

Laboratorinė medicina.
2010, t. 12, Nr. 2(46), p. 55–63.

Lietuvos didelio meistriškumo sportininkų *PPARGC1A*, *PPARA* ir *PPARG* genetinių variantų reikšmė fiziniam pajėgumui

Valentina Ginevičienė^{1,2}
Audronė Jakaitienė¹
Jūratė Kasnauskienė¹
Kazys Milašius³
Vaidutis Kučinskas¹

Santrauka

Įvadas. Fizinis pajėgumas yra kiekybinis daugiaveiksnių paveldimumo požymis, kurio fenotipinė išraiška yra veikiamą tiek genetinių, tiek aplinkos veiksnių. Žmogaus adaptacija prie fizinio krūvio yra daugelio genų veiklos rezultatas. Labai svarbų vaidmenį atlieka genai reguliatoriai – *PPARGC1A*, *PPARA*, *PPARG*, dalyvaujantys energijos metabolizme, angliavandenių ir lipidų apykaitoje. Šio darbo tikslas buvo ištirti ir įvertinti *PPARGC1A* G/A, *PPARA* G/C, *PPARG* C/G genetinių variantų įtaką Lietuvos didelio meistriškumo sportininkų fiziniam išsivystymui ir funkciniam pajėgumui.

Tiriamieji ir metodai. Ištirti 193 didelio meistriškumo sportininkai bei 250 nesportuojančių Lietuvos populiacijos asmenų. Sportininkai buvo suskirstyti pagal sportinę kvalifikaciją (elitas, subelitas ir neelitas) ir pagal sporto šakos specifiškumą į ištvermės, greیتumo jėgos bei aerobinio/anaerobinio pajėgumo sportininkų grupes. Jiems išmatuoti pagrindiniai fenotipiniai fizinio išsivystymo ir funkcinio pajėgumo rodikliai.

Tyrimo rezultatai. Pagal *PPARGC1* ir *PPARG* polimorfizmus reikšmingų skirtumų tarp genotipų/alelių dažnių tiriamosiose grupėse nenustatyta. *PPARA* G/C genotipų dažniai elito sportininkų grupėje reikšmingai skyrėsi nuo kontrolinės grupės ($p < 0,05$). Tyrimo rezultatai parodė, kad didžiausios anaerobinio darbo galingumo reikšmės būdingos greیتumo jėgos grupės atstovams. Ištvermę lavinantiems asmenims būdingi geresni širdies ir kraujagyslių sistemos rodikliai, susiję su aerobiniu darbingumu, nei greیتumo jėgos sportininkams. Tiesinės regresijos rezultatai parodė, kad *PPARGC1* AA genotipas yra teigiamai susijęs su sportininkų plaštakų jėga, *PPARA* CC ir *PPARG* CG genotipai – su sportininkų vienkartinio raumenų susitraukimo galingumu.

Išvados. *PPARGC1A* G alelis yra susijęs su sportininkų ištverme, C alelis – su greیتumo jėgos savybėmis. *PPARA* G/G, *PPARG* C/C genotipai nėra lemiami veiksniai, tačiau galimas adityvus genotipų poveikis ištvermei. Tirti genetiniai variantai skirtingai veikia vyrų ir moterų fizinį išsivystymą ir funkcinį darbingumą.

Reikšminiai žodžiai: fizinis pajėgumas, *PPARGC1A*, *PPARA*, *PPARG*, genetiniai variantai.

¹Vilniaus universiteto Medicinos fakulteto Žmogaus ir medicininės genetikos katedra
Department of Human and Medical Genetics, Faculty of Medicine, Vilnius University
Santariškių g. 2, LT-08661 Vilnius
Tel. 236 51 95
El. paštas: vaidutis.kucinskas@santa.lt
audrone.jakaitiene@ktl.mii.lt
valentina.gineviciene@gmail.com
jurate.kasnauskiena@mf.vu.lt
kazys.milasius@vpu.lt

²Lietuvos olimpinis sporto centras
Lithuanian Olympic Sports Centre

³Vilniaus pedagoginis universitetas
Vilnius Pedagogical University

ĮVADAS

Viena iš svarbesnių šiuolaikinio sporto tendencijų, siekiant pačių aukščiausių rezultatų, yra talentų, ryškių individualybių paieška [1]. Genetiniai ir aplinkos veiksniai tiesiogiai veikia žmogaus fizinį pajėgumą, kartu ir sporto rezultatus. Įvairių organizmo sistemų funkcinio pajėgumo didėjimas kiekvieno individo yra unikalus [2]. Funkcines sportininkų galimybes ir jų įgyvendinimą lemia daugelis veiksnių: organizmo aerobiniai ir anaerobiniai gebėjimai, kraujotakos ir kvėpavimo sistemų funkcinis pajėgumas, techninis, psichologinis parengtumas [1, 3]. Raumenų susitraukimo mechanizmai pasižymi sudėtinga įvairove, kuri nevienareikšmiškai modifikuojama skirtingomis darbo sąlygomis. Greitumo jėgos reikalaujančių sporto šakų sportininkų raumenyse dominuoja greitai susitraukiančios (II tipo) skaidulos (RS) [3, 4]. Žmogaus greitumą lemia raumenų deriniai ir ilgis, elastinės savybės, nervinių impulsų sklaidimo greitis, raumenų susitraukimo greitis [4, 5]. Nemažą poveikį turi ir genetiniai veiksniai [5, 6]. Išverme lavinančių sportininkų dirbančiuose raumenyse dominuoja lėtai susitraukiančios (I tipo) RS. Jos pagal savo morfolgines funkcines savybes geriausiai tinka ilgam neintensyviam darbui. Didelis šio tipo RS atsparumas nuovargiui susijęs su jų mažu susitraukimo greičiu ir jėga, gera kapiliarizacija, didesniu mitochondrijų, mioglobino kiekiu, didesniu oksidacinių fermentų aktyvumu, geresniu gebėjimu panaudoti lipidus energijai gaminti [1, 3]. Ilgalais aerobinis fizinis krūvis reikalauja maksimalaus deguonies naudojimo (VO_{2max}) ir didesnės ATP sintezės [3]. Nuo šių procesų priklauso efektyvus raumenų susitraukimas. Tokia adaptacija yra daugelio genų veiklos rezultatas [2, 5]. Tokie būtent yra genai reguliatoriai ir vieni iš jų – peroksisomų proliferatoriaus aktyvinto receptoriaus genų šeimos atstovai.

Peroksisomų proliferatoriaus aktyvinto receptoriaus (PPAR, angl. *Peroxisome proliferator-activated receptor*) genų šeima priklauso genams reguliatoriams, kurie koduoja branduolio receptorius – PPAR, PPAR ir PPAR [7]. PPAR receptoriai veikia kaip transkripcijos veiksniai ir reguliuoja daugelio genų raišką. PPARA raiška vyksta kepenyse, inkstuose, širdyje, raumeniniame ir riebaliniame audinyje, o PPARD – daugelyje audinių, ypač smegenų, odos ir riebaliniame audinyje [8, 9]. Dėl alternatyvaus sukirpimo galimos trys PPARG izofor-

mos: PPAR 1 raiška vyksta beveik visuose audiniuose, iš jų širdies, raumenų, inkstų, kasos, blužnies ląstelėse; PPAR 2 – daugiausia raumenų bei riebalų ląstelėse; PPAR 3 – storjoje žarnoje, riebaliniame audinyje ir makrofaguose [9]. Kiekvienas PPAR atlieka specifines funkcijas, tačiau visi trys PPAR dalyvauja energijos homeostazėje ir uždegimo reakcijose. Nuo jų veiklos priklauso raumeninių skaidulų sudėtis ir raumeninio audinio metabolizmas [2, 9]. Kiekvienas PPAR aktyvinamas specifinio ligando, ypač esant stresui (pvz., badui, fiziniam krūviui). PPARA, PPARD ir PPARG genai tarpusavyje panašūs, nors yra skirtingose chromosomose: PPARA – 22q12-13.1; PPARD – 6p21.2-21.1; PPARG – 3p25 [9].

