

GAMTOS IR MEDICINOS MOKSLAI

NATURE AND MEDICAL SCIENCES

Sporto mokslas / Sport Science

2023, Nr. 2(104), p. 48–58 / No. 2(104), pp. 48–58, 2023

Laboratorinių parametru naudojimas diagnozuojant persitreniravimo sindromą sporte: apžvalga

Prof. dr. Larisa Gunina¹, dr. Aleksandras Orlovas², prof. habil. dr. Kazys Milašius³

Ukrainos Sumų valstybinio universiteto Medicinos institutas¹,

Kazachstano nacionalinis moterų pedagoginis universitetas²,

Vytauto Didžiojo universiteto Švietimo akademija, Lietuva³

Santrauka

Sumažėjusių sportinių rezultatų po ilgų intensyvių treniruočių reiškinys – persitreniravimo sindromas (PS, OTS, angl. *Overtrening Syndrome*) pirmą kartą buvo atrastas maždaug prieš 100 metų. Ir nors šimtai mokslinių publikacijų buvo skirtos persitreniravimo sindromo patogenezai, formavimosi etapams ir metodams, kaip nustatyti PS buvimą ir sunkumą, tačiau galutiniai sprendimai dėl diagnostikos algoritmų, patikimų biomarkerių ir veiksmingų gydymo metodų naudojimas dar lieka nežinomi. Remdamiesi mokslinėje literatūroje turimų duomenų analize ir sinteze, apžvalginiame straipsnyje darbo autoriai suformavo šiuolaikines idėjas apie laboratorinės diagnostikos galimybes ir diagnostinio algoritmo, skirto aukštos kvalifikacijos sportininkų PS sunkumui nustatyti ir įvertinti. Straipsnyje, visų pirma, pristatomos šiuolaikinės persitreniravimo, kaip klinikinio sindromo, terminologinės charakteristikos, apibendrinami pagrindiniai veiksniai, lemiantys šios sportininkų patologinės būklės išsivystymą, aprašomi pirminių ir sudėtingesnių diagnostikos technologijų algoritmai. Pabrėžiamas svarbiausias sportininkų hormoninės būklės pokyčių vaidmuo formuojant nepakankamą atsigavimą ir tolesnį persitreniravimo vystymąsi, taip pat aptariama galimybė naudoti apskaičiuotus indeksus, apibūdinančius sportininkų anabolinės ir katabolinės būklės pažeidimus, dėl kurių atsiranda šių sutrikimų patologinės būklės. Kadangi šiuolaikiniai laboratoriniai tyrimai, atspindintys neseptinio uždegiminio proceso buvimą audiniuose, yra vienas iš svarbių PS determinantų, gali būti naudojamas padidinto vadinamųjų „ūminės fazės“ baltymų – fibrinogeno, haptoglobino, rūgšties, α 1-glikoproteino, C-reaktyviojo baltymo, α 1-antipripsino ir kt. – kiekio nustatymas. Trumpai aprašomi moderniausi metodologiniai metodai, leidžiantys diferencijuoti pervargimo ir persitreniravimo, persitreniravimo įvertinimą. Konstatuota, kad laiku nenustačius šio sindromo, deja, pablogėja ne tik sportininko sveikata, bet ir pedagoginiai fizinio bei funkcinio pasirengimo rodikliai. Ankstyvos persitreniravimo diagnozės pagrindas turėtų būti pirmojo lygio tyrimai, rodantys nepakankamo atsigavimo / pervargimo išsivystymą – šlapalo, kreatinino, hematologinių homeostazės rodiklių ir kreatinfosfokinazės aktyvumo nustatymas. Laiku padaudoję miocitų vientisumo pažeidimo, oksidacinio streso parametrų, priešuždegiminių citokinų kiekio ir žymenų fermentų aktyvumo rodiklius persitreniravimo diagnozei įvertinti, treneriai gebės koreguoti treniruočių proceso struktūrą, išsaugoti sportininko sveikatą ir pasiekti aukštą konkurencinį rezultatą.

