al. (2013). Autoři ve svých studiích dávají do souvislosti výskyt konkrétních polymorfismů a výkony rychlostně-silového (běh na 60m, dynamometrie - handgrip, Wingate test, skok z místa apod.) nebo vytrvalostního (VO<sub>2</sub>max) charakteru. Ve sportovním šermu se této problematice věnuje studie Gronek et al. (2013), který zmiňuje možný vliv genetiky na výkon v šermu. V dalších studiích se autoři zaměřují na problematiku reakční doby (Balkó, Borysiuk, & Šimonek, 2016b; Borysiuk, 2008a, 2008b; Borysiuk & Waskiewicz, 2008), rychlosti výpadu (Nyström, Lindwall, Ceci, Harmenberg, Swedenhag, & Ekblom, 1990; Stein, 2008; Tsolakis & Vagenas, 2010; Williams & Walmsley, 2000a) nebo svalovou koordinaci (Balkó, 2016; Balkó et al., 2016a; Williams & Walmsley, 2000a) v šermu.

V předložené práci budou s ohledem na genetické vybavení testovaných osob porovnávány výsledky běžně používaného anaerobního „all-out“ testu (Wingate test, 30s) a specifických motorických testů (pohybová rychlost přímého bodu a výpadu, reakce na vizuální podnět, specifický člunkový test), jejichž výsledky lze zohlednit při hodnocení sportovního výkonu v šermu. V souvislosti s rychlostí přenosu informace z okolního prostředí bude sledován vztah genetiky s aktivací vybraných svalů při výpadu (využití povrchové elektromyografie). Výsledky těchto testů budou porovnány s jednotlivými polymorfismy *ACE I/D*, *ACTN3 R577X*, *CNTF G1357A*, *BDKRB2 +9/-9*, *AMPD1 C34T* a *NOS3 Glu298Asp*, které byly vybrány na základě analýzy dostupných studií.

Práce vychází z předpokladu, že u vybraných proměnných budou zjištěny rozdíly mezi skupinou, u které se vyskytuje alela, u níž se předpokládá pozitivní vliv na rychlost, a mezi skupinou, kde tato alela identifikována nebude. V práci bude sledována také frekvence výskytu příslušného polymorfismu a frekvence výskytu v obecné kavkazoidní populaci (běloši).

Biologickými činiteli utvářející sportovní výkon jsou často chápány komplexní znaky, tedy znaky s multifaktoriální genetickou a přírodní etiologií. Nadaný sportovec tedy představuje čistou sbírku mnoha komplexních znaků a sportovní fenotyp tak vyplývá z náhodné kombinace mnoha genů a přírodního působení (Brutsaert & Parra, 2009). Do jaké míry se

genetické předpoklady (talent) projeví, závisí i na působení vnějšího prostředí včetně vlivu sociálních podmínek (Kohlíková, 2015). Genetická výbava nikdy nebude zcela rozhodující pro úspěch sportovce v určitém sportu, ale stanovení genotypu může být užitečným indikátorem pro potencionální úspěch, kde další faktory, jako je například uplatňovaný životní styl, tréninková příprava, výživa, osobnostní charakteristiky jsou velmi důležité (Sessa et al., 2011).

## **2 CÍL A HYPOTÉZY PRÁCE**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem práce je zjistit, zda existuje závislost mezi vybranými polymorfismy genů a výsledky dosaženými v použitých testech u skupiny elitních a subelitních šermířů. Dílčím cílem práce je zjistit, zda existuje souvislost mezi sledovanými polymorfismy a rychlostí aktivace vybraných svalů při výpadu.

### **2.2 Hypotézy práce**

#### **H1**

Bude zjištěn významný rozdíl ve frekvenci alel vybraných polymorfismů (*ACTN3* R577X, *ACE* ID, *CNTF* G1357A, *BDKRB2* +9/-9, *NOS3* Glu298Asp, *AMPD1* C34T) mezi skupinou šermířů a běžnou populací.

#### **H2**

Předpokládáme, že bude zjištěn významný rozdíl ve frekvenci alel vybraných polymorfismů (*ACTN3* R577X, *ACE* ID, *CNTF* G1357A, *BDKRB2* +9/-9, *NOS3* Glu298Asp, *AMPD1* C34T) mezi skupinou šermířů a běžnou populací.

#### **H3**

Mezi skupinami šermířů různého genotypu vybraných polymorfismů bude zjištěn významný rozdíl mezi proměnnými reprezentující anaerobní výkon WT30.

#### **H4**

Mezi skupinami šermířů různého genotypu zvolených polymorfismů bude zjištěn významný rozdíl mezi výkony zjištěnými ve specifických motorických testech (jednoduchá



reakční doba, pohybový čas přímého bodu, pohybový čas výpadu, reakční doba při výpadu, celková rychlost výpadu, specifický člunkový test).

## **H5**

Mezi skupinami šermířů různého genotypu konkrétních polymorfismů bude zjištěn významný rozdíl v rychlosti aktivace svalů *m. deltoideus pars anterior* na výpadové straně a *m. rectus femoris* na odrazové dolní končetině.

## **3 METODA**

### **3.1 Charakteristika výzkumného souboru**

Výzkumu se zúčastnili šermíři Českého šermířského svazu (ČŠS) a šermíři ze Slovenského šermiarského svazu (SŠS). V oblasti zaměřené na komparaci výskytu polymorfismu vybraných genů mezi šermíři a běžnou kavkazoidní populací bylo genetické vyšetření provedeno u 30 šermířů (muži, kordisté a fleretisté) ve věku 24,9 ( $\pm$  6,2). Celková délka aktivního šermu u těchto šermířů je 12,1  $\pm$  5,2 let, průměrná výška 184,3 ( $\pm$  4,6) a průměrná váha 76,6 ( $\pm$  7,6). V další oblasti výzkumu, ve které byl zjišťován vztah mezi výskytem polymorfismů vybraných genů a výkony v anaerobním rychlostně-silovém testu (WT30), byly sledované proměnné ( $P_{max}$ ,  $P_{max/kg}$ , AnC, RPT, LApeak) z důvodu dostupnosti výzkumného souboru a materiálního zajištění měřeny pouze u 20 šermířů ČŠS (muži, kordisté a fleretisté) ve věku 25,5 ( $\pm$  6,9). Celková doba aktivního šermu u těchto šermířů je 13,4 ( $\pm$  6,5), průměrná výška 185,1 ( $\pm$  5,8) a průměrná váha 78,3 ( $\pm$  9,8). V poslední oblasti byly výsledky genetického vyšetření porovnány s výkony dosaženými ve specifických motorických testech (rychlost reakce, rychlost výpadu, rychlost přímého bodu, specifický člunkový test) a výsledky zjištěnými povrchovou elektromyografií (rychlost aktivace vybraných svalů při výpadu). V této oblasti byly sledovány výsledky všech 30 šermířů, stejně jako v první oblasti.

### **3.2 Organizace sběru genetického materiálu**

Polymorfismy 30 šermířů byly vyšetřeny v genetické laboratoři Genomac výzkumný ústav, s.r.o. a v laboratoři molekulární diagnostiky na Ústavu biologie a lékařské genetiky1.

Lékařské fakulty UK v Praze. DNA byla získána prostřednictvím bukalních stěrů, kdy se DNA neinvazivní metodou odebírá z epitelálních buněk sliznice v ústech a někdy i z vyskytujících se leukocytů. Zajišťuje tak střední výtěžek kvalitní DNA. Sběr vzorků byl proveden pomocí odběrové sady (tzv. kitu), který byl zajištěn genetickou laboratoří. Součástí odběrové sady byla průvodka ke vzorkům, návod k odběru vzorku, odběrový kartáček a zkumavka (příloha 3). Bukální stěr byl proveden speciálními sterilními kartáčky, které byly po setření vloženy do zkumavky s víčkem. Pro odběr vzorků bylo nezbytné dodržet níže uvedené zásady:

- čistota úst - 30 min před odběrem nesměly vyšetřované osoby pít, kouřit a čistit si zuby,
- zabránit kontaminaci vzorku předměty v okolním prostředí,
- skladovat vzorky v lednici před jejich transportem do laboratoře (předejde se jejich znehodnocení – rozpadu DNA na menší molekuly nebo případnému bakteriálnímu znehodnocení).

Získané vzorky byly důkladně popsány a odvezeny do genetické laboratoře, kde byla následně provedena genotypová analýza.

### **3.3 Metoda pro zjištění úrovně anaerobního výkonu WT30**

Pro diagnostiku anaerobních schopností byl využit 30s Wingate test (dále jen WT30), který byl proveden na kalibrovaném bicyklovém ergometru Monark 824E (MONARK, Vansbro, Švédsko) s připojením na počítač. Zahájení testu předcházelo rozcvičení na ergometru na úrovni srdeční frekvence 120 tepů/min s postupným zvyšováním frekvence šlapání s minimálním odporem, který se změnil v okamžiku dosažení maximální frekvence otáček. Po dosažení této hodnoty došlo k zahájení 30 s testu s brzdícím odporem 6W/kg, který byl závislý na hmotnosti jedince a představoval 0,106 kg/kg (Vandewalle, Peres, Heller, & Monod, 1985). Testované osoby byly instruovány, aby test prováděly s maximálním úsilím po dobu 30 vteřin. Měření WT30 probíhalo v Biomedicínské laboratoři FTVS UK v období měsíců května a června (2012), v době vrcholu závodního období.

S ohledem na komparaci výsledků z WT30 a polymorfismů byly využity hodnoty, které úzce souvisí maximálními rychlostně-silovými předpoklady. Sledovány byly hodnoty výkonu vyjádřené jako maximální anaerobní výkon ve wattech ( $P_{max}$ ; W) a relativní maximální výkon vůči hmotnosti vyjádřený ve wattech na kilogram tělesné hmotnosti ( $P_{max}/kg$ ; W/kg), které se zjišťovaly v nejlepší pětivteřinové intervalu. Dále byla sledována celková vykonaná práce

v testu (AnC; kJ), hodnoty maximálního počtu otáček (RPT) a vrcholová koncentrace laktátu v krvi (LApeak). Všechny zjištěné hodnoty byly porovnány s vyšetřenými polymorfismy.

### **3.4 Metoda pro zjištění výkonu ve specifických motorických testech aktivace vybraných svalů**

Tato část práce je zaměřena na objasnění postupů při zjišťování výkonů dosažených ve specifických testech (reakční doba jednoduchá na vizuální podnět, rychlost přímého bodu, reakční doba při výpadu, pohybový čas výpadu, celková rychlost výpadu, specifický člunkový test). Prostřednictvím povrchové elektromyografie byla sledována rychlost aktivace vybraných svalů (*m. rectus femoris* na odrazové straně a *m. deltoideus pars anterior* na výpadové straně). Uvedené svaly byly pro měření vybrány na základě doporučení Balkó (2016), který uvádí, že oba zmíněné svaly jsou při výpadu zapojovány v přirozené posloupnosti z důvodu zajištění stabilizace těla před provedením pohybu (*m. rectus femoris* a následně *m. deltoideus*). Měření probíhalo v prostorách šermířské haly SC Praha a USK Praha a v prostorách sportovního centra Mladost' (Bratislava) v období měsíce května a června (2012 a 2013).