PPARa reguliuoja energijos homeostazę, gliukozės ir lipidų apykaitą, kontroliuoja kūno svorį ir kraujagyslių išsiplėtimą. Nustatyta, kad širdies hipertrofija yra susijusi su sumažėjusiu PPARa aktyvumu ir riebalų rūgščių oksidacijos (RRO) fermentų aktyvumu širdies raumenyje [8, 9]. PPARa reguliuoja genų, koduojančių pagrindinius raumenų fermentus, dalyvaujančius RRO, raišką [7]. Manoma, kad PPARa aktyvumas didesnis lėtai susitraukiančiose išvermingosiose RS negu greitai susitraukiančiose RS [10]. Nuo PPARA genų produktų veiklos priklauso oksidacinės RS savybės, kurios pagerėja didėjant oksidacinių fermentų aktyvumui ir skaidulų kapiliarizacijai, kartu slopinamos anaerobinės reakcijos, nes silpnėja fermentų, dalyvaujančių glikolizės reakcijose, funkcija [10–12]. Dėl ilgus metus veiklos trukmės gerėja ne tik lėtai, bet ir greitai susitraukiančių RS oksidaciniai procesai. Todėl manoma, kad PPARa yra svarbus komponentas prisitaikant organizmui prie įvairių fizinų krūvių. Manoma, kad jaunų sveikų besitreniruojančių žmonių širdies kairiojo skilvelio (KS) hipertrofija gali būti susijusi su PPARA septintojo introno G/C (rs4253778) polimorfizmu [2, 13]. Nustatyta, kad asmenims, kurių genotipas homozigotinis pagal retąjį C alelį, KS masės padidėjimas trigubai, o asmenims, kurių genotipas heterozigotinis (G/C), dvigubai didesnis nei asmenų, kurių genotipas homozigotinis pagal normalųjį G alelį. Manoma, kad retas C alelis turi įtakos širdies hipertrofijai ir yra susijęs su sumažėjusia RRO ir PPARA raiška [12, 13]. Jei širdies metabolizmo kaitos ypatumai fizinio krūvio metu priklauso nuo PPARA veiklos, galima manyti, kad nukleotido pakaita gene gali būti susijusi su žmogaus fizinio pajėgumo fenotipu. Sisteminiai fizi-

niai krūviai didina širdies darbinį pajėgumą, tačiau sportas, jei taikomi dideli fiziniai krūviai, verčia širdies kraujagyslių sistemą dirbti kraštutinėmis sąlygomis, treniruočių ir varžybų metu išnaudojamos visos jos galios. Nors PPARA G/C polimorfizmas yra geno introninėje dalyje, manoma, kad jis yra funkciškai reikšmingas, nes sąveikauja su promotoriaus ir slopintuvo/stiprintuvo elementais funkcinėje geno dalyje [13]. Tai gali būti sumažėjusios PPARA geno raiškos priežastis. Jei PPARA G/C variantas veikia širdies ir griaučių raumenų RRO ir gliukozės metabolizmą, o PPARA G/G ir G/C genotipo asmenys pasižymi daug intensyvesne RRO kepenyse, miokarde, griaučių raumenyse nei C/C genotipo, galima kelti hipotezę, kad G alelis gali daryti įtaką žmogaus išvermei [2, 13]. Antra vertus, jei C/C genotipo asmenų raumenys daugiau linkę į intensyvų anaerobinį metabolizmą ir jų nepakankama RRO raumenyse kompensuojama intensyvesne gliukozės utilizacija, todėl galima manyti, kad PPARA C alelis yra susijęs su žmogaus greičiu ir jėga [13].

PPAR yra transkripcinio komplekso, būtino mioblastų ir adipocitų diferenciacijai, dalis. Nustatytas PPAR vaidmuo adipogenezėje ir lipidų metabolizme [9, 14]. PPAR yra branduolio receptorius, kuris padidina insulino skatinamą gliukozės patekimą į insulino audinius taikinius, tokius kaip griaučių raumenys, širdis ir riebalinis audinys. PPAR receptorių agonistai (ligandai) mažina atsparumą insulinui ir skatina medžiagų apykaitą [9]. Identifikuotas PPARG2 geno B egzono [C/G] (rs1801282) polimorfizmas (p.Pro12A1a, c.34C>G). PPARG2 C/G turi įtakos geno transkripcijos aktyvumui ir yra susijęs su insulino apykaita [14]. Panašiai kaip ir PPARA variantas, PPARG2 C/G polimorfizmas kartu su aplinkos veiksniais veikia įvairius metabolinius procesus fizinio krūvio metu [2]. Retojo PPARA 7 introno C alelio dažnis skirtingose populiacijose skiriasi nuo 0,2 Europoje ir Azijoje iki 0,8 Afrikos amerikiečių (dbNCBI). Retojo PPARG2 G alelio dažnis populiacijose skiriasi nuo 0,2 Europos populiacijose, 0,12 Afrikos amerikiečių iki 0,01 Azijos populiacijose (dbNCBI). Keleto tyrimų duomenimis, PPARG2 C/G siejasi su kūno masės indeksu (KMI) (G alelis susijęs su padidėjusiu KMI), nutukimu ir 2 tipo cukriniu diabetu [14, 15]. Tačiau šių tyrimų rezultatai prieštaringi. Nustatyta, kad PPARG2 G alelis susijęs su PPAR sumažėjusiu aktyvumu, todėl didėja jautrumas insulinui ir gliukozės sunaudojimas, nes PPAR regu-

liuoja gliukozės koncentraciją kraujyje, skatina sintetinti specifinius baltymus, kurie gerina ląstelių atsaką į insuliną [15]. Atsparumas insulinui lemia sumažėjusį insulino poveikį gliukozės metabolizmui griaučių raumenyse, riebaliniame audinyje ir kepenyse. Gliukozė dalyvauja energiniuose procesuose. *PPARG2* reikšmė organizmo prisitaikymui prie fizinio krūvio mažai ištirta. Anaerobinis angliavandenių skaidymas fizinio darbo metu gali prasidėti nuo gliukozės ir nuo gliukogeno skilimo. Tiek glikolizė, tiek gliukogenolizė būdingos raumenims ir ypač suaktyvėja esant maksimaliai intensyviam fiziniam krūviui. Normalaus gliukozės kiekio palaikymas organizme turi adaptacinį pobūdį. Fizinio darbo metu, be angliavandenių, energiją gamina ir riebalai (laisvosios riebalų rūgštys, atskilusios nuo raumenyse esančių trigliceridų, taip pat riebalų rūgštys, esančios kraujyje) [1]. Galima iškelti hipotezę, kad *PPARG2* G alelis yra susijęs su žmogaus greičiu ir jėga, nes sumažėja PPAR transkripcinis aktyvumas, kuris lemia mažesnę žmogaus aerobinę ištvermę. Galima manyti, kad *PPARG2* C/C genotipo asmenims būdinga didesnė ištvermė [2].