Literatūros šaltinių autoriai teigia, kad būtina pripažinti pareigą atsižvelgti į individualizuotą ir specifinę sportui būdingą persitreniravimo požymių / simptomų pobūdį ir, kuriant diagnostinius algoritmus, aprašyti galimus sąveikaujančius poslinkius sukeliančius veiksniai, remiantis prielaida, kad šis sindromas ir jo sunkumas bus efektyviausiai apibūdintas ir įvertintas pasitelkiant sudėtingų biologinių sistemų kūrimą naudojant tinkamus biomarkerius.

Raktažodžiai: elitinis sportas, persitreniravimo sindromas, stresas, biomarkeriai, laboratorinė diagnostika.

Įvadas

Treniruočių krūvio kiekybinis įvertinimas ir stebėjimas, naudojant daugiakrypčius fiziologinius, pedagoginius ir kitus rodiklius, per pastaruosius penkiolika metų buvo daugelio mokslinių tyrimų objektas (Djaoui et al., 2017; Vanrenterghem et al., 2017; Feijen et al., 2020). Treniruočių krūvio stebėjimas padeda treneriams individualiai parinkti, stebėti,

analizuoti, koreguoti ir programuoti treniruotes, ne tik valdyti treniruočių proceso efektyvumą, bet ir kontroliuoti jį, kad būtų išvengta persitreniravimo. Ankstyva persitreniravimo diagnozė yra vienas iš svarbių sportinio meistriškumo tobulinimo aspektų, todėl mokslininkai aktyviai ieško šiuolaikinių informacinių šio sindromo biomarkerių, įskaitant klinikinius ir laboratorinius.

Sportininkų pervargimo problema specialistų dėmesį patraukė dar praėjusio amžiaus viduryje, kai elitinių sporto šakų treniruočių ir varžybiniai krūviai neviršijo 30–40 proc. šiuolaikinių krūvių apimties. Jau tada tai buvo laikoma „sporto liga“, kuri gali būti įvairių formų, turėti daug simptomų ir atsirasti dėl daugelio veiksnių, susijusių su treniruočių efekto ir sportininko kūno adaptacinių gebėjimų neatitikimu, psichiniais veiksniais, lėtinėmis ligomis, netinkama mityba ir kt. (Платонов, 2015). Šiuo metu susiformavo tam tikros idėjos, kaip mažiausiomis organizmo medžiagų apykaitos sąnaudomis įvertinti pokyčių rimtumą ir užkirsti kelią neigiamų homeostatinų poslinkių vystymuisi, o vėliau – pervargimui ir persitreniravimui. Pavyzdžiui, tam naudojami įvairūs aktyvaus ir pasyvaus atsigavimo periodai pasiekus aukštus sportinius rezultatus bei gydant traumas.

Žinoma, į pervargimo ir persitreniravimo prevencijos sistemą gali būti įtrauktas ir specialių maisto papildų naudojimas (Milašius, 2008; Tomić et al., 2023). Be to, šiuo metu, siekiant sumažinti jautrumą temperatūros pokyčiams treniruočių proceso dinamikoje, taikomas viso kūno krioterapijos metodas, įskaitant dozuotą panardinimą į šaltą vandenį, kuris turi aukštą naudojimo efektyvumo įrodymą (Costello et al., 2015), ir vietinę krioterapiją, taikoma įvairioms raumenų grupėms (Machado et al., 2017).

Specializuotoje literatūroje yra informacijos apie atskirų klinikinių ir laboratorinių parametrų, tokių kaip patikimų persitreniravimo biomarkerių, tyrimą, tačiau nė vienas iš jų nėra laikomas universaliu (Рыбина ir Гунина, 2021). Todėl šiuo metu yra aktualu ieškoti algoritmo, kaip panaudoti itin informatyvių patikimų biomarkerių kompleksą, atspindintį skirtingus sportininkų organizmo homeostazės pokyčių aspektus, vystantis pervargimui ir formuojantis pervargimo sindromui.

Darbo tikslas – apžvelgti ir formuoti šiuolaikines idėjas apie laboratorinės diagnostikos galimybes laiku nustatyti ir įvertinti didelio meistriškumo sportininkų persitreniravimo sindromą.