#### **Jednoduchá reakční doba**

Při měření jednoduché reakční doby (JRD) stáli testovaní šermíři ve střehové pozici. Číšku kordu měli šermíři položenou na vodorovné překážce. Při rozsvícení červené LED diody provedli přímý bod extenzí v loketním kloubu a zasáhli terč. Při tomto měření generoval software SWORD 20 podnětů. Reakční dobu lze v tomto ohledu považovat za motorickou reakci ozbrojené paže. Všechny testované osoby měly provést daný pohyb z téže pohybové vzdálenosti, která byla určena 125 cm od zásahového terče. Do tohoto místa byla umístěna vodorovná překážka. Stejně jako Williams a Walmsley (2000a, 2000b) byl střed terče umístěn ve výšce mečovitého výběžku hrudní kosti testované osoby ve vzpřímeném postoji. V případě rozsvícení červené LED diody, kdy měli šermíři provést pouze přímý bod, se dioda rozsvítila 20 krát po sobě. Na základě doporučení Tanaka, Hasegawa, Kataoka, a Katz (2010) byly u jednoduché reakce vyloučeny hodnoty přesahující 1000 ms. Vyloučeny byly také hodnoty pod úrovní 100 ms, které označují Iida, Miyazaki, a Uchida (2010) jako anticipační. Pro statistické zpracování bylo využito 15 po sobě jdoucích správných pokusů, které nebyly považovány za anticipační ani chybné.

## **Rychlost přímého bodu**

Při měření rychlosti přímého bodu bylo využito hodnot zjištěných z měření RD. Rychlost přímého bodu byla sledována od okamžiku, kdy číška kordu opustila vodorovnou překážku a končila okamžikem zasažení terče. Rychlost přímého bodu byla tedy vypočítána odečtením reakční doby od celkové doby potřebné pro zasažení terče (doba od výskytu podnětu po zasažení terče). Pro další zpracování bylo opět využito 15 po sobě následujících pokusů, které nebyly považovány za anticipační ani chybné.

## **Reakční doba, pohybová rychlost a celková doba výpadu**

Podobně tomu bylo i v případě zjišťování proměnných při výpadu. Šermíř ve střežové pozici měl po rozsvícení červené LED diody zasáhnout zásahový terč z předem vymezené pohybové vzdálenosti. Stejně jako u JRD je reakční doba při výpadu (RDV) chápána jako motorická reakce. V tomto případě byla testovaná osoba (respektive nejbližší okraj vnitřní části chodidla vzdálenějšího od terče), stejně jako ve studiích Williams a Walmsley (2000a, 2000b), vzdálena od zásahového terče v předem vymezené vzdálenosti (koeficient 1,5 x výška testované osoby). Střed zásahového terče byl umístěn ve výšce mečovitého výběžku testované osoby ve vzpřímeném postoji. Při tomto měření generoval software SWORD 20 podnětů stejně jako pro RD (rozsvítla se červená LED dioda). Pohybová rychlost výpadu (PRV) byla vypočítána stejným způsobem jako v případě měření rychlosti přímého bodu (doba od opuštění číšky z vodorovné překážky po zasažení terče). Součtem hodnot pohybové rychlosti výpadu (PRV) a reakční doby při výpadu (RDV) byla získána hodnota celkové doby provedení výpadu (CRV). Hodnota RDV je tedy čas od okamžiku rozsvícení červené LED diody do okamžiku pohybu číšky přes vodorovnou překážku. Pro statistické zpracování dat bylo využito u všech proměnných prvních 15 korektních pokusů.

## **Specifický člunkový test (SČT)**

Pro zjištění úrovně rychlostních předpokladů šermířů byl zvolen specifický člunkový test podobně jako v předchozích studiích (Iglesias & Rodríguez, 2008; Tsolakakis & Vagenas, 2010). Testovaná osoba stála před zahájením měření ve střežové pozici za základní linií (5 cm široká čára z lepicí pásky). Po signalizaci (povel „start“) se šermíř prostřednictvím „korektních“ posunů (šermíři nesměli skákat a museli mít vždy aspoň jednu nohu v kontaktu s podložkou) přemístil na koncovou linii, které se dotkl nohou a následně se vrátil prostřednictvím odsunů zpět k základní linii. Základní a koncová linie byly od sebe vzdálené 5 metrů. Pro úspěšné

splnění testu musela testovaná osoba prostřednictvím posunů a odsunů překonat celkovou vzdálenost 30 metrů. Pro určení konce testu byl rozhodující okamžik došlapu zadní nohy šermíře na základní linii. Každý subjekt absolvoval tento test 2x s třicetiminutovou pauzou pro odpočinek. Pro statistické zpracování bylo využito lepšího času z těchto dvou měření. Pro měření byly využity digitální stopky. Šermíři se pohybovali vždy po linoleu.

### **Rychlost aktivace vybraných svalů při výpadu**

Pro měření rychlosti aktivace svalů bylo využito zařízení ME6000 (MEGA Electronics, Ltd., Finsko). Zařízení ME6000 bylo nastaveno na vzorkovací frekvenci 1000 Hz. Aby bylo možné zjistit aktivaci svalu při zahájení výpadu vzhledem k rozsvícení LED diody v software MegaWin, byl dodatečně doplněn interfejs systému Fitrosoft o výstup, díky němuž byl v okamžiku rozsvícení červené LED diody ( $\log 0 = 5 \text{ V}$ ) označen v záznamu EMG marker, poté opět došlo k přepnutí do normálního režimu ( $\log 1 = 5 \text{ V}$ ). Stejně tomu bylo i v případě zasažení terče (opět došlo k označení místa v EMG záznamu markrem). Na základě doporučení předchozích publikací (Balkó, 2016; Schmidt & Wrisberg, 2008; Williams & Walmsley, 2000a, 2000b) byly v práci sledovány pouze dva svaly, které jsou podle autorů aktivovány v přirozené posloupnosti (*m. rectus femoris* na odrazové dolní končetině a následně *m. deltoideus pars anterior* na výpadové straně). Uvedená posloupnost souvisí se zajištěním stability šermíře před zahájením pohybu. Po rozsvícení příslušné (červené) LED diody měly testované osoby provést výpad ze střehové pozice a zasáhnout zásahový terč.

Aktivace vybraných svalů byla registrována pomocí povrchové elektromyografie (SEMG). Měření zahrnovalo 20 pokusů (výpadů), mezi nimiž byl stanoven interval odpočinku maximálně 15-20 vteřin. Pro analýzu dat bylo zpracováno prvních 15 korektních pokusů. Pro určení časové aktivace byla zvolena metoda prahování vztaženého k lokálnímu maximu EMG obálky ve sledované fázi, jak doporučují Špulák et al. (2012). Z míst určených pro aplikaci elektrod bylo odstraněno ochlupení a následně došlo k očištění tohoto místa abrazivní pastou a odmaštění lihobenzínem. Použité elektrody měly Ag/AgCl senzor překrytý vlhkým gelem. Měřicí gelová oblast byla  $154 \text{ mm}^2$  a vzdálenost mezi středy dvou elektrod byla vždy 34 mm. Elektrody byly aplikovány (po expertním posouzení vhodných míst fyzioterapeutem) vždy na střed břicha vybraného svalu ve směru svalových vláken, jak doporučuje SENIAM nebo Criswell (2011).

### 3.5 Statistické analýzy

V disertační práci jsou popsány statistické postupy používané při analýze jediného SNP (single nukleotid polymorphism). Před vztahovou analýzou genetických polymorfismů byla provedena deskriptivní analýza stanovující genotypovou a alelovou frekvenci. Na základě této analýzy došlo k následnému ověření dat v Hardy-Weibergově rovnováze (HWE), která posuzuje závislost mezi alelami (Petr, 2015; Solé, Guinó, Valls, Iniesta, & Moreno, 2006).

Pro potřeby statistického zpracování výsledků bylo využito webové aplikace Test Chí kvadrát nezávislosti v kontingenční tabulce (Kábrt, 2011), programu Microsoft Excel 2010 a online software pro statistickou analýzu v genetice SNPStats (Solé et al., 2006). Byly hodnoceny závislosti (na hladině významnosti  $p < 0,05$ ) mezi frekvencí genotypů a alel u skupiny šermířů a obecné populace (Chí kvadrát test nezávislosti v kontingenční tabulce). Následovala analýza asociací mezi zjištěnými SNP a konkrétními hodnotami proměnných ze všech motorických testů založena na lineární nebo logistické regresi. Ze statistického hlediska jsou polymorfismy považovány jako kategorické proměnné s konkrétní úrovní pro každý genotyp, přičemž za referenční kategorii byla považovaná nejfrekventovanější homozygotní forma. K porovnání průměrů tří skupin genotypů byla použita analýza rozptylu (ANOVA). Základem byla  $F$ -testovací statistika rozdílnosti skupinových průměrů a nulová hypotéza předpokládala, že všechny skupiny mají v základním souboru stejnou střední hodnotu. Pokud se průměry nelišily významně, usuzovali jsme, že faktory (genotyp) neměly na závisle proměnnou (výsledky testu) vliv. Pro porovnání průměrů dvou skupin genotypů (jeden zvolený genotyp vůči kombinaci dvou genotypů zbývajících) byl použit nepárový  $t$ -test (Hendl, 2009; Miyamoto-Mikami et al., 2017).

Podle Mazzuca et al. (2015) a Solé et al. (2006) existuje pro každý sledovaný polymorfismus (zjištěné genotypy) několik modelů dědičnosti, které sledují vztahy mezi jednotlivými genotypy nebo jejich kombinacemi vzhledem k referenčnímu genotypu. Prvním nejobecnějším modelem je tzv. kodominantní model (KM – codominant model), který předpokládá, že ani jedna z alel není dominantní a každý genotyp poskytuje různou míru účinku. Další možností je tzv. dominantní model (DM – dominant model), který uvažuje o jediné kopii variantní alely, jež může dostatečně upravit působení genotypu a předpokládá, že heterozygot a homozygot variantní alely mají stejný fenotypový účinek. Je tedy možné porovnat tyto dva genotypy k referenčnímu homozygotu. Tzv. recesivní model (RM - recessive model) předpokládá, že jsou nutné dvě kopie variantní alely ke změně efektu. Superdominantní model (SDM – over-dominant model) zvýhodňuje heterozygoty a porovnává účinek

heterozygotního genotypu k oběma genotypům v podobě homozygotů s referenční i variantní alelou. Posledním doplňkovým modelem je tzv. aditivní model (AM – log-additive model), který předpokládá, že každá kopie variantní alely modifikuje efekt již v aditivní formě, potom má mutantní homozygot dvakrát silnější efekt než heterozygot.

## 4 VÝSLEDKY

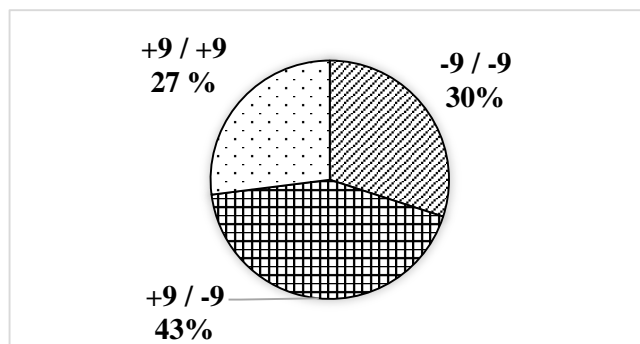
Výsledky práce jsou rozděleny do tří základních oblastí:

- a) Porovnání frekvence jednotlivých genotypů vybraných polymorfismů mezi skupinou šermířů a obecnou kavkazoidní populací (běloši).
- b) Porovnání výsledků z měření anaerobního výkonu prostřednictvím WT30 ( $P_{max}$ ,  $P_{max}/kg$ , AnC, RPT, LApeak) s výsledky zjištěných genotypů.
- c) Porovnání výsledků z měření specifických motorických testů a rychlostí aktivace vybraných svalů se zjištěnými genotypy.