PPAR ir PPAR nuo ligando priklausomai aktyvacijai reikalingas transkripcinis koaktyvatorius, būtent peroksisomų proliferatoriaus aktyvinto receptoriaus koaktyvatorius 1 (koduojamas *PPARGC1A* geno). *PPARGC1A* yra transkripcinis daugelio branduolio receptorių koaktyvatorius (PPAR, PPAR, PPAR, ir es-

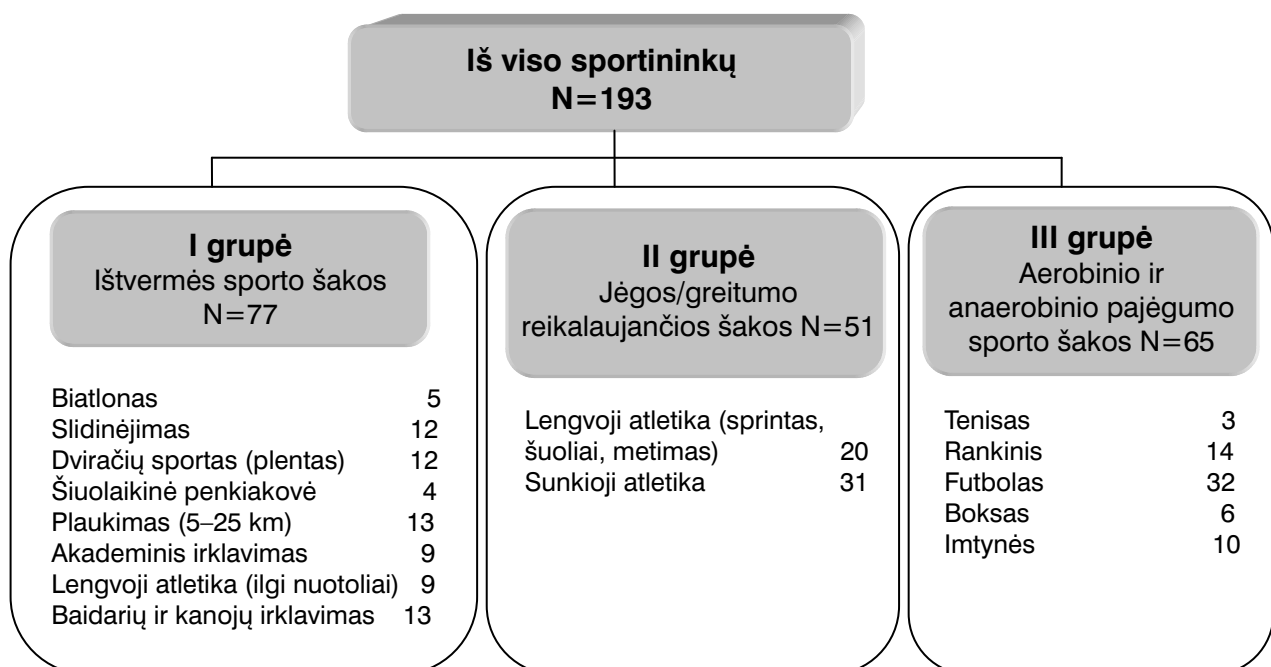
trogenų receptorių) [7, 9, 16]. *PPARGC1A* raiška vyksta raumenų ir riebalų ląstelėse. *PPARGC1A* dalyvauja angliavandenių ir lipidų apykaitoje, aktyvinant PPAR; mitochondrijų kiekio padidėjime; mioblastų ir adipocitų diferenciacijoje, aktyvinant PPAR; termogenezėje [7, 16, 17]. *PPARGC1A* geno raiška gerokai padidėja fizinio krūvio metu. Svarbiausia ypatybė yra atsakas į aplinkos ir fiziologinius signalus (stimulus) aktyvinant/slopinant genų raišką priklausomai nuo audinio tipo. *PPARGC1A* dalyvauja širdies miocitų oksidaciniuose procesuose, o griaučių raumenyse skatina lėtųjų RS susidarymą [18]. Nustatytas *PPARGC1A* 8 egzono [G/A] (rs8192678; c.1444G>A; p.Gly482Ser) polimorfizmo ryšys su nutukimu, hipertenzija, insulino ir gliukozės apykaita. Bet jokio reikšmingo ryšio su KMI, gliukozės ar insulino kiekiu kraujo serume neaptikta. *PPARGC1* G alelis yra susijęs su RRO, širdies ir kvėpavimo sistemų apykaita, su fizine ištverme. Be to, *PPARGC1* G/A turi įtaką insulino jautrumui kepenyse ir griaučių raumenyse [17–19]. Manoma, kad A alelis yra susijęs su padidėjusia rizika sirgti II tipo cukriniu diabetu, nutukimo rizika bei sumažėjusiu deguonies suvartojimu. VO_{2max} yra vienas iš svarbiausių organizmo aerobinio darbingumo rodiklių ir yra stipriai genetiškai nulemtas [20]. Todėl galima iškelti hipotezę, kad G alelis yra susijęs su ištverme, o A/A genotipo asmenims būdingas sumažėjęs aerobinis darbingumas.

DARBO TIKSLAS

Ištirti ir įvertinti *PPARGC1A* G/A, *PPARA* G/C, *PPARG* C/G genetinių variantų įtaką Lietuvos didelio meistriškumo sportininkų grupių fiziniam išsivystymui ir funkciniam pajėgumui.

TIRIAMIEJI IR METODAI

Ištirti 193 (152 vyrai, 41 moteris) didelio meistriškumo Lietuvos sportininkai (amžiaus vidurkis $22,0 \pm 6,3$ metų) bei 250 kontrolinės grupės nesportuojančių Lietuvos populiacijos asmenų (167 vyrai ir 83 moterys). Kontrolinę grupę sudarė sveiki įvairių Lietuvos etnolingvistinių grupių asmenys (amžiaus vidurkis $31,3 \pm 13,5$ metų). Dalyvaujantis tyrime asmuo buvo informuojamas pasirašytinai apie atliekamą tyrimą. Sportininkai buvo suskirstyti į tris grupes pagal fizinio darbo trukmę (rungties ilgumą laiko požiūriu) ir sporto šakos specifiškumą. Pirmą grupę – į ištvermę orientuotų aerobinio pobūdžio fizinio krūvio sporto šakų sportininkai; antra grupė – anaerobinio pajėgumo (reikalaujanti greičio ir galingumo); trečia – aerobinio ir anaerobinio pajėgumo sportininkų grupė (pav.). Iš visų tiriamųjų sportininkų 43 buvo Lietuvos olimpinės rinktinės nariai (elito grupės, t. y. pasaulio ir Europos čempionatų prizininkai), 52 olimpinio rezervo sportininkai (subelito grupė, kurios sportininkai yra tarptautinių varžybų prizininkai)



Pav. Sportininkų suskirstymas į tris grupes pagal sporto šakos specifiškumą
Fig. The groups of athletes according to the type of sport

bei 98 Lietuvos nacionalinės jaunimo rinktinės nariai (priskirti neelito grupei).

Genetinis tyrimas. Genetiniai tyrimai atlikti Vilniaus universiteto Medicinos fakulteto Žmogaus ir medicininės genetikos katedroje ir jos klinikinėje bazėje – Vilniaus universiteto ligoninės Santariškių klinikų Medicininės genetikos centre. Genominė DNR buvo išskiriama iš tiriamųjų asmenų periferinio kraujo leukocitų fenoliochloroformo ekstrakcijos būdu. Išskirtos DNR koncentracija ir švarumas buvo tiriami biofotometru. *PPARGC1A* G/A, *PPARA* G/C, *PPARG2* C/G polimorfizmai buvo nustatyti atitinkamą DNR dalį pagausinus polimerazės grandininės reakcijos (PGR) būdu, gauti PGR produktai buvo skaidomi restrikcijos endonukleaze (atitinkamai *MspI*, *TaqI* ir *Bsh1236I*, Fermentas, Lietuva), skaidumo rezultatai buvo vertinami 2 % agarozės gelyje. Pasibaigus elektroforezei gelis buvo dažomas etidžio bromidu ir analizuojamas bei fotografuojamas ultravioletinėje šviesoje [13, 15, 20].