Darbo metodai – šiuolaikinėje mokslinėje literatūroje nagrinėjamu klausimu esamų tyrimų rezultatų analizė ir sintezė.

Persitreniravimo terminologiniai ypatumai ir pagrindiniai jo formavimosi veiksniai

Persitreniravimas (angl. *overtraining*) yra būklė, kuri išsivysto sportininkams, esant netinkamai

sukonstruotam treniruočių ir atsigavimo režimui (lėtinė fizinė perkrova, treniruočių priemonių ir metodų monotonija, laipsniško krūvių didinimo principo pažeidimas, nepakankamas poilsis, dažni pasirodymai varžybose), ypač esant organizme lėtinės infekcijos židiniams ir somatinėms ligoms. Pagal V. Platonovą (2015) pertreniravimas yra būklė, kuriai būdingas sportinių rezultatų sumažėjimas, neuropsichinės ir fizinės sportuojančių asmenų būklės pablogėjimas, platus reguliavimo ir vykdomųjų organų ir sistemų veiklos, medžiagų apykaitos sutrikimų kompleksas, esantis ties patologijos riba. Jų apibendrintas pobūdis rodo, kad sutrinka centrinės nervų sistemos, motorinio aparato ir vegetatyvinių organų veiklos darna, nusistovėjusi ilgalaikių treniruotės metu. Neracionali treniruotė neišvengiamai paveikia smegenų žievę, suardo nusistovėjusią pusiausvyrą tarp sužadavimo ir slopinimo procesų“ (Платонов, 2015). Pagrindiniai persitreniravimo sindromo požymiai yra sumažėjęs darbingumas, psichologinis išsekimas (distresas), depresija, dirglumas, pyktis, nuovargis, pakartotinės traumos, sąnarių ir raumenų skausmai bei kitos neigiamos apraiškos, dėl kurių pablogėja sportininko sveikata ir gyvenimo kokybė.

Skirtumas tarp persitreniravimo ir kitų netinkamo prisitaikymo formų atsispindi paskelbtame Europos sporto mokslo kolegijos (ECSS) sutarime dėl šio sindromo prevencijos, diagnostikos ir gydymo. Pagal šio dokumento nuostatas būtina atskirti nefunkcinio persitempimo (NFP, angl. *NFOR Non-functional Overreaching*) sąvoką nuo persitreniravimo sindromo. Skirtumas tarp šių būsenų nėra aiškiai diferencijuotas ir priklauso nuo darbingumo sumažėjimo laipsnio ir medžiagų apykaitos pokyčių. Pagrindinis skirtumas tarp jų – organizmo sistemų, užtikrinančių sportininko darbingumą, atsistatymo trukmė. Manoma, kad persitreniravimo simptomai yra rimtesni nei pervargimo apraiškos, todėl jiems pašalinti reikia ilgesnio laiko: nuo šešių mėnesių iki (kartais) kelerių metų (Meeusen et al., 2013).

Tačiau taip pat yra įvairių reakcijų į trumpalaikius treniruočių krūvio intensyvinimo laikotarpius, ypač sportininkams, užsiimantiems ištvermės sporto šakomis (ciklinėmis sporto šakomis), kai vieni sportininkai pagerina savo fizinę ir funkcinę būklę be neigiamo poveikio rezultatams, o kitiems įvyksta fizinio ir funkcinio pajėgumo sumažėjimas nuo kelių dienų iki mėnesio. Laikinas trumpalaikis darbingumo sumažėjimas ir vėlesnis atsigavimas arba

superkompensacija yra naudojami siekiant įvertinti organizmo adaptacijos laipsnį, nuovargio gylį (Bellinger, 2020). Naujausi tyrimų rezultatai parodė, kad sportininkų, turinčių funkcinio persitreniravimo požymių, prisitaikymas prie treniruočių krūvių susilpnėja ir darbingumas, palyginti su sportininkais, kurie nėra pervargę (Bellinger, 2020). Mūsų požiūriu, reikėtų į tai atsižvelgti kuriant pervargimo, persitreniravimo ir persitreniravimo apraiškų diagnostinį algoritmą.