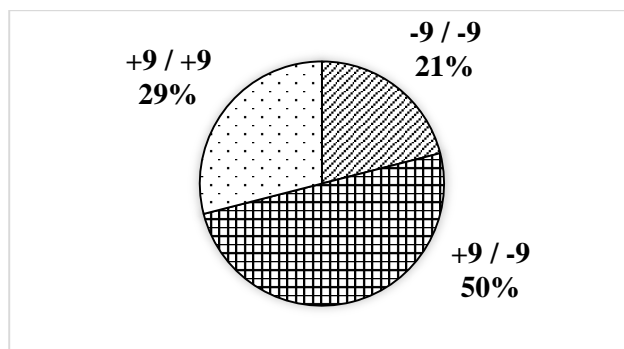
### 4.1 Porovnání frekvence alel a genotypů vyšetřených polymorfismů mezi šermíři a obecnou bělošskou populací

V této části práce jsou porovnány frekvence alel a genotypů jednotlivých polymorfismů u sledované skupiny 30 šermířů s frekvencí alel a genotypů obecné populace kavkazoidního typu. Ke každému genu je stanovená HWE s příslušnou hodnotou  $p$ .

Ani u jednoho z vybraných polymorfismů nebyl zjištěn významný rozdíl v rozložení alel nebo genotypů mezi skupinou šermířů a obecnou bělošskou populací. Nejvíce odlišné hodnoty byly nalezeny u polymorfismu BDKRB2 +9/-9. Největší rozdíl byl objeven u homozygotního genotypu s alelou -9. U skupiny šermířů dosahovala frekvence genotypu 30 % oproti obecné populaci, kde bylo dosaženo 21 %. Z obrázků 4.1 a 4.2 je patrné, že rozdíly byly nalezeny u všech genotypových frekvencí.



**Obrázek 4.1** Frekvence polymorfismu +9/-9 genu *BDKRB2* u skupiny šermířů



**Obrázek 4.2** Frekvence polymorfismu +9/-9 genu *BDKRB2* u skupiny bělošské populace (Petr, 2015; Sawczuk et al., 2013)

#### 4.2 Komparace výsledků anaerobního výkonu WT30 se zjištěnými frekvencemi genotypů sledovaných polymorfismů

V následující kapitole budou porovnány výsledky z laboratorního vyšetření WT30 s výsledky zjištěných genotypů skupiny 20 šermířů ČŠS pomocí softwaru SNPStats (Solé et al., 2006). V tabulkách jsou prezentovány průměry (směrodatné odchylky) sledovaných proměnných. Hodnoty byly vzájemně porovnány podle kodominantního modelu. V případě zjištění statisticky významného rozdílu byly doplněny tabulky, které charakterizují vybrané proměnné vzhledem k dalším možným kombinacím genotypů.



**Tabulka 4.1** Porovnání výsledků anaerobního testu WT30 u genů *ACTN3* a *ACE*

Znak	<i>ACTN3 R577X</i>				<i>ACE ID</i>			
	RR	RX	XX	<i>p</i>	DD	ID	II	<i>p</i>
<b>n</b>	6	11	3		5	9	6	
<b>Pmax</b> [ W ]	1005 (46)	974 (21)	993 (106)	0,88	884 (70,9)	1051 (24,4)	962 (44,7)	<b>0,043</b>
<b>Pmax/kg</b> [ W/kg ]	12,7 (0,5)	12,9 (0,4)	11,8 (1,2)	0,44	12 (0,8)	13,2 (0,3)	12,3 (0,6)	0,23
<b>AnC</b> [ kJ ]	24,8 (1,4)	23,8 (0,4)	23,6 (2,0)	0,68	22 (1,1)	25,4 (0,5)	23,6 (0,9)	<b>0,033</b>
<b>RPT</b> [ n ]	51,8 (1,8)	52,2 (1,1)	47,8 (3,6)	0,30	49,8 (1,8)	52,8 (1,0)	50,6 (2,2)	0,43
<b>LAp<sub>peak</sub></b> [ mmol/l ]	11,0 (0,8)	9,7 (0,4)	8,0 (0,9)	<b>0,034</b>	9,1 (0,9)	10,6 (0,6)	9,4 (0,6)	0,25

Vysvětlivky: **n** – počet; **Pmax** – maximální anaerobní výkon; **Pmax/kg** – maximální anaerobní výkon přepočtený na kg tělesné hmotnosti; **AnC** – anaerobní kapacita; **RPT** – počet otáček; **LAp<sub>peak</sub>** – hladina laktátu; *p* – pravděpodobnost chyby při zamítnutí nulové hypotézy

Tabulka 4.1 reprezentuje výsledky WT30 u příslušných genotypů *ACTN3 R577X* a *ACE ID* podle kodominantního modelu. U polymorfismu *ACTN3 R577X* je patrné, že významný rozdíl mezi výsledky všech genotypů byl nalezen u vrcholové hladiny laktátu ( $p = 0,034$ ) mezi genotypy RR a XX, přičemž homozygoti RR dosahovali vyšších hodnot. Při porovnání dalších možných kombinací genotypů (tabulka 4.2) byl u této proměnné nalezen signifikantní rozdíl i mezi genotypem RR a kombinací RX-XX (tzv. dominantní model;  $p = 0,046$ ), mezi genotypem XX a kombinací RR-RX (tzv. recesivní model;  $p = 0,039$ ). Významný rozdíl byl nalezen také u aditivního modelu u vrcholové hladiny laktátu ( $p = 0,0087$ ).

**Tabulka 4.2** Všechny modely dědičnosti u vybraných proměnných pro geny *ACTN3* a *ACE*

Model	<i>ACTN3</i>			<i>ACE</i>			<b>Pmax</b>		<b>AnC</b>	
	genotypy	<i>p</i>	AIC	genotypy	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC
<b>KM</b> <b>n</b>	RR – RX – XX 6 – 11 – 3	<b>0,034</b>	76,6	II – ID – II 7 – 9 – 4	<b>0,043</b>	248	<b>0,033</b>	88,5		
<b>DM</b> <b>n</b>	RR – RX/XX 6 – 14	<b>0,046</b>	78,3	II – ID/DD 7 – 13	0,53	253	0,48	94		
<b>RM</b> <b>n</b>	RR/RX – XX 17 – 3	<b>0,039</b>	78	II/ID – DD 16 – 4	<b>0,05</b>	249	<b>0,046</b>	90		
<b>SDM</b> <b>n</b>	RR/XX – RX 9 – 11	0,730	82,7	II/DD – ID 11 – 9	<b>0,025</b>	247	<b>0,018</b>	88,2		
<b>AM</b>	---	<b>0,0087</b>	75	---	0,54	253	0,56	94,2		

Vysvětlivky: **n** – počet; **Pmax** – maximální anaerobní výkon; **AnC** – anaerobní kapacita; **LAp<sub>peak</sub>** – hladina laktátu; *p* – pravděpodobnost chyby při zamítnutí nulové hypotézy; **AIC** - Akaike informační kritérium; **KM** – kodominantní model; **DM** – dominantní model; **RM** – recesivní model; **SDM** – superdominantní model; **AM** – aditivní model

U genu *ACE* ID vyšly významné rozdíly u více proměnných (Pmax, AnC). V tabulce 4.2 je dobře patrné, že významné rozdíly byly zjištěny u Pmax i v dalších modelech dědičnosti. U kodominantního modelu byl zjištěn rozdíl ( $p = 0,043$ ) mezi genotypem DD a ID, přičemž heterozygoti ID dosahovali nejvyšších hodnot Pmax. U recesivního modelu byl shledán rozdíl mezi genotypem DD a kombinací genotypů ID a II ( $p = 0,05$ ). Významný statistický rozdíl byl identifikován i u superdominantního modelu mezi kombinací homozygotů a heterozygoty ( $p = 0,025$ ).

Významné rozdíly byly nalezeny u dosažených hodnot celkové vykonané práce (AnC) mezi jednotlivými genotypy (tabulka 4.2). V kodominantním modelu byl zjištěn rozdíl ( $p = 0,033$ ) mezi genotypy DD a ID. Také v tomto případě heterozygoti ID dosahovali vyšších hodnot. Dále byl zjištěn významný rozdíl u recesivního modelu mezi genotypem DD a kombinací genotypů II a ID ( $p = 0,046$ ) a superdominantního modelu mezi kombinacemi homozygotů a heterozygoty ( $p = 0,018$ ).

Tabulka 4.3 reprezentuje výsledky WT30 u polymorfismů *BDKRB2* -9/+9 a *NOS3* Glu/Asp podle kodominantního modelu. Zajímavý výsledek dle zmíněného dědičného modelu byl zjištěn pouze u polymorfismu *NOS3* Glu/Asp pro hladinu laktátu a to mezi genotypem Glu/Glu a Asp/Asp. Podrobnější výsledky v ostatních modelech dědičnosti prezentuje tabulka 4.4.

**Tabulka 4.3** Porovnání výsledků anaerobního testu WT30 u genů *BDKRB2* a *NOS3*

Znak	<i>BDKRB2</i> +9/-9				<i>NOS3</i> Glu298Asp			
	-9/-9	-9/+9	+9/+9	<i>p</i>	Glu/Glu	Glu/Asp	Asp/ Asp	<i>p</i>
<b>n</b>	6	9	5		13	6	1	
<b>Pmax</b> [ W ]	1035 (33)	1004 (30)	897 (48)	0,13	986 (24)	967 (53)	1102	0,60
<b>Pmax/kg</b> [ W/kg ]	12,7 (0,6)	13,1 (0,3)	11,8 (0,7)	0,18	12,6 (0,4)	12,8 (0,6)	12,6	0,97
<b>AnC</b> [ kJ ]	25,1 (0,9)	24,3 (0,7)	22,6 (1,1)	0,19	24,0 (0,5)	23,7 (1,3)	26,6	0,53
<b>RPT</b> [ n ]	51,5 (2,2)	52,7 (1,2)	49,1 (1,7)	0,33	51,2 (1,3)	52,1 (1,9)	50,7	0,91
<b>LPeak</b> [ mmol/l ]	10,2 (0,7)	10,2 (0,6)	8,9 (0,6)	0,36	9,5 (0,3)	10,1 (0,9)	13,3	0,079

Vysvětlivky: **n** – počet; **Pmax** – maximální anaerobní výkon; **Pmax/kg** – maximální anaerobní výkon přepočtený na kg tělesné hmotnosti; **AnC** – anaerobní kapacita; **RPT** – počet otáček; **LPeak** – hladina laktátu; *p* – pravděpodobnost chyby při zamítnutí nulové hypotézy

U polymorfismu *BDKRB2* -9/+9 byl zjištěn významný rozdíl ve výsledcích Pmax ( $p = 0,049$ ) u recesivního modelu mezi homozygoty s alelou +9 a kombinací genotypů -9/+9 a -9/-9 (tabulka 4.4). Skupina šermířů s alelou -9 vykazovala vyšší hodnoty Pmax. Tento signifikantní výsledek podporuje i nejnižší dosažená hodnota AIC. Polymorfismus *NOS3* Glu/Asp vykazoval nejvýznamnější rozdíl též v recesivním modelu dědičnosti u dosažené vrcholové hladiny laktátu mezi kombinací genotypů (Glu/Glu, Glu/Asp) a homozygoty s alelou Asp ( $p = 0,033$ ), kde šermíři s genotypem Asp/Asp dosahovali nejvyšších hodnot.