Fenotipo vertinimas. Lietuvos didelio meistriškumo sportininkų sportiniam potencialui vertinti Vilniaus pedagoginio universiteto sporto laboratorijoje buvo nustatyti pagrindiniai fenotipiniai fizinio išsivystymo rodikliai: ūgis (cm), kūno masė (kg); riebalų (kg) ir raumenų masė (kg); KMI – kūno masės indeksas (kg/m^2); RRMI – raumenų riebalų masės indeksas. Fizinis pajėgumas vertintas pagal vienkartinį raumenų susitraukimo galinumą (VRSG) (pagal Bosco metodiką), anaerobinį alaktatinį raumenų galinumą (AARG) (Margaria testas), aerobinis darbingumas – pagal $\text{VO}_{2\text{max}}$ (ml/min/kg). Kraujotakos ir kvėpavimo sistemų pajėgumas vertintas Ruffjė indeksu (RI) [3, 21–23].

Statistinė analizė. Statistiškai įvertinti genotipų dažnių nukrypimai nuo Hardžio ir Vainbergo dėsnio. Naudotas chi kvadrato kriterijus (χ^2) esant statistinio reikšmingumo lygmeniui 0,05. Lietuvos sportininkų fizinio išsivystymo ir funkcinio pajėgumo fenotipinių rodiklių kiekvienam genotipui vidutiniai skirtumai buvo vertinami vienfaktorės dispersinės analizės metodu (ANOVA). Genotipinių rodiklių įtakai fiziniam išsivystymui ir funkciniam pajėgumui vertinti buvo sudaryti daugialypės tiesinės regresijos modeliai. Šiuose modeliuose genotipiniai rodikliai naudoti kaip priklausomi dvireikšmiai pseudokintamieji. Genotipiniai pseudokintamieji apibrėžti taip, kad pseudokintamojo reikšmė yra 1, jeigu sportininkui nustatytas konkretus nagrinėjamų genų genoti-

pas, kitais atvejais – 0. Tokiu būdu kiekvienam genui sudaryti trys pseudokintamieji. Regresijoje naudotas dar vienas pseudokintamasis, norint išskirti lyties poveikį (0, jeigu sportininkas vyras ir 1 – moteris) fiziniam išsivystymui ir funkciniam pajėgumui. Tyrimų rezultatams apskaičiuoti buvo naudojama statistinės analizės paketo SPSS versija 13.0.

REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Analizuodami fizinio išsivystymo ir funkcinio pajėgumo rodiklius, nustatėme, kad visų didelio meistriškumo Lietuvos sportininkų kūno masė vidutiniškai buvo $73,5 \pm 14,5$ kg, ūgis $178,5 \pm 9,4$ cm, riebalų masė $8,4 \pm 3,4$ kg, raumenų masė $39,5 \pm 9,1$ kg, KMI $22,8 \pm 3,4$ kg/m^2 , RRMI $5,2 \pm 1,7$. Sportininkų santykiniai anaerobinio pajėgumo rodikliai buvo: VRSG $2,4 \pm 0,5$ kgm/s/kg ($1750,1 \pm 498,8$ W) ir AARG $1,6 \pm 0,2$ kgm/s/kg ($1151,4 \pm 296,5$ W). Kraujotakos ir kvėpavimo sistemų funkcinį pajėgumą apibūdinančio Ruffjė indekso vidurkis buvo $4,5 \pm 2,9$. Aerobinio pajėgumo rodiklis $\text{VO}_{2\text{max}}$ buvo $55,5 \pm 10,5$ ml/min/kg. Lietuvos sportininkų grupių pagal sporto šakos specifiškumą fizinio išsivystymo ir funkcinio pajėgumo statistiniai rodikliai pateikiami 1 lentelėje. Fenotipo rodiklių vidutinės reikšmės tarp sporto šakų statistiškai reikšmingai skyrėsi (išskyrus $\text{VO}_{2\text{max}}$) ir buvo specifinės kiekvienai sporto grupei ($p < 0,05$).

Šiame tyrime dalyvavo įvairių sporto šakų didelio meistriškumo sportininkai. Įgimtas atskirų grupių raumeninių skaidulų kiekis lemia sportinę sėkmę [2]. Manoma, kad greičio jėgos reikalaujančių sporto šakų sportininkų raumenyse dominuoja greitai susitraukiančios skaidulos, ištvėringųjų skaidulų raumenyse yra mažiau [1, 3, 5]. Didelio galingumo reikalaujančios sporto šakos sportininkų raumenyse vyksta mišri energijos gamyba, į veiklą ištraukia lėtosios ištvėringosios skaidulos, gebančios daug energijos gaminti aerobinėmis reakcijomis. Raumenų galingumas apibūdinamas kaip raumenų susitraukimo greičio ir jėgos išraiška atliekant tam tikrą fizinį darbą [1, 3]. Dar 1982 metais C. Bosco ir kt. rašė, kad vienkartiniam raumenų susitraukimo galingumui turi reikšmės skaidulų morfologija ir biocheminiai procesai raumenyse [22].

Pirmame tyrimo etape lyginant fenotipo reikšmes sportininkų grupėse paaiškėjo, kad greičio jėgos grupėje raumenų masė, plaštakų jėga, VRSG ir AARG buvo didesni nei ištvėrmės sportininkų grupėje (1 lentelė). Todėl tikėtina, kad tirti didelio meistriškumo greičio jėgos sportininkai, o tiksliau – tiriamosios grupės rodikliai, gali būti priskiriami ir nagrinėjami kaip talentingų šių sporto rungčių atstovų rezultatai. Mūsų rezultatai patvirtina kitų sporto mokslininkų nuomonę, kad greičio jėgos grupėje VRSG ir AARG rodikliai yra aukštesni nei ištvėrmės sportininkų grupėje [1, 24].

1 lentelė. Lietuvos sportininkų grupių fizinio išsivystymo ir funkcinio pajėgumo rodiklių pasiskirstymas pagal fizinio darbo trukmę ir sporto šakos specifiškumą
Table 1. The physical developments of phenotypic and functional capacity variables of the Lithuanian elite athlete with respect to the type of sport

Sporto grupė	I grupė (n=77)	II grupė (n=51)	III grupė (n=65)
Fenotipinis rodiklis			
Ūgis, cm	181,9±8,4	178,3±9,6	174,5±8,8
Svoris, kg	76,0±12,5	81,1±16,3	64,4±10,0
KMI, kg/m^2	22,8±2,4	25,4±4,1	21,0±2,3
Riebalų masė, kg	7,9±2,2	9,3±4,7	8,1±2,9
Raumenų masė, kg	41,2±8,6	44,6±8,9	33,6±6,1
RRMI	5,5±1,5	5,5±2,3	4,5±1,1
Dešinės plaštakos jėga, kg	47,9±9,9	52,0±9,1	39,6±8,4
Kairės plaštakos jėga, kg	47,0±9,3	50,9±9,2	38,3±9,6
VRSG, W	1763,9±484,8	1995,7±497,3	1541,0±425,9
AARG, W	1210,±286,7	1238,5±240,9	1016,6±220,2
Ruffjė indeksas	3,3±2,6	5,7±3,0	4,9±3,0
$\text{VO}_{2\text{max}}$, ml/min/kg	55,2±9,3	58,9±10,7	54,1±11,6

I grupė – ištvėrmės sporto šakų atstovai; II grupė – jėgos ir greičio sportininkai; III grupė – aerobinio ir anaerobinio pajėgumo sporto šakų atstovai; KMI – kūno masės indeksas; RRMI – raumenų riebalų masės indeksas; VRSG – vienkartinis raumenų susitraukimo galingumas; AARG – anaerobinis alaktatinis raumenų susitraukimo galingumas; $\text{VO}_{2\text{max}}$ – maksimalus deguonies sunaudojimas.