Persitreniravimo rizikos veiksniai, susiję su individualiomis ir asmeninėmis sportininko savybėmis pagal (Richardson et al., 2008), yra šie:

- per aukštas motyvacijos lygis;
- mokymo metodas „kuo daugiau, tuo geriau“;
- nenutraukiamos treniruotės ligos atveju;
- specialaus rengimo forsavimas ankstyvame amžiuje;
- dieta, neatitinkanti individualių sportininko poreikių ir treniruočių darbo intensyvumo bei krypties;
- treniruočių proceso planavimo pažeidimas dėl dažno dalyvavimo komercinėse varžybose;
- išoriniai dirgikliai (šeima, darbas, studijos, finansinės problemos ir kt.);
- asmenybės perfekcionizmas (tobulumo siekimas) ir kitos psichologinės savybės.

Rizikos veiksniai, skatinantys persitreniravimą, susijusį su asmeniniu treniruočių procesu, yra (Richardson et al., 2008):

- ankstyva specializacija ir krūviai, neatitinkantys paauglio organizmo adaptacinių galimybių (iki brendimo laikotarpio pabaigos);
- perėjimas iš jaunesniojo amžiaus į „suaugusiųjų“ meistriškumo lygį;
- treniruočių proceso individualizavimo stoka;
- treniruotės grupėje su labiau treniruotais sportininkais;
- įrodymais pagrįstos krūvių tolerancijos kontrolės trūkumas;
- olimpinis sezonas;
- sportininkų treniruočių ciklai, kurie praėjusio buvo sėkmingi, tačiau tam tikrą laiką nedalyvaujant varžybose jie tampa neefektyvūs;
- treniruočių proceso sąlygų keitimas – judėjimas per laiko juostas, ypač į rytus, klimato kaita, aplinkos temperatūra, aukštis virš jūros lygio ir kt., t. y. sąlygos, kurios paprastai atitinka priverstinės klimato laikrodžio desinchronozės koncepciją (Meeusen et al., 2013).

Biomarkerių vaidmuo kuriant persitreniravimo sindromo vertinimo algoritmą

Terminą „biomarkeris“ 1994 m. pasiūlė sporto genetikos pradininkas Klodas Bušaras (*Cloude Bouchard*), apibūdinamas jį taip: „<...> išmatuojamas produktas arba medžiaga, naudojama kaip biologinės būklės indikatorius, siekiant objektyviai nustatyti fiziologinius ar patologinius procesus organizme. Sporte biomarkeriai yra pagrindiniai parametrai vertinant fizinių pratimų poveikį įvairioms organizmo sistemoms, audiniams ir organams“ (Bouchard et al., 1994). Šiuo metu praktikoje taikant biomarkerius kaip kontrolės, treniruočių proceso valdymo ir ankstyvo persitreniravimo nustatymo veiksnius, naudojama nemažai įvairių laboratorinių rodiklių, kurie turi skirtingą patikimumo įvertinimo laipsnį (Lee et al., 2017).

Yra žinoma, kad raumenų audinio pažeidimas fizinio krūvio metu yra susijęs su fermentų, tokių kaip kreatinkinazė (CK) arba kreatinfosfokinazė (CPK) ir laktatdehidrogenazė, taip pat mioglobino ir kitų baltymų išsiskyrimu į kraują (Durkalec-Michalski et al., 2017). Kaip gana patikimą biomarkerį šioje situacijoje ir vieną geriausių netiesioginių veiksnių, lemiančių raumenų audinio pažeidimą po treniruotės, siūloma naudoti serumo CPK aktyvumą (Khaitin et al., 2021). Tačiau reikia atsižvelgti į tai, kad CPK aktyvumas serume labai skiriasi (Wiewelhof, et al., 2015), todėl sunku nustatyti patikimas referentines pokyčių vertinimo reikšmes. Įrodyta, kad intervalinės hipoksinės treniruotės (IHT) metu pasikeičia nervo ir raumenų funkcijos, serumo kreatinkinazės ir parametrų, atspindinčių uždelsto raumenų skausmo pasireiškimą lygį. Tačiau reikia pažymėti, kad spręsti pagal vieno individualaus sportininko rodiklius yra netikslu. Todėl, norint individualiai patikrinti jų pritaikomumą ir suformuoti patikimas pamatines reikšmes sportininkams, reikalingas kompleksinis ilgalaikis šių žymenų naudojimas (Wiewelhof et al., 2015). Be to, serumo CPK aktyvumą labiau nei atliekamų krūvių apimtys skirtumus gali lemti tokie veiksniai kaip sportininko kvalifikacija ir lytis, taip pat dalyvaujančios raumenų grupės (Koch et al., 2014; Stone et al., 2019). Didelį CPK aktyvumo skirtumą taip pat lemia fermento išsiskyrimo į kraują greičio skirtumai, kurie priklauso nuo ląstelių membranų struktūrinės ir funkcinės būklės bei jų pralaidumo pokyčių, veikiant organizme atsirandantiems metaboliniams