**Tabulka 4.4** Všechny modely dědičnosti u vybraných proměnných pro geny *BDKRB2* a *NOS3*

Model	<i>BDKRB2</i>			<i>NOS3</i>		
	genotypy	Pmax <i>p</i>	AIC	genotypy	L <sub>A</sub> peak <i>p</i>	AIC
<b>KM</b> n	-9-9 – +9-9 – +9+9 6 – 9 – 5	0,13	250	GluGlu – GluAsp – AspAsp 13 – 6 – 1	0,079	79
<b>DM</b> n	-9-9 – +9-9/+9+9 6 – 14	0,25	252	GluGlu – GluAsp/AspAsp 13 – 7	0,18	81
<b>RM</b> n	-9-9/+9-9 – +9+9 15 – 5	<b>0,049</b>	249	GluGlu/GluAsp – AspAsp 19 – 1	<b>0,033</b>	78
<b>SDM</b> n	-9-9/+9+9 – +9-9 11 – 9	0,56	253	GluGlu/AspAsp – GluAsp 14 – 6	0,67	83
<b>AM</b>	---	0,059	249	---	<b>0,05</b>	79

Vysvětlivky: **n** – počet; **Pmax** – maximální anaerobní výkon; **L<sub>A</sub>peak** – hladina laktátu; ***p*** – pravděpodobnost chyby při zamítnutí nulové hypotézy; **AIC** - Akaike informační kritérium; **KM** – kodominantní model; **DM** – dominantní model; **RM** – recesivní model; **SDM** – superdominantní model; **AM** – aditivní model

Mezi jednotlivými genotypy polymorfismů *CNTF* G1357A, *AMPD1* C34T a *ACTN3* (rs2229455) nebyly nalezeny žádné významné rozdíly ani v jednom ze sledovaných modelů dědičnosti.

#### 4.3 Komparace výsledků specifických motorických testů se zjištěnými frekvencemi genotypů sledovaných polymorfismů

V této části práce jsou uvedeny výsledky specifických motorických testů a aktivace vybraných svalů při výpadu a jsou komparovány s genotypovým rozložením výzkumného souboru.

U polymorfismů *ACTN3* R577X, *ACTN3* (rs2229455) a *AMPD1* CT v kodominantním modelu nebyl identifikován významný rozdíl mezi jednotlivými genotypy ani u jedné měřené proměnné. Obdobné výsledky byly pak nalezeny i u ostatních modelů dědičnosti

V tabulce 4.6 jsou uvedeny výsledky motorických testů a komparovány s genotypy genů *ACE* a *NOS3* v kodominantním modelu, kde žádných významných hodnot nebylo dosaženo. Jak je možné vidět v tabulce 4.7, byl u genu *NOS3* zjištěn významný rozdíl mezi sledovanými skupinami u celkové rychlosti výpadu v recesivním modelu ( $p = 0,032$ ) i v aditivním modelu ( $p = 0,041$ ), přičemž AIC svou nejnižší hodnotou podporuje jako nejvýznamnější recesivní model. Homozygoti s alelou Asp dosahovali rychlejších časů v CRV než skupina šermířů s genotypy Glu/Asp a Glu/Glu.

**Tabulka 4.6** Porovnání výsledků specifických motorických testů a aktivace vybraných svalů u genů *ACE* a *NOS3*

Gen	<i>ACE</i> ID				<i>NOS3</i> Glu298Asp			
	DD	ID	II	<i>p</i>	AspAsp	GluAsp	GluGlu	<i>p</i>
n	7	14	9		3	9	18	
<b>JRD</b> [ ms ]	271 (10,3)	265 (9,0)	265 (8,2)	0,89	256 (23,5)	262 (9,3)	270 (6,8)	0,65
<b>PČPB</b> [ ms ]	168 (6,4)	164 (4,7)	172 (7,9)	0,63	160 (15,8)	166 (5,7)	169 (4,6)	0,72
<b>RDV</b> [ ms ]	296 (15,0)	294 (15,4)	296 (9,3)	0,99	266 (17,5)	295 (14,5)	300 (11,3)	0,50
<b>PRV</b> [ ms ]	473 (31,7)	462 (17,6)	471 (21,6)	0,92	422 (52,7)	476 (21,8)	471 (15,6)	0,47
<b>CRV</b> [ ms ]	769 (24,0)	753 (17,1)	768 (22,8)	0,80	688 (38,5)	758 (15,8)	775 (15,1)	0,08
<b>SČT</b> [ s ]	12,2 (0,4)	12,5 (0,4)	11,9 (0,2)	0,54	12,1 (0,5)	12,3 (0,5)	12,3 (0,3)	0,96
<b>Rmrf</b> [ ms ]	156 (19,4)	138 (9,3)	163 (11,0)	0,32	114 (9,4)	153 (14,6)	154 (8,8)	0,26
<b>Rmd</b> [ ms ]	182 (12,3)	174 (10,1)	176 (10,5)	0,89	163 (16,9)	173 (11,6)	180 (8,3)	0,68

Vysvětlivky: **n** – počet; **JRD** – jednoduchá reakční doba; **PCPB** – pohybový čas přímého bodu; **RDV** – reakční doba výpadu; **PRV** – pohybová rychlost výpadu; **CRV** – celková rychlost výpadu; **SČT** – specifický člunkový test; **Rmrf** – rychlost aktivace *m. rectus femoris*; **Rmd** – rychlost aktivace *m. deltoideus*; **p** – pravděpodobnost chyby při zamítnutí nulové hypotézy

**Tabulka 4.7** Všechny modely dědičnosti u vybraných proměnných pro gen *NOS3*

<b>Model</b>	<b><i>NOS3</i> genotypy</b>	<b>CRV <i>p</i></b>	<b>AIC</b>
<b>KM</b>	GluGlu – GluAsp – AspAsp	0,082	336
<b>n</b>	18 – 9 – 3		
<b>DM</b>	GluGlu – GluAsp/AspAsp	0,14	337
<b>n</b>	18 – 12		
<b>RM</b>	GluGlu/GluAsp – AspAsp	<b>0,032</b>	334
<b>n</b>	27 – 3		
<b>SDM</b>	GluGlu/AspAsp – GluAsp	0,85	339
<b>n</b>	21 – 9		
<b>AM</b>	---	<b>0,041</b>	335

Vysvětlivky: **n** – počet; **CRV** – celková rychlost výpadu; **p** – pravděpodobnost chyby při zamítnutí nulové hypotézy; **AIC** – Akaike informační kritérium; **KM** – kodominantní model; **DM** – dominantní model; **RM** – recesivní model; **SDM** – superdominantní model; **AM** – aditivní model

Tabulka 4.8 shrnuje výsledky šermířských motorických testů v konkrétních genotypech genů *BDKRB2* a *CNTF* v kodominantním modelu dědičnosti. Z výsledných hodnot je patrné, že u některých proměnných byly v tomto modelu zjištěny rozdíly. Signifikantní rozdíl však byl zjištěn pouze u Rmrf ( $p = 0,035$ ) pro polymorfismus *BDKRB2* mezi genotypem -9/-9 a +9/+9, kde jedinci s genotypem -9/-9 dosahovali rychlejších časů než homozygoti s genotypem +9/+9. U polymorfismu *CNTF* byl objeven významný rozdíl ( $p = 0,0088$ ) u specifického člunkového testu mezi genotypy G/G a G/A. Šermíři s genotypem GG byli v SČT rychlejší než šermíři heterozygoti.

**Tabulka 4.8** Porovnání výsledků specifických motorických testů a aktivace vybraných svalů u genů *BDKRB2* a *CNTF*

Gen	<i>BDKRB2</i> +9/-9				<i>CNTF</i> G1357A				
	Znak	-9-9	+9-9	+9+9	<i>p</i>	GG	GA	AA	<i>p</i>
<b>n</b>		9	13	8		21	8	1	
<b>JRD</b> [ ms ]		267 (12,7)	262 (6,0)	271 (10,9)	0,75	262 (4,9)	273 (14,3)	313	0,17
<b>PČPB</b> [ ms ]		164 (5,4)	168 (6,3)	170 (6,4)	0,81	163 (3,8)	176 (7,6)	186	0,15
<b>RDV</b> [ ms ]		280 (9,0)	289 (11,0)	324 (21,0)	0,09	287 (9,5)	313 (16,9)	329	0,32
<b>PRV</b> [ ms ]		493 (21,7)	466 (16,5)	442 (28,3)	0,30	482 (14,1)	440 (23,3)	378	0,13
<b>CRV</b> [ ms ]		773 (20,7)	754 (19,1)	759 (21,8)	0,80	767 (14,3)	753 (21,9)	707	0,60
<b>SČT</b> [ s ]		12,1 (0,5)	12,3 (0,3)	12,5 (0,2)	0,75	11,9 (0,2)	13,2 (0,4)	12,05	<b>0,0088</b>
<b>Rmrf</b> [ ms ]		141 (12,5)	137 (7,7)	179 (15,7)	<b>0,035</b>	141 (5,4)	167 (21,9)	181	0,20
<b>Rmd</b> [ ms ]		159 (7,6)	177 (9,2)	196 (13,4)	0,076	172 (7,7)	186 (11,2)	195	0,53

Vysvětlivky: **n** – počet; **JRD** – jednoduchá reakční doba; **PCPB** – pohybový čas přímého bodu; **RDV** – reakční doba výpadu; **PRV** – pohybová rychlost výpadu; **CRV** – celková rychlost výpadu; **SČT** – specifický člunkový test; **Rmrf** – rychlost aktivace *m. rectus femoris*; **Rmd** – rychlost aktivace *m. deltoideus*; *p* – pravděpodobnost chyby při zamítnutí nulové hypotézy

V tabulce 4.9 jsou podrobněji interpretovány výsledky měřených proměnných u *BDKRB2*, kde byly zjištěny signifikantní rozdíly. Významný rozdíl se projevil u RDV v recesivním ( $p = 0,032$ ) i aditivním ( $p = 0,043$ ) modelu, přičemž AIC svou nejnižší hodnotou (313,6) podporuje významnost recesivního modelu. Dále se signifikantní rozdíl projevil u Rmrf u recesivního ( $p = 0,0093$ ) i aditivního ( $p = 0,049$ ) modelu. Porovnáním hodnot AIC je zřejmé, že nejvýznamnější rozdíly hodnot jsou v recesivním modelu. Šermíři s genotypy -9/-9 a +9/-9 byli významně rychlejší než skupina homozygotů +9/+9 v RDV i v rychlosti aktivace Rmrf. Významný rozdíl se projevil i u aktivace Rmd v aditivním modelu ( $p = 0,022$ ).