2 lentelė. Lietuvos sportininkų ir kontrolinės grupės genotipų dažnių pasiskirstymas
Table 2. Genotype frequencies in the athletes and controls

Tiriamųjų grupės	N		<i>PARGC1A</i> G/A			<i>PPARA</i> G/C			<i>PPARG</i> C/G		
			G/G	G/A	A/A	G/G	G/C	C/C	C/C	C/G	G/G
I grupė Ištvermės sporto šakos	77	n	40	33	4	46	25	6	57	19	1
		O%	51,9	42,9	5,2	59,7	32,5	7,8	74,0	24,7	1,3
		² p	0,72 0,396			0,94 0,332			0,17 0,68		
II grupė Jėgos/greitumo reikalaujančios sporto šakos	51	n	29	21	1	28	21	2	38	12	1
		O%	56,9	41,6	2,0	54,9	41,2	3,9	74,9	23,5	2,0
		² p	1,63 0,202			0,65 0,420			0 1		
III grupė Aerobinio ir anaerobinio pajėgumo sporto šakos	65	n	29	29	7	43	19	3	49	16	0
		O%	44,6	44,6	10,8	66,2	29,2	4,6	75,4	24,6	0
		² p	0 1			0,23 0,632			1,28 0,258		
Iš viso sportininkų	193	n	98	83	12	117	65	11	144	47	2
		O%	50,8	43,0	6,2	60,6	33,7	5,7	74,6	24,4	1,0
		² p	1,03 0,310			0,24 0,624			0,74 0,631		
Kontrolė	250	n	129	104	17	173	68	9	175	68	7
		O%	51,6	41,6	6,8	69,2	27,2	3,6	70,0	27,2	2,8
		² p	0,42 0,517			0,51 0,475			0,02 0,887		

² ir p remiantis Hardžio ir Vainbergo dėsniais.

Visose rungtyse yra svarbus vienkartinis raumenų susitraukimo galinumas startuojant, o startiniame greitime pagrindinis vaidmuo tenka anaerobiniam alaktatiniam raumenų galinimumui. Raumenų galinumas daug priklauso ir nuo raumenų masės [1, 3]. Mūsų rezultatai rodo, kad greičio ir jėgos reikalaujančių sporto šakų sportininkų raumenų masė yra didesnė nei kitų sporto šakų sportininkų. Tiesinės regresijos analizė parodė (5 lentelė), kad anaerobinio darbingumo rodiklių VRSG ir AARG didesnės vertės yra tiesiogiai susijusios su didesne raumenų masės sportininkais. Sporto mokslo specialistai teigia, kad antropometriniai duomenys gali turėti įtakos fiziniam sportininkų pajėgumui [1, 21, 24]. Mūsų tyrimo duomenimis, didesnio svorio didelio meistriškumo, bet mažesnės riebalų masės sportininkai pasižymi geresniais VRSG, AARG ir plaštakų jėgos rodikliais (5 lentelė). Sportininkų fenotipiniai rodikliai priklauso ne tik nuo sporto šakos, bet ir nuo sportininkų lyties. Mūsų tyrimo statistinė analizė parodė, kad plaštakų jėga ir AARG reikšmingai priklauso nuo sportininkų lyties (5 lentelė). Kraujotakos ir kvėpavimo sistemų (aerobinio) pajėgumo Ruffjė testo rodikliai buvo mažesni ištvermės sporto šakų grupėje nei kitose sporto grupėse, tai rodo gerą ištvermės sportininkų treniruotumą (1 lentelė).

Greitis ir jėga yra labiau paveldimi nei igrjami per treniruotes, o štai ištvermę galima išsiugdyti ir sustiprinti daugiametėmis treniruotėmis [5, 6].

Kaip teigia G. Beunen ir M. Thomis (2006), paveldimumas turi didesnę reikšmę statinei jėgai ir galinimumui negu raumenų ištvermingumui. Autoriai pabrėžia, kad lyties skirtumai nėra visuomet aiškūs, tačiau manoma, kad genetiniai veiksniai turi didesnę reikšmę vyriškosios lyties asmenų fiziniam pajėgumui negu moteriškosios lyties [5].

Siekdami įvertinti polimorfizmą, siejamą su žmogaus fiziniu pajėgumu, pasiskirstymą Lietuvos didelio meistriškumo sportininkų grupėje ir bendroje Lietuvos populiacijoje, nustatėme tiriamųjų genotipus ir apskaičiavome alelių bei genotipų dažnius. Genotipų pasiskirstymas tiriamųjų grupėje atitiko Hardžio ir Vainbergo dėsnį. Genotipų dažniai sportininkų grupėje ir bendroje Lietuvos populiacijoje pateikiami 2 lentelėje.

Mūsų tyrimo duomenimis, pagal *PPARGC1* G/A polimorfizmą reikš-

mingų skirtumų tarp genotipų/alelių dažnių tiriamosiose grupėse nenustatyta. *PPARGC1* retojo alelio A dažnis Lietuvos populiacijoje buvo 27,6 % (kitose Europos populiacijose 30–43 %), sportininkų – 27,7 %. Pastebėta, kad jėgos ir greitumo reikalaujančioje sporto šakų grupėje *PPARGC1* A alelio dažnis buvo retesnis nei kitose sporto grupėse ir kontrolinėje grupėje (3 lentelė).

Tiriant *PPARA* G/C polimorfizmą nustatyta, kad alelių dažniai sportininkų grupėje reikšmingai skyrėsi nuo kontrolinės grupės (3 lentelė). *PPARA* retojo C alelio dažnis Lietuvos populiacijoje buvo 17,2 % (kitose Europos populiacijose apie 20 %), sportininkų – 22,5 %. Mūsų tyrimo duomenimis, genotipų dažniai elito grupės sportininkų reikšmingai skyrėsi nuo kontrolinės grupės (elito grupės sportininkų GG/GC/CC: 51,2/37,2/11,6 %; kontrolinės grupės: 69,2/27,2/3,6 %;

3 lentelė. Lietuvos sportininkų ir kontrolinės grupės alelių dažniai
Table 3. Allele frequencies in the athletes and controls

Sporto grupė	N	<i>PPARGC1A</i>		<i>PPARA</i>		<i>PPARG</i>	
		G	A	G	C	C	G
I grupė	77	0,734	0,266	0,760	0,240	0,864	0,136
II grupė	51	0,775	0,225	0,755	0,245	0,863	0,137
III grupė	65	0,669	0,331	0,808	0,192	0,877	0,123
Iš viso sportininkų	193	0,723	0,277	0,775	0,225	0,868	0,132
Kontrolė	250	0,724	0,276	0,828	0,172	0,836	0,164

Reikšmingi skirtumai: *PPARA* alelių dažniai tarp visų sportininkų ir kontrolinės grupės ($\chi^2 = 3,95$; $p = 0,046$); *PPARA* alelių dažniai tarp I grupės (ištvermės) ir kontrolinės grupės ($\chi^2 = 3,59$; $p = 0,058$).