veiksniams krūvio metu, tokiems kaip reaktyviosios deguonies formos ir kiti oksidaciniai produktai, „nuovargio toksinai“, besikaupiantys dėl nepilnos proteolizės ir kt. (Malisoux et al., 2006). Laboratorinių tyrimų kompleksas taikomas nedažnai, bet tam tikru periodiškumu eksperimentinėmis sąlygomis modeliuojant įvairaus amžiaus kvalifikuotų sportininkų krūvį, papildomas morfologinių rodiklių – ilgų ir maratoninių distancijų bėgikų – atskirų lėtai ir greitai susitraukiančių miofibrilių savybėms tirti (Trappe et al., 2006; Harber ir Trappe, 2008).

Kitų raumenų fermentų aktyvumo padidėjimas vykstant intensyviai raumenų veiklai, pavyzdžiui, aspartataminotransferazės (AST) aktyvacija iki 45 U/l^{-1} (biocheminis analizatorius „Humalyzer-3000“ ir autentiškos testavimo sistemos, pagamintos „Human GmbH“, Vokietija) viena para po intensyvaus fizinio krūvio nėra pervargimo kriterijus, jei ši hiperfermentacija yra trumpalaikė. Jei hiperenzimija tęsiasi ilgiau, 2–3 paras, tai gali būti laikoma vienu iš ankstyvųjų persitreniravimo požymių (Гунина, Рыбина ir Санауов, 2020). Atsigavimo laikotarpio (arba mikrociklo) turinys įvairiose sporto šakose negali susidėti iš požiūrio „vienas krūvio dydis tinka visiems“, t. y. kalbama apie atsigavimo individualizavimo laipsnio padidėjimą, o „tikras sutapimas“ tikriausiai sukelia didesnius uždelsto suvokimo raumenų skausmo sindromas ir biocheminių parametrų verčių pokyčius, pavyzdžiui, raumenų mikropažeidimų žymenis, įskaitant serumo fermentų – kreatinkinazės, alaninaminotransferazės (ALT) aktyvumą, taip pat oksidacinio streso sunkumą (Marin et al., 2013) ir kitus jautrius laboratorinius parametrus. Paprastai treneriai, gavę laboratorinius duomenis, rodančius persitreniravimo požymius, turėtų koreguoti treniruočių struktūrą ir turinį per 3 parų laikotarpį (po treniruočių ar varžybų): kad galėtų efektyviai valdyti sportininko atsigavimo ir treniruočių procesą.

Pirminė laboratorinė persitreniravimo atranka

Žinoma, kad šlapalo koncentracija kraujyje rodo padidėjusį baltymų katabolizmą ir yra aktyviai naudojama sporto praktikoje kaip pervargimo žymuo (Гунина, Рыбина ir Санауов, 2020; Рыбина ir Гунина, 2021). Kaip pervargimo biomarkeris gali būti naudojamas ne tik šlapalo koncentracijos, bet ir šlapalo dinamika (Raeder et al., 2016), nes šis rodiklis turi tiesioginį ryšį su katabolinių procesų