**Tabulka 4.9** Všechny modely dědičnosti u vybraných proměnných pro gen *BDKRB2*

Model	<i>BDKRB2</i>	<b>RDV</b>	<b>Rmrf</b>		<b>Rmd</b>		
	genotypy	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC
<b>KM</b> <b>n</b>	-9-9 – +9-9 – +9+9 9 – 13 – 8	0,094	315	<b>0,035</b>	304	0,076	298
<b>DM</b> <b>n</b>	-9-9 – +9-9/+9+9 9 – 21	0,22	317	0,44	309	0,059	298
<b>RM</b> <b>n</b>	-9-9/+9+9 – +9+9 22 – 8	<b>0,032</b>	313,6	<b>0,0093</b>	302	0,06	298
<b>SDM</b> <b>n</b>	-9-9/+9+9 – +9-9 17 – 13	0,48	318	0,13	307	0,95	301
<b>AM</b>	---	<b>0,043</b>	314,1	<b>0,049</b>	305	<b>0,022</b>	296

Vysvětlivky: **n** – počet; **RDV** – reakční doba výpadu; **Rmrf** – rychlost aktivace *m. rectus femoris*; **Rmd** – rychlost aktivace *m. deltoideus*; *p* – pravděpodobnost chyby při zamítnutí nulové hypotézy; **AIC** – Akaike informační kritérium; **KM** – kodominantní model; **DM** – dominantní model; **RM** – recesivní model; **SDM** – superdominantní model; **AM** – aditivní model

**Tabulka 4.10** Všechny modely dědičnosti u vybraných proměnných pro gen *CNTF*

Model	<i>CNTF</i>	<b>PRV</b>	<b>SČT</b>		
	genotypy	<i>p</i>	AIC	<i>p</i>	AIC
<b>KM</b> <b>n</b>	GG – GA – AA 21 – 8 – 1	0,13	340	<b>0,0088</b>	68,1
<b>DM</b> <b>n</b>	GG – GA/AA 21 – 9	0,067	339	<b>0,0045</b>	67,9
<b>RM</b> <b>n</b>	GG/GA – AA 29 – 1	0,18	341	0,83	76,8
<b>SDM</b> <b>n</b>	GG/AA – GA 22 – 8	0,18	341	<b>0,0019</b>	66,1
<b>AM</b>	---	<b>0,043</b>	338,5	<b>0,026</b>	71,3

Vysvětlivky: **n** – počet; **PRV** – pohybová rychlost výpadu; **SČT** – specifický člunkový test; *p* – pravděpodobnost chyby při zamítnutí nulové hypotézy; **AIC** – Akaike informační kritérium; **KM** – kodominantní model; **DM** – dominantní model; **RM** – recesivní model; **SDM** – superdominantní model; **AM** – aditivní model

V tabulce 4.10 jsou shrnuty výsledky proměnných v jednotlivých modelech dědičnosti u genu *CNTF*. Významný rozdíl je možné nalézt u aditivního modelu ( $p = 0,043$ ) u PRV. I v případě specifického člunkového testu se projeví významné rozdíly kromě recesivního u všech dalších modelů. Po přihlédnutí k nejnižší hodnotě AIC (66,1) je možné konstatovat, že za nejvýznamnější model pro určení vlivu genotypu na výkon je možné považovat superdominantní model ( $p = 0,0019$ ).

## 5 DISKUSE

Záměrem předložené práce bylo zjistit, zda se u skupiny elitních a subelitních šermířů budou vyskytovat polymorfismy, u kterých se očekává pozitivní vliv na rychlost. Pro výzkum byli záměrně vybráni šermíři, protože sportovní výkon v šermu je vzhledem k charakteru uplatňovaných pohybových činností výrazně vázán na rychlostně-silové předpoklady. Tuto skutečnost lze podložit tvrzeními řady autorů upozorňujících na skutečnost, že šerm je disciplína, kde jsou kladeny vysoké nároky na anaerobní výkon, mezisvalovou koordinaci a reakční dobu (Borysiuk & Waskiewicz, 2008; Borysiuk, 2008a; Cheris, 2002; Czajkowski, 2009; Roi & Bianchedi, 2008; Szabo, 1982; Sobczak & Smulsky, 2006).

Výsledky z genetického vyšetření odhalily, že nebyl zjištěn významný rozdíl ve frekvenci alel a konkrétních genotypů mezi skupinou šermířů a bělošskou populací u žádného ze sledovaných genů (*ACE* ID, *ACTN3* R577X, *BDKRB2* +9/-9, *CNTF* G1357A, *AMPD1* C34T, *NOS3* Glu298Asp). Toto zjištění bylo vzhledem k nárokům na výkon ve sledované disciplíně u skupiny šermířů překvapivé. Bylo očekáváno vyšší zastoupení alel pro rychlost u šermířů než v obecné bělošské populaci. Tento výsledek může být vysvětlen tím, že pro podání optimálního sportovního výkonu lze v šermu nedostatečnou úroveň rychlostního předpokladu kompenzovat zvýrazněním jiného faktoru jako je například cit pro tempo, taktika, technika nebo psychika. Význam působení uvedených faktorů je úzce provázán například s rychlostí a efektivitou svalové koordinace nebo úrovní reakční doby, které jsou v práci také sledovány. Dále je nutné uvést, že si jen těžko lze představit výkon v šermu, který by byl založen výhradně na rychlosti bez dostatečného technicko-taktického vybavení šermíře. V tomto ohledu nelze v šermu bez osvojené techniky a účelné svalové koordinace plně využít rychlostních předpokladů. Je také nutné zmínit, že i na základě předchozích studií nebylo možné objektivně stanovit konkrétní alely (genotypy) podporující rychlostně-silový výkon a je nutné uvést, že v řadě studií se autoři v souvislosti s vlivem polymorfismů na výkon liší (Petr, 2015). Je možné očekávat, že při vyšším počtu studií v oblasti genetiky může být v budoucnu tato problematika zpřehledněna.

Pro porovnání genetického vyšetření s výsledky ve WT30 testu bylo sledováno šest indikátorů anaerobního výkonu ( $P_{max}$ ,  $P_{max}/kg$ , AnC, RPT, LApeak). U polymorfismu *ACTN3* R577X byl zjištěn významný rozdíl u LApeak ( $p = 0,034$ ) mezi genotypy RR a XX. Jedinci s genotypem RR, který by měl podporovat rychlost, dosahovali výrazně vyšší vrcholové hladiny laktátu po absolvování WT30 než skupina homozygotů XX. Toto zjištění lze pravděpodobně vysvětlit rozdílnými fyziologickými procesy mezi oběma skupinami



homozygotů (Lippi et al., 2010; Sovičová, 2010). Lze předpokládat, že hlavním činitelem způsobující uvedené odlišnosti je proces anaerobní glykolýzy, která se zapojuje do úhrady energetických zdrojů při krátkodobém výkonu maximální intenzity a souvisí s tvorbou kyseliny mléčné. Nejvýznamnější rozdíl byl identifikován při porovnání hodnot vrcholové hladiny laktátu v aditivním modelu ( $p = 0,0087$ ). Lze tedy předpokládat, že alela X má vliv na nižší úroveň hladiny laktátu po provedení anaerobního WT30. Toto tvrzení podporují i ostatní modely hodnocené proměnné. U ostatních proměnných nebyl u tohoto polymorfismu zjištěn rozdíl ani v jednom modelu dědičnosti.

Ve výsledcích zahrnujících polymorfismus *ACE ID* byly odhaleny významné rozdíly mezi genotypy u tří ze sledovaných proměnných. U  $P_{max}$  byl zjištěn významný rozdíl mezi genotypem DD a ID ( $p = 0,0043$ ), kde vyšších hodnot  $P_{max}$  dosahovali heterozygoti oproti homozygotům. Toto zjištění je vzhledem k původním poměrně překvapivé. Ve většině dostupných studií byla totiž alela I častěji identifikována u sportovců ve vytrvalostních disciplínách (Ahmetov & Rogozkin, 2009; Jones & Woods, 2003; MacArthur & North, 2005). Autoři spojují alelu I s vyšším zastoupením svalových vláken typu I, vyšším aerobním výkonem, vyšší odolností proti únavě atd. Navzdory těmto faktům však existují i studie (Amir et al., 2007), ve kterých byl nalezen častější výskyt alely D u vytrvalostních sportovců oproti kontrolám a sprinterům. Na základě těchto výsledků nelze jednoznačně určit, která ze sledovaných alel má rozhodující vliv na maximální anaerobní výkon. Tyto nejednoznačné závěry podporují výsledky zjištěné v superdominantním modelu (tabulka 4.2), kde byl u  $P_{max}$  sledován vztah mezi heterozygoty a homozygoty obou alel (ID vs. II + DD). Šermíři heterozygoti dosahovali vyšších hodnot  $P_{max}$  oproti homozygotům ( $p = 0,025$ ).

Významné rozdíly byly zjištěny mezi genotypy také u polymorfismu *BDKRB2 -9/+9* u  $P_{max}$  (tabulka 5.4). Uvedený gen kóduje bradykinin receptor  $\beta_2$ , jehož aktivace může podle Eynon et al. (2011), Ganong, (2005) a Sawczuk et al. (2013) způsobit zvýšení hladiny kalcia v buňkách. Mimo jiné zvyšuje absorpci glukózy ve svalu během cvičení a průtok krve svalem. Ve studii Alves et al. (2013) byla alela -9 spojena s vyšší metabolickou účinností kosterního svalu a proto byla považována za rozhodující pro určení vytrvalostního výkonu. Naproti tomu Petr (2015) upozorňuje na rozpor ve výsledcích některých studií, kde byla zjištěna vyšší frekvence polymorfismu -9/-9 u nejrychlejších sportovců. Na základě těchto výzkumů nelze jednoznačně odvodit vliv tohoto polymorfismu na rychlostní nebo vytrvalostní výkon. Tento fakt podporují i výsledky našeho šetření, kdy nejlepších výsledků maximálního anaerobního výkonu dosahovali šermíři s alelou -9. Významný rozdíl byl tedy zjištěn u recesivního modelu

mezi kombinací genotypů s alelou -9 (-9/-9, -9/+9) a homozygoty s genotypem +9/+9 ( $p = 0,049$ ). Zjištěný výsledek, kde se alela -9 vyskytuje u lepších výsledků  $P_{max}$  v anaerobním testu, nepodporuje tvrzení, že by mohla ovlivňovat vytrvalostní výkon.

Zajímavé výsledky byly objeveny i u polymorfismu *NOS3* Glu298Asp u hodnot laktátu po absolvování testu WT30 (tabulka 5.4). Nejvýrazněji se rozdíly projevily v recesivním modelu mezi kombinací genotypů s alelou Glu (Glu/Glu, Glu/Asp) a homozygoty s variantní alelou Asp ( $p = 0,033$ ). U skupiny šermířů s genotypy Glu/Glu a Glu/Asp byly zjištěny výrazně nižší hodnoty maximální hladiny laktátu než u homozygotů Asp/Asp. Tyto výsledky mohou souviset s tvrzením Szelid et al. (2015), že alela Asp zřejmě může souviset s objemem průtoku krve tkáněmi, jež je ovlivněn tvorbou proteinu, který je náchylný k enzymatickému štěpení. Tento předčasný rozklad proteinu může vést ke snížení produkce NO a změně některých biologických účinků zahrnujících narušení vazodilatace a regulace tlaku krve. Dále byl odhalen významný rozdíl v hodnotách maximální hladiny laktátu u aditivního modelu, který zdvojuje účinek variantní alely, v našem případě alely Asp ( $p = 0,05$ ). Toto zjištění s největší pravděpodobností poukazuje na vazbu variantní alely s vyššími hodnotami maximální hladiny laktátu.

V předložené práci byla snaha o maximální přiblížení měření reálným podmínkám, ve kterých se šermíři mohou nacházet v zápase proti soupeři. Z tohoto důvodu byly tyto testy záměrně označeny jako specifické. V práci byly komparovány výsledky z těchto testů (jednoduchá reakční doba na vizuální podnět, pohybový čas přímého bodu, reakční doba výpadu, pohybová rychlost výpadu, celková rychlost výpadu, specifický člunkový test) s výsledky genetického vyšetření. Na základě doporučení předchozích studií (Balkó, 2016; Balkó et al., 2016a; Williams & Walmsley, 2000a) byl sledován také vztah aktivace vybraných dvou svalů (*m. rectus femoris* na odrazové straně a *m. deltoideus pars anterior* na výpadové straně) a polymorfismů u skupiny šermířů.