4 lentelė. Vienmatės dispersinės analizės rezultatai nagrinėjamiems fenotipiniams rodikliams
Table 4. Results of ANOVA for the chosen phenotypic variables

Sporto grupė	PARGCIA G/A			PPARA G/C			PPARG C/G		
	G/G	G/A	A/A	G/G	G/C	C/C	C/C	C/G	G/G
Ūgis, cm									
I	180,9*	182,6*	185,4	179,8**	185,0*	184,6	182,7*	180,4	162,5
II	178,5*	177,3*	192,5	177,5**	179,1*	181,0	178,8*	177,8	165,0
III	173,4*	174,9*	177,5	175,2**	172,8*	176,3	173,7*	177,0	–
Svoris, kg									
I	75,5*	75,1*	87,5**	73,0*	80,7*	78,5	77,4*	72,5**	64,0
II	80,6*	81,9*	81,0**	81,1*	81,9*	73,2	81,7*	81,5**	57,0
III	62,7*	65,1*	68,7**	63,6*	65,9*	66,5	63,5*	67,1**	–
KMI, kg/m²									
I	22,9*	22,4*	24,8	22,5*	23,3*	23,0	22,9*	22,2*	24,6
II	25,0*	26,1*	21,8	25,5*	25,5*	22,4	25,4*	25,6*	21,1
III	20,8*	20,9*	21,7	20,6*	21,6*	21,4	20,8*	21,5*	–
Riebalų masė, kg									
I	7,8**	8,3	6,7	8,0*	8,0	7,1**	8,1	7,4	9,2
II	9,5**	9,5	3,2	10,2*	8,5	6,1**	9,4	9,4	5,9
III	7,3**	8,4	10,0	7,4*	9,0	11,9**	7,9	8,3	–
Raumenų masė, kg									
I	41,4*	40,1*	47,7**	39,3*	44,2*	43,4	42,3*	39,9*	38,0
II	43,9*	45,6*	45,6**	43,7*	46,0*	43,0	45,1*	44,2*	31,4
III	32,9*	33,6*	35,8**	32,8*	34,9*	35,4	33,1*	34,9*	–
RRMI									
I	5,7	5,1*	7,3*	5,4**	5,7*	6,1**	5,5*	5,4	6,7
II	5,5	5,2*	14,2*	4,8**	6,3*	7,4**	5,7*	4,9	5,3
III	4,7	4,3*	3,9*	4,7**	4,2*	3,1**	4,4*	4,7	–
Dešinės plaštakos jėga, kg									
I	46,7*	47,7*	61,0**	46,9*	48,9*	50,8**	48,8*	45,5*	40,0
II	51,9*	51,3*	68,0**	51,1*	53,7*	46,0**	51,4*	54,4*	44,0
III	40,4*	38,4*	41,3**	40,2*	39,3*	33,0**	39,2*	40,9*	–
Kairės plaštakos jėga, kg									
I	45,3*	47,3*	60,5**	45,8*	48,3*	50,2	47,9*	44,3*	40,0
II	50,8*	50,4*	65,0**	50,5*	52,1*	44,0	50,5*	53,4*	35,0
III	38,0*	37,9*	40,7**	39,2*	36,9*	33,0	38,1*	38,7*	–
VRSG, W									
I	1774,6*	1746,4*	1801,4**	1736,5*	1752,3**	2022,3	1795,8*	1690,2	1350,0
II	1961,6*	1999,8*	2898,0**	1928,7*	2088,7**	1958,0	1976,9*	2123,0	1180,0
III	1488,7*	1580,3*	1594,4**	1480,9*	1644,0**	1749,3	1486,4*	1708,0	–
AARG, W									
I	1144,0**	1249,1*	1496,7*	1186,8*	1228,5	1277,3	1227,7*	1157,3	1000,0
II	1246,4**	1211,8*	1572,0*	1228,6*	1251,7	1240,0	1225,9*	1281,8	1201,0
III	1022,4**	1012,7*	1008,7*	1002,9*	1054,1	974,7	1006,5*	1047,6	–
Rufjė indeksas									
I	3,7**	3,0*	2,4	3,4*	3,6**	1,8*	3,4*	3,3	0,4
II	5,6**	5,5*	10,4	5,5*	5,9**	4,8*	5,9*	4,8	5,6
III	4,3**	5,6*	4,7	4,9*	4,4**	8,3*	5,2*	3,9	–
VO_{2max}, ml/min/kg									
I	54,6	55,6	59,1	55,2	55,3	54,5	55,9**	53,0	58,2
II	61,3	56,4	–	57,6	60,9	62,7	59,7**	57,0	55,5
III	54,4	52,5	59,1	53,2	57,1	49,6	52,5**	59,0	–
GPT									
I	5,6*	5,6*	6,2**	5,6*	5,8*	5,4	5,7*	5,7*	4,3
II	4,9*	4,5*	5,7**	4,8*	4,9*	4,6	4,8*	5,0*	3,0
III	4,3*	4,5*	4,4**	4,4*	4,4*	4,0	4,4*	4,5*	–

*hipotezė, kad tam tikro genotipo sporto grupių fenotipiniai vidurkiai lygūs, atmetama esant 1 % reikšmingumo lygmeniui; ** hipotezė, kad tam tikro genotipo sporto grupių fenotipiniai vidurkiai lygūs, atmetama esant 5 % reikšmingumo lygmeniui.

5 lentelė. Sudarytų regresijos modelių parametrai ir jų reikšmingumas
Table 5. Estimated parameters and goodness of fit of the regression models

Rodiklis	Laisvasis narys	Ūgis	Svoris	Riebalų masė	Raumenų masė	Lytis	PGC1A A/A	PPARA C/C	PPARG C/G	PPARG C/C	\bar{R}^2	DW
DPJ	28,34 (0,02)	-0,18 (0,02)	0,67 (0,00)	-1,24 (0,00)	–	5,57 (0,00)	3,10 (0,09)	–	–	–	0,66	2,19
KPJ	22,00 (0,09)	-0,14 (0,09)	0,63 (0,00)	-0,93 (0,00)	–	5,77 (0,00)	3,53 (0,08)	–	–	–	0,60	2,15
VRSG	64,92 (0,64)	–	14,94 (0,01)	-19,36 (0,04)	18,09 (0,04)	–	–	176,52 (0,12)	100,65 (0,10)	–	0,49	1,80
AARG	-298,71 (0,39)	6,26 (0,00)	–	-13,76 (0,01)	16,66 (0,00)	123,16 (0,00)	–	–	-426,80 (0,00)	-436,72 (0,00)	0,56	1,87

Skliaustuose p reikšmės. DPJ – dešinės rankos plaštakos jėga; KPJ – kairės rankos plaštakos jėga; VRSG – vienkartinis raumenų susitraukimo galingumas; AARG – anaerobinis alaktatinis raumenų galingumas; \bar{R}^2 – pakoreguotas determinacijos koeficientas; DW – Durbino ir Watsono statistika

$^2 = 8,02$; $p = 0,018$); genotipų dažniai elito grupės sportininkų nuo neelito (GG/GC/CC: 63,3/34,7/2,0 %; $^2 = 6,32$; $p = 0,04$). Nustatyta, kad *PPARA* C alelio dažnis didėja kartu su sportininkų kvalifikacija: elitinių sportininkų (30,2 %) buvo dažnesnis nei kitų sportininkų (subelitinių 21,4 %; neelitinių 19,5 %) ir kontrolinės grupės asmenų (16,4 %). Kai sportininkai buvo suskirstyti į grupes pagal sporto šakos specifiką ir pagal lytį, pastebėta, kad vyrų sportininkų alelių dažniai skyrėsi nuo kontrolinės grupės vyrų (sportininkai G/C: 77,3/22,7 %; kontrolinės grupės vyrai: 82,8/17,2 %; $^2 = 5,75$; $p = 0,016$), tačiau reikšmingų skirtumų tarp genotipų/alelių dažnių tiriamųjų moterų grupėse (nei tarp sportininkų, nei tarp sportininkų ir kontrolinės grupės moterų) nepastebėta.

Mūsų tyrimo duomenimis, pagal *PPARG* C/G polimorfizmą reikšmingų skirtumų tarp genotipų/alelių dažnių tiriamosiose grupėse nenumatyta. *PPARG* retojo G alelio dažnis Lietuvos populiacijoje buvo 16,4 % (kitose Europos populiacijose 15–20 %), sportininkų – 13,2 %. *PPARG* G alelio dažnis ištvėrmės sportininkų grupėje buvo didesnis nei kitose sporto grupėse ir kontrolinėje grupėje (3 lentelė). *PPARG* G alelio dažnis buvo mažesnis neelitinių sportininkų grupėje (10,7 %) nei elitinių (11,6 %) ir subelitinių (18,9 %) sportininkų nei bendroje Lietuvos populiacijoje.