aktyvumo laipsniu ir gliukokortikoidų kiekiu (hormonai kraujo serume). Šlapalas daugiausia susidaro kepenyse kaip baltymų (aminorūgščių) skilimo produktas; normali šlapalo koncentracija kraujyje po optimalaus krūvio, atsižvelgiant į sportininko adaptacines galimybes, yra 5–7 mmol/l (Рыбина ir Гунина, 2021). Ilgos trukmės ir didelio intensyvumo treniruotės padidina šlapalo koncentraciją tiek kraujyje, tiek ir kepenyse, skeleto raumenyse, šlapime ir prakaitu, o tai rodo baltymų struktūrų katabolizmo proceso intensyvumą (Никулин ir Родионова, 2011). Taigi šlapalo kiekio matavimas leidžia įvertinti baltymų kaip energetinio substrato naudojimo laipsnį, ypač pastangų laipsnį varžybų serijoje ir sportininko pervargimo lygį (Testai ir Gorelick, 2010), kartu pagrindinė šio rodiklio pokyčių, kaip informatyvaus pervargimo biomarkerio, naudojimo problema yra ta, kad net esant didelio intensyvumo treniruočių krūviams, šlapalo kiekis kraujo serume gali padidėti nežymiai ir priklausyti nuo individualių sportininko savybių. Be to, šio laboratorinio parametro reikšmę daugiausia lemia baltymų turinčių produktų kiekis, patenkantis į sportininko organizmą (Raeder et al., 2016). Mitybos, kurioje gausu baltymų, atveju aminorūgščių anglies molekulės naudojamos energijai gaminti ir šlapalo pertekliui iš likusių amino grupių susidaryti. Šlapalo susidarymas taip pat žymiai padidėja ribojant mitybą (pavyzdžiui, treniruojantis sporto šakose, kur tenka riboti svorį), kai pradedami skaidyti raumenų baltymai, palaikyti organizmo metabolinę energiją (Nelson ir Cox, 2014). Atsižvelgiant į tai, naudojant šlapalo lygį kaip tolerancijos treniruočių krūviams žymeklį, būtina atsižvelgti į mitybos ir medžiagų apykaitos paramos pobūdį sportininkų treniruočių procese (Дмитриев ir Гунина, 2020).

Sportininkų organizmo hormoninės būklės įvertinimo vaidmuo diagnozuojant persitreniravimą

Endokrininė būklė ir atskiri jos rodikliai ilgą laiką buvo veiksniai, atspindintys medžiagų apykaitos pokyčių intensyvumą ir adekvatumą sportininko organizme, veikiant ilgalaikiam ir intensyviai fiziniam ir psichoemociniam krūviui (Palacios et al., 2015; Pedlar et al., 2019). Vienas iš tokių itin svarbių biomarkerių yra streso hormono kortizolio kiekis kraujo serume (Milašius, 2022).

Kortizolis yra steroidinis hormonas, kurį iš cholesterolio sintetina antinksčių žievėje esančio

citochromo P450 komplekso fermentai, ir tai vyksta tokiu cirkadiniu ritmu: vidurnaktį kortizolio kiekis kraujyje yra labai žemas (kartais net hormonas neaptinkamas), o ryte jis pasiekia piką. Šį ritmą reguliuoja pagrindinis cirkadinis „osciliatorius“ pagumburio suprachiazminiame branduolyje (Chan ir Debono, 2010). Kortizolis neutralizuoja insulino poveikį organizmui, padidindamas gliukozės kiekį kraujyje, skatindamas gliukoneogenezę – metabolizmo kelią, kurio metu gliukozė sintetinama iš oksaloacetato. Kortizolio buvimas skatina gliukoneogenezę svarbių fermentų ekspresiją, todėl pastebimai padidėja gliukozės gamyba. Ir atvirkščiai, kortizolis taip pat stimuliuoja glikogeno sintezę kepenyse, o tai sumažina gryniosios gliukozės kiekį kraujyje. Taigi kortizolis kruopščiai reguliuoja kraujyje cirkuliuojančios gliukozės kiekį. Kritiškai nukritus gliukozės kiekiui kraujyje (pavyzdžiui, nevalgius), kortizolis užtikrina reikiamą bazinę gliukozės koncentraciją, aktyvindamas gliukoneogenezę (Güemes et al., 2016). Kortizolis taip pat turi labai daug kitų medžiagų apykaitos funkcijų, kurios, remiantis šiuolaikiniais duomenimis, leidžia palaikyti ryšį tarp testosterono kiekio serume ir sporto laimėjimų reikšmės, ypač sunkiosios atletikos, tiek realiomis varžybų sąlygomis, tiek jas modeliuojant (Crewther et al., 2018). Be kita ko, tai leidžia kortizoliui tinkamai reguliuoti ekstraląstelinio skysčio pH ir jonų pusiausvyrą – kai ląstelės netenka per daug natrio, tai pagreitina kalio išsiskyrimą į tarpląstelinę erdvę. Todėl kortizolis reguliuoja ląstelinio natrio ir kalio siurblio (molekulinio komplekso, galinčio pumpuoti Na^+ katijonus iš ląstelės ir pumpuoti K^+ katijonus į ląstelę prieš jų koncentracijos gradientą, naudojamas ATP hidrolizės metu išsiskiriančią energiją) veikimą, kad būtų pasiekta jonų pusiausvyrą po bet kokio destabilizuojančio įvykio (Hu et al., 2019), įskaitant itin intensyvią fizinę aktyvumą treniruočių ir varžybų proceso dinamikoje.