Mezi polymorfismy *ACTN3* R577X, *ACTN3* (rs2229455), *AMPD1* C34T, *ACE* ID a výsledky proměnných sledovaných ve specifických testech a rychlostí aktivace svalů nebyl zjištěn žádný významný vztah. U polymorfismu *NOS3* (tabulka 5.8) však byl v recesivním modelu (GluGlu + GluAsp vs. AspAsp) zjištěn rozdíl ( $p = 0,032$ ) u celkové rychlosti výpadu. Homozygoti s alelou Asp dosahovali významně rychlejších časů celkové rychlosti výpadu (čas od rozsvícení LED diody po zásah terče) než skupina šermířů s genotypy s alelou Glu. U zmíněné proměnné se významný rozdíl projevily i v případě aditivního modelu ( $p = 0,041$ ). Můžeme tedy uvažovat o významném vlivu alely Asp na rychlost komplexního pohybu,

v tomto případě výpadu, v šermu. Toto zjištění může souviset se závěry Gómez-Gallego et al. (2009) a Sessa et al. (2011), kteří uvádějí, že alela Glu snižuje krevní tlak a tím pozitivně ovlivňuje vytrvalostní výkon spíše než rychlost.

Vztah byl nalezen mezi výsledky reakce (reakční doba při výpadu, rychlost aktivace obou svalů) a polymorfismem *BDKRB2* +9/-9 (tabulka 4.8). Rozdíly byly objeveny v recesivním modelu (-9-9 a +9-9 vs. +9+9). Skupina šermířů s alelou -9 byla významně rychlejší při hodnocení reakční doby při výpadu než skupina s genotypem +9+9 ( $p = 0,032$ ), jak je vidět v tabulce 4.9. Významný rozdíl se u této proměnné projevil i v aditivním modelu ( $p = 0,043$ ), a proto lze soudit, že variantní alela +9 negativně ovlivňuje dosažený výkon v reakční době při výpadu. V tomto ohledu je vhodné zmínit shrnutí výsledků řady studií vztahujících se k účinnosti tohoto polymorfismu. Petr (2015) konstatuje, že alela -9 je často spojena s vyšší metabolickou účinností kosterních svalů a vyšší fyzickou výkonností ve vytrvalostním tréninku (Alves et al., 2013; Sawczuk et al., 2013), doplňuje však, že existují studie, kde vyšší frekvence polymorfismu -9/-9 byla identifikována u nejrychlejších sportovců. Tyto závěry podporují i naše zjištění vzhledem k tomu, že reakční doba tvoří podstatnou část doby potřebné pro realizaci acyklického pohybu rychlostního charakteru. Z tohoto důvodu bývá často autory řazena mezi rychlostní předpoklady (Měkota & Novosad, 2005) utvářející sportovní výkon. V souvislosti s rychlostí reakce na vizuální podnět (RDV) bylo možné logicky předpokládat, že se projeví také rychlost aktivace svalu, který působí při snaze šermíře zasáhnout zásahový terč ozbrojenou paží. Při zjišťování rozdílů v aktivaci *m. deltoideus pars anterior* na výpadové straně se projevil rozdíl v dominantním modelu (tabulka 4.9), neprojevil se však jako statisticky významný ( $p = 0,059$ ). K podobnému zjištění jsme dospěli u recesivního modelu ( $p = 0,06$ ). Je na místě uvést, že skupina šermířů s genotypem -9/-9 aktivovala tento sval dříve než skupina s alelou +9. Významný rozdíl byl u této proměnné zjištěn v aditivním modelu ( $p = 0,022$ ). Tento výsledek můžeme chápat jako negativní efekt alely +9 na dosažený čas v rychlosti aktivace vybraného svalu a tím potvrdit fakt, že šermíři s alelou -9 dosahovali lepších výsledků v této proměnné. Toto zjištění může souviset se shrnutím Sawczuk (2013) uvedeného výše. Ještě před provedením výpadu je pro zajištění stability těla nezbytné aktivovat svaly na odrazové dolní končetině. Činnost těchto svalů souvisí s udržením rovnováhy a přípravou šermíře na zahájení výpadu. O podobném významu činnosti svalů dolních končetin na zajištění rovnováhy informují Balkó (2016), Enoka (2008) a Schmidt a Wrisberg (2008). Lze se tedy domnívat, že rychlost aktivace *m. rectus femoris* na odrazové dolní končetině může být považována za důležité kritérium pro rychlost výpadu. Významný rozdíl v rychlosti aktivace tohoto svalu se

objevil ve třech z pěti modelů dědičnosti (tabulka 5.10). V kodominantním modelu byl zjištěn rozdíl mezi skupinou homozygotů s alelou -9 a skupinou homozygotů s alelou +9 ( $p = 0,035$ ). Šermíři s genotypem -9/-9 aktivovali *m. rectus femoris* výrazně dříve než šermíři s genotypem +9/+9. Další rozdíly byly zjištěny v recesivním modelu ( $p = 0,0093$ ). Skupina šermířů s alelou -9 aktivovala tento sval výrazně dříve než skupina heterozygotů +9/+9. I v případě aditivního modelu byl zjištěn významný rozdíl v rychlosti aktivace *m. rectus femoris* ( $p = 0,049$ ), proto můžeme předpokládat vliv alely +9 na horší výkon v rychlosti aktivace svalů v porovnání s alelou -9. Ze zjištěných významných rozdílů všech tří modelů dědičnosti a obou proměnných souvisejících s rychlostí aktivace svalu lze vyvozovat pozitivní efekt alely -9 na rychlost aktivace stanoveného svalu. Totéž podporují i výsledky u reakční doby na vizuální podnět při výpadu, kde se alela -9 vyskytuje u nejrychlejších časů. S těmito výsledky může souviset vyplavování neurotransmiterů, které podle Sawczuk et al. (2013) ovlivňuje právě bradykinin.

Ze všech sledovaných proměnných byl pouze u polymorfismu *CNTF* A1357G zjištěn rozdíl mezi skupinami u pohybové rychlosti výpadu (PRV) a specifického člunkového testu (SČT). V pohybové rychlosti výpadu byl zjištěn rozdíl v dominantním modelu (tabulka 4.10), kdy skupina homozygotů s alelou G dosahovala horšího výkonu v PRV než skupina šermířů s alelou A. Rozdíl se avšak neprojevil jako statisticky významný ( $p = 0,067$ ). Významný rozdíl byl identifikován v aditivním modelu ( $p = 0,043$ ), kdy výsledky skupiny šermířů s variantní alelou A (GA a AA) byly porovnány se skupinou homozygotů GG. Toto zjištění by mohlo usuzovat na pozitivní vliv variantní alely Asp na výkon. Vzhledem k těmto výsledkům mohly být očekávány podobné rozdíly i v dalším testu, kde jsou stejně jako v předchozím případě kladeny nároky na rychlost pohybu šermíře v prostoru, tedy ve specifickém člunkovém testu. Při komparaci časů dosažených v tomto testu byly zjištěny významné rozdíly ve čtyřech modelech dědičnosti. V kodominantním modelu (tabulka 4.10) byl identifikován rozdíl mezi homozygoty GG a heterozygoty GA, kde lepších výsledků dosahovala skupina homozygotů s alelou G ( $p = 0,0088$ ). V dominantním modelu, který porovnává homozygoty s alelou G s kombinací genotypů s alelou A, byl objeven též významný rozdíl ( $p = 0,0045$ ). U obou zmíněných modelů dosahovala nejlepších výsledků skupina šermířů s genotypem GG. Toto zjištění je v rozporu s výsledky proměnné PRV. Naopak je v souladu se zjištěním autorů Walsh et al. (2009), kteří zjistili, že jedinci (v jejich případě ženy) s genotypem GG dosahovali po absolvování tréninku více absolutní izometrické síly a dynamiky než jedinci nesoucí alelu A. Naproti tomu Roth et al. (2001) zjistily vyšší úroveň svalové síly u skupiny heterozygotů ve srovnání se skupinou homozygotů (GG, AA). Toto zjištění je v rozporu s našimi výsledky, kde

byl sice identifikován významný rozdíl v superdominantním modelu ( $p = 0,0019$ ) mezi skupinou heterozygotů a skupinami homozygotů, ale lepších výsledků (rychlejší čas v testu) dosahovala společná skupina homozygotů GG a AA. Dále se významný rozdíl projevil v aditivním modelu ( $p = 0,026$ ). Jedinci s alelou A dosáhli lepších časů v specifickém člunkovém testu než skupina, u níž byla identifikován genotyp GG.

I přes velké množství studií věnujících se problematice genetiky ve sportu, existuje přesvědčení široké skupiny trenérů i sportovců, že na výkon ve sportu mají stále větší vliv environmentální faktory (trénink, výživa, způsob regenerace, socioekonomické zázemí, atd.). Z tohoto důvodu je velmi pravděpodobné, že působení genetických faktorů na výkon konkrétního jedince bude odlišný v různém prostředí (studie na dvojčatech). Četné dřívější studie objasnily podíl heritability u řady sledovaných parametrů jako je například tělesná hmotnost (88 %), výška postavy (89 %), skok do dálky (74 %), dynamická síla (75 %) nebo maximální srdeční frekvence (81-86 %). Odhaduje se, že somatické parametry jsou více jak z 90 % podmíněny genetickými dispozicemi (Hyjánek, Pastucha, & Vodička, 2015; Kohlíková, 2015). Pokud se zaměříme na genetickou podmíněnost k pohybové aktivitě, nalezneme značné rozdíly. Podle dostupných literárních pramenů jsou nejvíce geneticky podmíněny rychlostní a reakční předpoklady a nejméně psychické a koordinační předpoklady (Kohlíková, 2015). Velmi důležitou a diskutovanou oblastí sportu jsou studie zaměřené na genetiku kosterní svaloviny a možnosti jejího rozvoje. Významnou součástí posuzování předpokladů pro úspěch v jednotlivých sportovních disciplínách je stanovení podílu rychlých a pomalých svalových vláken. Genetické faktory ovlivňují nejen strukturu a funkci kosterní svaloviny, ale ovlivňují i další regulační systémy (kardiorespirační, metabolické, endokrinní, nervové aj.), které svým působením regulují svalovou aktivitu. Z tohoto důvodu je zřejmé, že vrozené dispozice jsou významným činitelem ve výchově sportovních talentů a možnosti genetického vyšetření by měly být brány v úvahu především z hlediska optimálního vývoje budoucího sportovce. Bunc (2004) v tomto ohledu doplňuje, že aktuální sportovní výkon je výslednicí mimořádných vrozených dispozic (talentu) a příslušného tréninku. Dále shledává jako významný prvek pro budoucí sportovní výkon nejen včasné zachycení talentovaných jedinců, ale i způsob jejich kultivace s respektem individuálních předpokladů jedince. Včasné rozpoznání talentu je velice obtížné. Čím je jedinec mladší, tím složitější je přesné stanovení jeho sportovního výkonu v budoucnosti. Prvotní prognóza je postupně zpřesňovaná a základem je dostatek informací o příčinách odchýlení od předpokládaného průběhu tréninku. Problém může být shledán při provádění anaerobních i aerobních motorických testů. Velmi důležité je měření jedince

vhodně motivovat, aby byl test proveden s maximálním úsilím a trenér mohl dosažené výsledky využít v následujícím tréninkovém procesu. Při všech testech použitých v řešeném výzkumu byli účastníci měření motivováni a instruováni k maximálním výkonům. Genetické vyšetření může pomoci při definici výkonnostních limitů konkrétního jedince v dané sportovní disciplíně a předejít tím případným stresovým situacím při neúspěchu v soutěži. Vyšetřením konkrétních genotypů mohou trenéři zvážit možnosti jedince na úspěch, zvolit nejefektivnější metodu tréninku popřípadě příhodnější sportovní odvětví, způsob regenerace, možnosti a skladbu výživy, dále může být díky genetickému vyšetření odhalena náchylnost ke zranění nebo dokonce dispozice k případnému onemocnění. S přibývajícimi zásadními informacemi ohledně uplatnění genetických dispozic je stále velmi diskutovaný poměr vlivu tréninku a genetiky. U elitních sportovců se předpokládá, že jsou výjimeční svou dosaženou úrovní trénovanosti stejně jako přítomností genetických dispozic.