Vertinant Lietuvos didelio meistriškumo sportininkų sportinio potencialo ryšį su genetiniais variantais, buvo naudojami pagrindiniai fenotipiniai sportininkų fizinio išsivystymo ir pajėgumo rodikliai, taikyta statistinė vienfaktorė dispersinė analizė.

Vertinant Lietuvos sportininkų fenotipinius rodiklius kiekvienam genotipui pagal *PPARGC1A* genetinį variantą, nustatyta, kad fizinio išsivystymo ir anaerobinio pajėgumo rodikliai greitumo jėgos grupėje reikšmin-

gai skyrėsi nuo ištvėrmės sportininkų grupės rodiklių ($p < 0,05$) (4 lentelė). Taip pat rezultatai parodė, kad *PPARGC1A* GG genotipo elitinių sportininkų ūgis, svoris, GPT, raumenų masė, RRMI reikšmingai didesni, o RI rodiklis buvo daug mažesnis nei GG genotipo subelitinių ir neelitinių sportininkų; elito grupėje AA genotipo sportininkų raumenų masė ir VRSG rodikliai didesni nei AA genotipo subelito ir neelito grupėse ($p < 0,05$). Taigi tyrimo rezultatų analizė atskleidė, kad *PPARGC1A* genetinis variantas turi įtakos sportininkų fiziniam išsivystymui ir funkciniam darbingumui. Vienfaktorės dispersinės analizės procedūra parodė, kad homozigotinio genotipo pagal *PPARGC1A* geno retąjį alelį (A/A) sportininkai turėjo didesnius fizinio išsivystymo rodiklius – raumenų masę ir RRMI ($p < 0,05$) nei GG ir GA genotipo sportininkai, ypač šis skirtumas akivaizdus vyrų grupėje ($p < 0,05$) ir elitinių sportininkų grupėje ($p < 0,05$). Fenotipinių rodiklių analizė pagal genotipą tiriamųjų sportininkų vyrų ir moterų grupėse atskleidė reikšmingus skirtumus ($p < 0,05$): *PPARGC1A* GG ir GA genotipo vyrų fizinio išsivystymo rodikliai – ūgis, svoris, GPT, raumenų masė, RRMI, bei anaerobinio pajėgumo rodikliai – plaštakų jėga, VRSG, AARG ir aerobinio darbingumo rodiklis VO_{2max} , buvo didesni nei moterų GG ir GA genotipo. Tai rodo galimą genotipų poveikį sportininkų vystymosi ir fizinio pajėgumo ypatumams. Galima teigti, kad *PPARGC1A* genetinis variantas turi skirtingą įtaką vyrų ir moterų fiziniam išsivystymui ir funkciniam darbingumui. Pastebėta, kad *PPARGC1A* AA genotipo asmenims, prisitaikiusiems prie greitumo jėgos fizinių krūvių, būdingas gebėjimas pasiekti didesnius raumenų darbingumo rodiklius atliekant maksimalių trumpalaikių pastangų reikalaujančias užduotis nei prie ištvėrmės fizinių krūvių prisi-

taikiusiems AA genotipo asmenims. Tiesinės regresijos rezultatai parodė, kad AA genotipas yra teigiamai susijęs su sportininkų plaštakų jėga (5 lentelė). Galima manyti, kad *PPARGC1A* A alelis lemia sportininkų greitumo jėgos savybes.

Vertinant sportininkų fenotipinius rodiklius (4 lentelė) kiekvienam genotipui pagal *PPARA* genetinį variantą, nustatyta, kad heterozigotiniai asmenys (GC genotipo) greitumo jėgos grupėje turėjo didesnę raumenų masę ir didelį RRMI, pasižymėjo geresniais plaštakų jėgos ir VRSG testavimo rezultatais. *PPARA* CC asmenų aerobinio pajėgumo parametrai RI ir VO_{2max} buvo geresni, taip pat pastebėta, kad jų anaerobinio pajėgumo rodikliai VRSG ir AARG irgi geresni nei greitumo jėgos ir ištvėrmės grupių GG genotipo sportininkų. Tačiau tiriamųjų vyrų grupėje CC genotipo sportininkų VRSG ir AARG rezultatai buvo geresni nei GG genotipo sportininkų. Galima manyti, kad *PPARA* genetinis variantas turi skirtingą įtaką vyrų ir moterų fiziniam išsivystymui ir funkciniam darbingumui. Tiesinės regresijos rezultatai rodo, kad *PPARA* CC genotipas yra teigiamai susijęs su sportininkų vienkartinio raumenų susitraukimo galingumu (5 lentelė). Galima sakyti, kad *PPARA* GG genotipas nėra lemiamas veiksnys, tačiau galimas adityvus jo poveikis ištvėrmei.

Kadangi G alelis pagal *PPARG* polimorfizmą yra retas Lietuvos populiacijoje ir tarp sportininkų, mūsų tyrimas turėjo apribojimų, dėl to statistinės analizės rezultatai buvo reikšmingi tiriant tik CC ir CG genotipo sportininkų ryšį su fenotipiniais rodikliais (4 lentelė). Vienfaktorės dispersinės analizės rezultatai parodė šių sportininkų skirtumus pagal antropometrinius fizinio išsivystymo rodiklius, taip pat pastebėti reikšmingai geresni rezultatai matuojant plaštakos jėgą ir VRSG greitumo jėgos grupės sporti-

ninkų nei ištvermės grupės. Aerobinio pajėgumo Ruffjė testo rodikliai buvo mažesni CC ir CG genotipo ištvermės sporto šakų sportininkų nei CC ir CG genotipo sportininkų kitose sporto grupėse, tai rodo gerą šių sportininkų treniruotumą (4 lentelė). Greitumo / jėgos grupėje CC genotipo sportininkų VO_{2max} testo rezultatai buvo geresni nei CC ir CG genotipo sportininkų kitose grupėse. Elitinių sportininkų CC genotipo asmenų plaštakų jėga ir raumenų masė buvo didesni nei CG sportininkų, RI rodiklio rezultatas buvo geresnis CG genotipo elitinių sportininkų nei CC genotipo. Reikšmingų grupių skirtumų pagal lytį nepastebėta. Tiesinės regresijos rezultatai rodo, kad *PPARG* CC genotipas neigiamai susijęs su sportininkų vienkartinio raumenų susitraukimo galingumu, tačiau CG genotipas – teigiamai (5 lentelė). Manoma, kad G alelis labiau susijęs su sportininkų anaerobiniu pajėgu-

mu. Galima teigti, kad *PPARG* polimorfizmo įtaka sportininkų funkcinei būklei neturi lemiamo poveikio, tačiau negalima atmesti CC genotipo ryšio su tam tikrais fenotipiniais rodikliais, kurie rodo teigiamą šio genotipo poveikį ištvermei.

IŠVADOS

1. Tirti didelio meistriškumo sportininkai, o tiksliau – tiriamosios grupės rodikliai gali būti priskiriami ir nagrinėjami kaip talentingų greitumo / jėgos ir ištvermės sporto šakų atstovų rezultatai.
2. *PPARGC1A* G/A, *PPARA* G/C, *PPARG* C/G genotipiniai variantai turi skirtingą įtaką vyrų ir moterų fiziniam išsivystymui ir funkciniam darbingumui.
3. *PPARGC1A* AA genotipo greitumo / jėgos atstovams būdingas ge-

bėjimas pasiekti aukštesnius raumenų darbingumo rodiklius, atliekant maksimalių trumpalaikių pastangų reikalaujančias užduotis, nei prieš ištvermės krūvių prisitaikiusiems AA genotipo asmenims. *PPARGC1A* G alelis lemia sportininkų ištvermės, C alelis – greitumo / jėgos savybės.