Taip pat gerai žinomas neigiamas kortizolio poveikis imuniniam atsakui. T limfocitų ląstelės (T ląstelės) aktyvina citokinų molekules (interleukinai, IL) per signalizacijos kelią, o kortizolis neleidžia specifiniams T ląstelių receptoriams atpažinti interleukino signalus ir sumažina T ląstelių proliferacijos greitį, o tai provokuoja uždegiminio proceso vystymąsi. Lygiai taip pat hormonas mažina uždegimą, slopindamas histamino sekreciją (Pondeljak ir Lugović-Mihić, 2020). Kortizolio gebėjimas užkirsti kelią imuniniam atsakui į ksenobiotikų

poveikį gali padaryti žmones, kenčiančius nuo lėtinio streso, infekcijų labai pažeidžiamus. Nors kortizolio sekreciją organizme būtina didinti reaguojant į psichologinį ar fizinį stresą, taip pat svarbu, kad po kiekvieno streso kortizolio lygis sugrįžtų į normalų lygį. Deja, kai kuriems sportininkams atsakas į stresą ir intensyvius pratimus suaktyvėja taip dažnai, kad medžiagų apykaitos reakcijų (takų) kryptis ir greitis ne visada turi galimybę grįžti į normalią būseną. Dėl to gali pablogėti sportininkų sveikata, įskaitant lėtinio streso (distreso) susidarymą ir pervargimo bei persitreniravimo išsivystymą (Güemes et al., 2016).

Pažymėtina, kad adekvatus sportininko organizme pasitaikančių stresinių situacijų atspindys yra ne tik kortizolio kiekis serume, bet ir kortizolio kiekis seilėse, kuris aiškiai koreliuoja su ankstesne intensyvia ir nervų, ir raumenų sistemų veikla. Tuo pačiu metu kortizolio kiekio seilėse pokyčių laipsnis po fizinio krūvio labai skiriasi atsižvelgiant į krūvio intensyvumą (Cadegiani ir Kater, 2017). Pavyzdžiui, iš karto atlikus didelio intensyvumo jėgos pratimus su dideliu griaučių raumenų įtampa, kortizolio kiekis seilėse padidėja 97 proc., palyginti su pradinėmis vertėmis. Be pratimų intensyvumo, dar vienas svarbus veiksnys, galintis turėti įtakos kortizolio padidėjimui seilėse, yra sportininkų treniruotumas (Bongiovanni et al., 2022). Pavyzdžiui, aukštos kvalifikacijos, jėgos sporto šakų sportininkams, yra atvirkštinė ir reikšminga šio streso hormono koncentracijos koreliacija su nervų ir raumenų veikla. Atliekant tyrimą dėl šio hormono kiekio ir rezultatyvumo komandinėse sporto šakose (aukštos kvalifikacijos futbolininkai) sezono metu, buvo padaryta išvada, kad sportininkai, kurie sezoną pradeda esant padidėjusiam kortizolio kiekiui lyginant su norma, gali patirti reikšmingą fizinio parengtumo ir darbingumo sumažėjimą sezono metu (Grzędzicka et al., 2023). Panašūs rezultatai buvo gauti tiriant ir vidutinių bei ilgų nuotolių bėgikus.