Pro optimální získání informací z genetického vyšetření je nezbytné precizní odebrání genetického materiálu. V dnešní době se nejčastěji jedná o neinvazivní metodu (bukální stěr). Většinou je prováděna samotným jedincem pod dohledem poučené osoby nebo návodu od příslušné genetické laboratoře, jenž je součástí sady pro bukální stěr. Nezbytné je dodržet zásady stěru s přesnou dokumentací a tím zabránit kontaminaci nebo záměně vzorku. Následuje zpracování v genetické laboratoři, která zajišťuje vyšetření konkrétních genotypů a standardizaci použitých metod.

Samozřejmě je nezbytné brát v úvahu i vliv faktorů zevního prostředí na fungování a uplatnění genetického materiálu, což je základem epigenetiky. Velký vliv na expresi některých genů mají i změny, které nejsou způsobeny porušením pořadí nukleotidů, ale odehrávají se na povrchu DNA. Na vybrané úseky DNA se mohou přímo navázat některé molekuly a tím ovlivnit expresi některých genů. Tento fakt je ovlivněn způsobem „sbalení“ DNA. Během našeho života dochází k aktivnímu „rozbalování“ a „zabalování“ jednotlivých genů vlivem vnějšího působení, zatímco pořadí nukleotidů setrvává stejné. Velký význam této funkce DNA je sledován právě v těhotenství, kdy matka svým nevhodným chováním může pozměnit zabalení důležitých genů a předat potomkovi dispozice pro určitá onemocnění (Švecová, Smrž, & Petr, 2008). Na možnosti aktivace regulačních mechanismů, které nejsou přímo v genech, může mít vliv tedy životní styl nejen konkrétního jedince, ale i předchozích generací. Způsob života (výživa/podvýživa, stres, kouření, alkohol, množství pohybu) ovlivňuje epigenetické změny, které zapříčiní změnu fenotypu beze změny genotypu i v následujících generacích (Kohlíková, 2015; Švecová et al., 2008).

V současných studiích je trendem sledovat co nejpočetnější vzorek sportovců, který dosahuje i několik set jedinců. Genetická vyšetření těchto osob jsou komparována s výsledky dosaženými v různých motorických testech. Sledovaná skupina sportovců může být dále dělena podle zaměření na rychlostně silové sportovce a sportovce vytrvalostních disciplín nebo elitní a subelitní sportovce. Velmi často jsou skupiny se stejným zaměřením složeny ze sportovců různých disciplín a splňují tak podmínku stejného fyziologického a biochemického účinku. Odlišnosti jsou však v jejich tréninkové přípravě. Současně vznikají studie s menšími, ale homogennějšími skupinami. V předložené práci nebyly zjištěny významné rozdíly v rozložení alel a genotypů mezi skupinou šermířů a obecnou populací kavkazoidního typu. Důvodem může být výběr probandů. Lze logicky předpokládat, že do výzkumného souboru byli zařazeni i jedinci, kteří se svůj sportovní výkon výrazně ovlivnili kvalitním tréninkem a dalšími faktory, díky čemuž u nich nemusely být zjištěny očekávané „geny pro rychlost“.

Domníváme se, že i navzdory vysokým počtům testovaných osob v některých studiích řešících problematiku genetiky ve sportu lze za přínosné považovat i studie s málo početným výzkumným souborem. Lze předpokládat, že jiná dostupnost vzorku bude u atletů a jiná u sportovců, jejichž členská základna je výrazně nižší. S vyšším počtem studií z různých sportovních disciplín lze očekávat získání jakéhosi „průsečíku“, díky němuž budeme schopni vyvozovat objektivní závěry například při odhadu budoucího výkonu, nebo mohou být tyto výsledky využity pro odhad fenotypového účinku. Podle toho pak lze stanovit optimální tréninkový plán, který bude podporovat růst výkonnosti a respektovat individuální odchylky jedince a tím minimalizovat možnosti zranění.

Praktické využití genetických studií v oblasti identifikace sportovního talentu na základě genetického vyšetření je velice vzdálené. Využití zmíněných výsledků lze shledat spíše v možné predikci výskytu sledovaného fenotypového znaku, případném nalezení souvislosti mezi konkrétním genotypem a vznikem určité choroby, nebo vyšší pravděpodobností výskytu zranění. Díky přibývajícím poznatkům z oblasti fungování DNA lze očekávat, že další studie budou zaměřeny na sledování vybraných genotypových variant v souvislosti s působením vnějších faktorů prostředí, které mohou zahrnovat již několikrát zmíněný účinek tréninku, složení stravy a doplňkových preparátů, medikamenty, způsob regenerace či zdravotně orientovaných programů nebo metody rekonvalescence. V dalších studiích by bylo vhodné zohlednit i informace o životním stylu sledovaných jedinců. Při vyvozování závěrů z oblasti genetiky je nutné vždy respektovat také faktory environmentálního prostředí, které z velké části aktivují expresi genů.

## 6 ZÁVĚRY

Na základě předložených výsledků lze usuzovat, že přítomnost sledovaných polymorfismů může souviset s výsledky zjištěnými v motorických testech zaměřených na rychlost. V souvislosti s vyšší rychlostí dosaženou ve specifických motorických testech (pohybová rychlost výpadu, celková rychlost výpadu, specifický člunkový test) se projevil efekt současně s přítomností polymorfismu *NOS3* Glu298Asp (alela 298Asp), *CNTF* A1357G (alela 1357G). Vzhledem ke skutečnosti, že šerm je disciplínou, kde hraje významnou roli reakční doba, byla sledována rychlost reakce na vizuální podnět. Na základě zjištěných výsledků lze konstatovat, že přítomnost polymorfismu *BDKRB2* +9/-9 (alela -9), může souviset s rychlejší reakcí (reakční doba při výpadu, rychlost aktivace obou sledovaných svalů). Zároveň je nezbytné doplnit, že vyšších hodnot maximálního anaerobního výkonu v testu WT30 dosahovali šermíři s polymorfismy *ACE* ID (genotyp ID) a *BDKRB2* +9/-9 (alela -9).

Vztahy sledované v předložené práci lze využít pro další podobně zaměřené studie, kde bude využito většího množství testovaných osob a případně i kontrolní skupiny. I přesto, že výsledky předložené práce naznačují, že existují interakce mezi konkrétními genotypy a výkonem dosaženým ve zvolených testech, je nezbytné na tyto vztahy pohlížet s určitým nadhledem. Řešená problematika je stále ve fázi hledání vhodných směrů, které se zvyšujícím se množstvím studií povedou k objektivizaci výsledků z genetiky a sportu. Jsme si vědomi faktu, že sportovní výkon je ovlivněn mnoha geny současně. Zároveň je nutné uvést, že sportovní výkon v šermu je mimo jiné ovlivňován například výkonností protivníka, mezisvalovou koordinací, úrovní specifické vytrvalosti, psychikou, taktikou, technikou, působením okolního prostředí a dalšími faktory.

Prostřednictvím genetických vyšetření lze s ohledem na provozování pohybových aktivit a sport očekávat optimalizaci podmínek pro realizaci tréninkového procesu, kde by bylo zohledněno zdravotní hledisko (snížení rizika zranění, jiné poškození zdraví), individuální možnosti jedince (fyzické předpoklady) atd. Vzhledem k faktu, že genetické vybavení je od narození neměnné, mohla by mít míra genetické determinace značný význam pro volbu sportovního odvětví nebo výběr sportovních talentů již v dětském věku. V tomto ohledu jsou pro lidskou populaci důležité rozdíly ve frekvenci alel a genotypů, které zajišťují nejen viditelné rozdíly mezi jedinci a jejich vlastnostmi, ale také odlišnou citlivost na onemocnění či zranění. V každém případě je nezbytné nezapomínat na skutečnost, že na konečnou podobu jedince působí multifaktoriální podmínky, při nichž dochází k interakci mezi prostředím a různými



geny. Sportovní výkon je polygenní znak a současné studie účinku konkrétní genů na úroveň sportovního výkonu jsou teprve na počátku své cesty.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Ahmetov, I. I., Egorova, E. S., Gabdrakhmanova, L. J., & Fedotovskaya, O. N. (2016). Genes and Athletic Performance: An Update. *Genetics and Sports*, 61(2), 41-54.
- Ahmetov, I. I., & Fedotovskaya, O. N. (2012). Sports genomics: Current state of knowledge and future directions. *Cellular and Molecular Exercise Physiology* 1(1), 1–25.
- Ahmetov, I. I., Gavrilov, D. N., Astratenkova, I. V., Druzhevskaya, A. M., Malinin, A. V., Romanova, E. E., & Rogozkin, V. A. (2012a). The association of *ACE*, *ACTN3* and *PPARA* Gene Variants with Strength Phenotypes in Middle School-age Children. *The Journal of Physiological Sciences*, 63(1), 79-85.
- Ahmetov, I. I., Popov, D. V., Astratenkova, I. V., Druzhevskaya, A. M., Missina, S. S., Vinogradova, O. L., & Rogozkin, V. A. (2008). The Use of Molecular Genetic Methods for Prognosis of Aerobic and Anaerobic Performance in Athletes. *Human Physiology*, 34(3), 338-342.
- Ahmetov, I. I., & Rogozkin, V. A. (2009). Genes, athlete status and training – An overview. In M. Collins (Ed.), *Genetics and sports* (pp. 43-71) Cape Town: Karger Publishers.
- Ahmetov, I. I., Vinogradova, O. L., & Williams, A. G. (2012b). Gene Polymorphisms and Fiber-type Composition of Human Skeletal Muscle. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 22(4), 292-303.
- Alves, C. R., Alves, G. B., Pereira, A. C., Trombetta, I. C., Dias, R. G., Mota, G. F., ... & Oliveira, E. M. (2013). Vascular reactivity and ACE activity response to exercise training are modulated by the +9/-9 bradykinin B2 receptor gene functional polymorphism. *Physiological Genomics*, 45(12), 487-492.
- Amir, O., Amir, R., Yamin, C., Attias, E., Eynon, N., Sagiv, M., ... & Meckel, Y. (2007). The ACE deletion allele is associated with Israeli elite endurance athletes. *Experimental Physiology*, 92(5), 881-886.