4. *PPARA* G/G, *PPARG* C/C genotipai nėra lemiami veiksniai, tačiau galimas adityvus šių genotipų poveikis ištvermei, nes *PPARA* ir *PPARG* genų veikla priklauso nuo transkripcinio koaktyvatoriaus – *PPARGC1A* aktyvumo.
5. Vertinant Lietuvos sportininkų funkcinį pajėgumą, be fiziologinių vertinimų, rekomenduojama kompleksškai taikyti ir genetinius tyrimus. ♦

Gauta: 2010 04 23
Priimta spaudai: 2010 06 28

Summary

THE EFFECT OF *PPARGC1A*, *PPARA* AND *PPARG* GENETIC VARIANTS ON THE PHYSICAL CAPACITY OF ELITE LITHUANIAN ATHLETES

Valentina Ginevičienė, Audronė Jakaitienė, Jūratė Kasnauskienė, Kazys Milašius, Vaidutis Kučinskas

Background. Physical performance is a quantitative multifactorial heritage trait, whose phenotypical expression is influenced by both multiple genes and environmental factors. Human adaptation to physical load is the result of many gene activities. A very important role play genes-regulators – *PPARGC1A*, *PPAR*, *PPARG* involved in energy metabolism, carbohydrate and lipid metabolism. This research aims to analyse the effect of *PPARGC1A* G/A, *PPARA* G/C, *PPARG* C/G gene polymorphisms on physical capacities of Lithuanian elite athletes.

Materials and methods. The study involved 193 Lithuanian elite athletes and 250 healthy unrelated citizens. The athletes were grouped according to the sports achievements (elite, sub-elite and non-elite) and types of sport (endurance, speed strength and aerobic/anaerobic capacity). The main physical developments of phenotypic and functional capacity variables were measured.

Results. No significant *PPARGC1* and *PPARG* SNP allele/genotype frequency differences were found between the athlete group and the controls although *PPAR* G/C genotype differed significantly. The maxi-

mum anaerobic work capacity values were observed for the speed/power group representatives. The endurance athletes characterized by taller cardiovascular variables associated with aerobic working capacity, than speed/power athletes. From linear regression results, the *PPARGC1* AA positively related to athletes' handgrip strength, as *PPARA* CC and *PPARG* CG affected single muscular contraction power.

Conclusion. The *PPARGC1A* G allele is related to the endurance, as the C allele is related to the speed/power sports. *PPAR* G/G, *PPARG* C/C genotype may not be critical but rather additive to endurance performance. The effect of the gene variants is different for male and female athletes.

Keywords: physical performance, *PPARGC1A*, *PPARA*, *PPARG*, genetic variants.

LITERATŪRA

1. Milašius K. Ištvermė lavinančių sportininkų organizmo adaptacija prie fiziinių krūvių. Vilnius, 1997; p. 18–150.
2. Lippi G, Longo UG, Maffulli N. Genetics and sports. *Br Med Bull* 2009; 7: 1–21.
3. Skernevicius J, Raslanas A, Dadelienė R. Sporto mokslo tyrimų metodologija. Vilnius, LSIK 2004; p. 106–214.
4. Stewart C, Rittweger J. Adaptive processes in skeletal muscle: Molecular regulators and genetic influences. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2006; 6(1): 73–86.
5. Beunen G, Thomis M. Gene driven power athletes? Genetic variation in muscular strength and power. *Br J Sports Med* 2006; 40: 822–3.
6. Beunen G, Thomis M, Peeters M, Maes HH, Claessens AL, Vlietinck R. Genetics of strength and power characteristics in children and adolescents. *Ped Exerc Sci* 2003; 15: 128–38.
7. Baar K. Involvement of PPARγ co-activator-1, nuclear respiratory factors 1 and 2, and PPARα in the adaptive response to endurance exercise. *Proc Nutr Soc* 2004; 63: 269–73.
8. Skogsberg J, Kannisto K, Cassel TN, Hamsten A, Eriksson P, Ehrenborg E. Evidence that peroxisome proliferator-activated receptor delta influences cholesterol metabolism in men. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2003; 23: 637–43.
9. Liang H, Walter F. PGC-1α: a key regulator of energy metabolism. *Adv Physiol Educ* 2006; 30: 145–51.
10. Russel AP, Feilchenfeldt Y, Schreiber S, Praz M, Crettenand A, Gobelet C, et al. Endurance training in humans leads to fiber type-specific increases in levels of peroxisome proliferator-activated receptor- coactivator-1 and peroxisome proliferator-activated receptor- in skeletal muscle. *Diabetes* 2003; 52: 2874–81.
11. Lefebvre P, Chinetti G, Fruchart JC, Staels B. Sorting out the roles of PPAR in energy metabolism and vascular homeostasis. *J Clin Invest* 2006; 116: 571–80.
12. Flavell DM, Ireland H, Stephens JW, Hawe E, Acharya J, Mather H, et al.

- Peroxisome proliferator-activated receptor gene variation influences age of onset and progression of type 2 diabetes. *Diabetes* 2005; 54: 582–6.
13. Ahmetov II, Mozhayskaya IA, Flavel DM, Astratenkova IV, Komkova AI, Shenkman BS, et al. PPAR gene variation and physical performance in Russian athletes. *Eur J Appl Physiol* 2006; 97(1): 103–8.
14. Eriksson J, Lindi V, Uusitupa M, Forsen T, Laakso M, Osmond C, Barker D. The effects of the pro12ala polymorphism of the PPAR-gamma-2 gene on lipid metabolism interact with body size at birth. *Clin Genet* 2003; 64: 366–70.
15. Altshuler D, Hirschhorn JN, Klannemark M, Lindgren CM, Vohl MC, Nemesh J, et al. The common PPAR-gamma pro12ala polymorphism is associated with decreased risk of type 2 diabetes. *Nature Genet* 2000; 26: 76–80.
16. Puigserver P, Spiegelman BM. Peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator 1 alpha (PGC-1 alpha): transcriptional coactivator and metabolic regulator. *Endocr Rev* 2003; 24: 78–90.
17. Lehman JJ, Boudina S, Banke NH, Sambandam N, Han X, Young DM, et al. The transcriptional coactivator PGC-1alpha is essential for maximal and efficient cardiac mitochondrial fatty acid oxidation and lipid homeostasis. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2008; 295(1): 185–96.
18. Lin J, Wu H, Tarr PT, Zhang CY, Wu Z, Boss O, et al. Transcriptional co-activator PGC-1 drives the formation of slow-twitch muscle fibres. *Nature* 2002; 418: 797–801.
19. Nitz I, Ewert A, Klapper M, Doering F. Analysis of PGC-1a variants Gly482Ser and Thr612Met concerning their PPARc2-coactivation function. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 2007; 353: 481–6.
20. Lucia A, Gomez-Gallego F, Barroso I, Rabadán M, Bandrés F, San Juan AF, et al. *PPARGC1A* genotype (Gly482Ser) predicts exceptional endurance capacity in European men. *J Appl Physiol* 2005; 99(1): 344–8.
21. Norton K, Wittingham N, Carter L, Kerr D, Gore C, Marfell-Jones M. Measurement techniques in anthropometry. In: Norton K, Olds T, eds. *Anthropometrica*. Sidney: University of New South Wales Press, 1996; p. 25–75.
22. Bosco C, Viitasalo JT, Komi PV, Luchtanen P. Combined effect of elastic energy and mioelectrical potentiation during stretch short term cycle exercise. *Acta Physiol Scand* 1982; 114: 557–65.
23. Margaria R, Aghemo P, Rovelli E. Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *J Appl Physiol* 1966; 21: 1662–4.
24. Dadelienė R. *Kineziologija*. Vilnius, 2008; p. 43–207.