- Balkó, Š. (2016). *The surface electromyography in fencing. The analysis of the acyclic movement in three different performance level groups of fencers*. Opole: Opole University of Technology.
- Balkó, Š., Borysiuk, Z., Balkó, I., & Špulák, D. (2016a). The influence of different performance level of fencers on muscular coordination and reaction time during the fencing lunge. *Archives of Budo*, 12(1), 49-59.
- Balkó, Š., Borysiuk, Z., & Šimonek, J. (2016b). The Influence of Different Performance Level of Fencers on Simple and Choice Reaction Time. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 18(4), 391-400.
- Borysiuk, Z. (2008a). Psychomotor reactions in fencing dependence of stimuli type. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 10(3), 223-229.
- Borysiuk, Z. (2008b). The significance of sensorimotor response components and EMG signals depending on stimuli type in fencing. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica*, 38(1), 43-54.
- Borysiuk, Z. (2008c). Psychomotor reactions and expert opinions as factors of talent identification in fencing. In X. Iglesias (Ed.), *1st International Congress on Science and Technology in Fencing* (pp. 65-68) Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Xavier\\_Iglesias/publication/258835066\\_Book\\_of\\_abstracts\\_1\\_st\\_International\\_Congress\\_on\\_Science\\_and\\_Technology\\_in\\_Fencing/links/54da9809cf2ba88a68d4cbd.pdf#page=34](https://www.researchgate.net/profile/Xavier_Iglesias/publication/258835066_Book_of_abstracts_1_st_International_Congress_on_Science_and_Technology_in_Fencing/links/54da9809cf2ba88a68d4cbd.pdf#page=34)
- Borysiuk, Z., & Waskiewicz, Z. (2008). Information processes, stimulation and perceptual training in fencing. *Journal of Human Kinetics*, 19(1), 63-82.
- Bouchard, C., & Hoffman, E. P. (2011). *Genetic and molecular aspects of sport performance*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Bouchard, C., Pérusse, L., & Malina, R. (1997). *Genetics of fitness and physical performance*. Champaign IL: Human Kinetics.
- Bunc, V. (2004). Současné pohledy na identifikaci sportovního talentu (na příkladu biatlonu a fotbalu). In T. Perič, & Suchý J. (Eds.) *Identifikace pohybových talentů* (pp. 19-24). Praha: FTVS UK.
- Brutsaert, T. D., & Parra, E. J. (2009). Nature versus nurture in determining athletic ability. In M. Collins (Ed.), *Genetics and Sports*, (pp. 11-27). Cape Town: Karger Publishers.

- Criswell, E. (2011). *Cram's introduction to surface electromyography*. Massachusetts: Jones and Bartlett Publishers.
- Czajkowski, Z. (2009). Tactics in fencing – preparatory actions. *Studies in Physical Culture and Tourism* 16(4), 371-377.
- Enoka, R. (2008). *Neuromechanics of human movement*. Champaign IL: Human Kinetics.
- Eynon, N., Alves, A. J., Yamin, C., Sagiv, M., Duarte, J. A., Oliveira, J., ... & Meckel, Y. (2009). Is there an ACE ID – ACTN3 R577X polymorphisms interaction that influences sprint performance? *International Journal of Sports Medicine*, 30(12), 888-891.
- Eynon, N., Hanson, E. D., Lucia, A., Houweling, P. J., Garton, F., North, K. N., & Bishop, D. J. (2013). Genes for Elite Power and Sprint Performance: ACTN3 Leads the Way. *Sports Medicine*, 43(9), 803-817.
- Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Galén.
- Gibson, W. T. (2009). Key concepts in human genetics: understanding the complex phenotype. In M. Collins (Ed.), *Genetics and Sports* (pp. 1-10). Cape Town: Karger Publishers.
- Gómez-Gallego, F., Ruiz, J. R., Buxens, A., Artieda, M., Arteta, D., Santiago, C., Rodríguez-Romo, G., Lao, J. I., & Lucia, A. (2009). The -786 T/C polymorphism of the NOS3 gene is associated with elite performance in power sports. *European Journal of Applied Physiology*, 107(5), 565-569.
- Gronek, P., Kryściak, J., Holdys, J., & Gronek, J. (2013). Genetic determinants of fencing performance. *Issue of Rehabilitation, Orthopaedics, Neurophysiology and Sport Promotion*, 3, 5-11.
- Hendl, J. (2009). *Přehled statistických metod*. Praha: Portál.
- Hyjánek, M. J., Pastucha, M. D., & Vodička, M. R. (2015). Možnosti genetického testování sportovní výkonnosti u dospělých sportovců. *Medicina pro praxi*, 12(1), 39-41.
- Cheris, E. (2002). *Fencing. Step to Success*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Iida, Y., Miyazaki, M., & Uchida, S. (2010). Developmental changes in cognitive reaction time of children aged 6-12 years. *European Journal of Sport Science*, 10(3), 151–158.
- Iglesias, X., & Rodríguez, F. A. (2008). Physiological testing and bioenergetics in fencing. In X. Iglesias (Ed.), *1st International Congress on Science and Technology in Fencing* (pp.

- 32-34) Retrieved from  
[https://www.researchgate.net/profile/Xavier\\_Iglesias/publication/258835066\\_Book\\_of\\_abstracts\\_1\\_st\\_International\\_Congress\\_on\\_Science\\_and\\_Technology\\_in\\_Fencing/links/54da98090cf2ba88a68d4cbd.pdf#page=34](https://www.researchgate.net/profile/Xavier_Iglesias/publication/258835066_Book_of_abstracts_1_st_International_Congress_on_Science_and_Technology_in_Fencing/links/54da98090cf2ba88a68d4cbd.pdf#page=34)
- Jones, A., & Woods, D. R. (2003). Skeletal muscle RAS and exercise performance. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 35(6), 855-866.
- Kábrt, M. (2011). *Aplikovaná statistika – Test chí-kvadrát nezávislosti v kontingenční tabulce*. Retrieved from <http://www.milankabrt.cz/testNezavislosti/index.php>
- Kohlíková, E. (1015). Sport a geny. In R. Brdička, & Didden, W. (Eds.), *Genetika v klinické praxi* (pp. 161-178). Praha: Galén.
- Leońska-Duniec, A. (2013). Genetic research in modern sport. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 3(3), 19-28.
- Lippi, G., Longo, U. G., & Maffulli, N. (2010). Genetics and sport. *British Medical Bulletin*, 93(1), 27-47.
- MacArthur, D. G., & North, K. N. (2005). Genes and human elite athletic performance. *Human Genetics*, 116(5), 331-339.
- Mazzuca, F., Borro, M., Botticelli, A., Aimati, L., Gentile, G., Capalbo, C., ... & Marchetti, P. (2015). Effect of MTHFR Polymorphisms on Gastrointestinal Cancer Risk in Italy. *World Journal of Oncology*, 6(4), 394-397.
- Měkota, K., & Novosad, J. (2005). *Motorické schopnosti*. Olomouc: FTK UP Olomouc.
- Miyamoto-Mikami, E., Murakami, H., Tsuchie, H., Takahashi, H., Ohiwa, N., Miyachi, M., ... & Fuku, N. (2017). Lack of association between genotype score and sprint/power performance in the Japanese population. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(1), 98-103.
- Nyström, J., Lindwall, O., Ceci, R., Harmenberg, J., Swedenhag, J., & Ekblom, B. (1990). Physiological and morphological characteristics of world class fencers. *International Journal of Sports Medicine*, 11(2), 136-139.
- Petr, M. (2015). *Sportovní a nutriční genomika: využití genetické informace k optimalizaci tréninkových a výživových programů* (Habilitační práce). Praha:

FTVS UK.

- Petr, M., Šťastný, P., Pecha O., Štefl, M., Šeda, O., & Kohlíková, E. (2014). *PPARA* Intron Polymorphism Associated with Power Performance in 30-s Anaerobic Wingate Test. *PLOS ONE*, 9(9), 1-5.
- Roi, G. S., & Bianchedi, D. (2008). The science of fencing: implications for performance and injury prevention. *Sports Medicine*, 38(6), 465-481.
- Roth, S. M., Schragger, M. A., Ferrell, R. E., Reichman, S. E., Metter, E. J., Lynch, N. A., Lindle, R. S., & Hurley, B. F. (2001). *CNTF* genotype is associated with muscular strength and quality in humans across the adult age span. *Journal of Applied Physiology*, 90(4), 1205-1210.
- Sawczuk, M., Timshina, Y. I., Astratenkova, I. V., Maciejewska-Karłowska, A., Leońska-Duniec, A., Ficek, K., ... & Ahmetov, I. I. (2013). The -9/+9 polymorphism of the bradykinin receptor beta 2 gene and athlete status: A study involving two European cohorts. *Human Biology*, 85(5), 741-755.
- Sessa, F., Chetta, M., Petito, A., Franzetti, M., Bafunno, V., Pisanelli, D., ... & Margaglione, M. (2011). Gene polymorphisms and sport attitude in Italian athletes. *Genetic testing and molecular biomarkers*, 15(4), 285-290.
- Schmidt, R. A., & Wrisberg, C. A. (2008). *Motor learning and performance: A*
- Snustad, D. P., & Simmons, M. J. (2009). *Genetika*. Praha: Masarykova univerzita.
- Sobczak, A., & Smulsky, V. (2006). Aerobic and anaerobic capacities of different age and performance female fencers. *MedSportpress*, 12(2), 214-217.
- Solé, X., Guinó, E., Valls, J., Iniesta, R., & Moreno, V. (2006). SNPStats: a web tool for the analysis of association studies. *Bioinformatics*, 22(15), 1928-1929.
- Sovičová, A. (2010). *Výskyt polymorfizmu r557x ACTN3 génu vo vybraných skupinách športovcov*. In Perič, T., & Suchý, J. (Eds.), *Identifikace sportovních talentů* (pp. 57-61). Praha: Karolinum.
- Stein, J. F. (2008). Factors influencing the initiation, performance and precision of the hit in fencing. In X. Iglesias (Ed.), *1st International Congress on Science and Technology in Fencing* (pp. 7-13) Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Xavier\\_Iglesias/publication/258835066\\_Book\\_of\\_abstracts\\_1st\\_International\\_Congress\\_on\\_Science\\_and\\_Technology\\_in\\_Fencing/links/54da98090cf2ba88a68d4cbd.pdf#page=34](https://www.researchgate.net/profile/Xavier_Iglesias/publication/258835066_Book_of_abstracts_1st_International_Congress_on_Science_and_Technology_in_Fencing/links/54da98090cf2ba88a68d4cbd.pdf#page=34)

- Szabo, L. (1982). *Fencing and the master*. Budapest: Franklin.
- Szelid, Z., Lux, Á., Kolossváry, M., Tóth, A., Vágó, H., Lendvai, Z., ... & Merkely, B. (2015). Right ventricular adaptation is associated with the Glu298Asp variant of the NOS3 gene in elite athletes. *PLOS ONE*, *10*(10), e0141680.
- Špulák, D., Čmejla, R., Mikulíková, P., Bezoušková Paulů, J., & Kračmar, B. (2012). *Muscle activity detection using emg envelope thresholding - comparison of various approaches*. Paper presented at the 20th Annual Conference Proceeding's Technical Computing, Bratislava.
- Švecová, M., Smrž, J., & Petr, J. (2008). *Biodiverzita a udržitelný rozvoj*. Banská Bystrica: UMB FPV.
- Tanaka, K., Hasegawa M., Kataoka, T., & Katz, L. (2010). The effect of self-position and posture information on reaction time. *International Journal of Computer Science in Sport*, *9*(3), 4-14.
- Tsolakis, Ch., & Vagenas, G. (2010). Anthropometric, physiological and performance characteristics of elite and sub-elite fencers. *Journal of Human Kinetics*, *23*(1), 89-95.
- Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J., & Monod, H. (1985). All out anaerobic capacity tests on cycle ergometers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *54*(2), 222-229.
- Walsh, S., Kelsey, B. K., Angelopoulos, T. J, Clarkson, P. M., Gordon, P. M., Moyna, N. M., Visich, P. S., ... & Pescatello, L. S. (2009). *CNTF* 1357 G → A polymorphism and the muscle strength response to resistance training. *Journal of Applied Physiology*, *107*(4), 1235-1240.
- Williams, L. R. T., & Walmsley, A. (2000a). Response amendment in fencing: differences between elite and novice subjects. *Perceptual and Motor Skills*, *91*(1), 131-142.
- Williams, L. R. T., & Walmsley, A. (2000b). Response timing and muscular coordination in fencing: A comparison of elite and novice fencers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *3*(4), 460-475.