Testosteronas taip pat dažnai naudojamas kaip biomarkeris, bet jau turintis anabolinį aktyvumą organizme, yra steroidinis hormonas, priklausantis androgenų grupei organizme. Jis prisideda prie raumenų masės padidėjimo, jėgos, kaip fizinio gebėjimo kokybės ugdymo, didinančio kovos pajėgumų ir sportinį agresyvumą bei gali žymiai sumažinti riebalų kiekį audiniuose. Vidutiniškai reprodukcinio amžiaus vyrų bendro testosterono kiekio kraujo serume ribos yra 8,64–29,0 nmol/l,

o moterims – 0,290– 1,67 nmol/l); sportininkų šie skaičiai gali būti žymiai didesni (Рыбина ir Гунина, 2021). Neproporcingas fiziologinio streso sunkumo atsakas į fizinių krūvių padidina kortizolio sekreciją, o tai, savo ruožtu, gali slopinti testosterono sintezę (Walker et al., 2019).

Testosterono / kortizolio santykis ilgą laiką buvo naudojamas kaip rodiklis lėtiniam sportininkų nuovargiui įvertinti (Grzędzicka et al., 2023). Anabolinio indekso, pagrįsto testosterono / kortizolio (T/C) lygiu, arba anabolinio indekso kaip pervargimo žymeklio, naudojimas pagrįstas prielaida, kad kortizolis yra pagrindinis katabolinis hormonas, o testosteronas yra vienas iš svarbiausių anabolinių hormonų. Šio indekso vertės sumažėjimas žemiau 3,0 tarp sportininkų vyrų laikomas pervargimo kriterijumi (Kraemer et al., 2020). Tačiau reikia pažymėti, kad kai kurių ankstesnių tyrimų rezultatai rodo, kad dėl didelio meistriškumo sportininkų treniruočių krūvių padidėjimo nėra reikšmingų šio santykio kiekybinių pokyčių. Naudojant šį indeksą kaip patikimą laboratorinį pervargimo diagnostinį kriterijų, svarbu sportininkų lytis, amžius, individualios savybės (pradinio sumažėjusio testosterono kiekis vyrams), taip pat mitybos ir farmakologinės paramos ypatumai (Crewther et al., 2019, Milašius, 2022).

Įrodyta, kad persitreniravimo sindromą turinčių sportininkų, galinčių atspindėti simpatinių-antinksčių impulsų sumažėjimą, naktinis katecholaminų išsiskyrimas yra mažesnis nei toje sportininkų grupėje, kurioje persitreniravimo požymių nepasitaikė (Castro-Sepulveda et al., 2019). Anksčiau pateikti argumentai gali būti naudojami kaip pagrindas naudojant hormoninius žymenis diagnozuojant galimą persitreniravimo būseną. Perspektyviausias metodas gali būti hormonų atsako tyrimas į vieną ar daugiau didelio intensyvumo pratimų serijų, nes apskritai endokrininės homeostazės parametrai yra informatyvūs rodikliai, padedantys įvertinti prisitaikymą prie treniruočių krūvių ir užkirsti kelią persitreniravimui (Cadegiani ir Kater, 2017; Foster et al., 2017; Рыбина ir Гунина, 2021). Išsivysčius persitreniravimo sindromui, gali sumažėti periferinių hormoninių receptorių reguliavimo lygis arba sutrikti centrinė hormonų reguliavimo disfunkcija hipofizio-pagumburio ašies lygyje. Šiuo atveju galima daryti prielaidą, kad kortizolio atsakas į fizinius pratimus susilpnėja (nėra arba šiek tiek padidėja jo kiekis) sportininkams, kuriems gresia persitreniravimo reiškiniai (Cadegiani ir Kater, 2018). Norint

plačiai taikyti hormoninius metodus numatant ir diagnozuojant persitreniravimą, būtina parengti testavimo protokolus ir fizinių pratimų kompleksą, kuris būtų jautriausias ankstyvoms šios patologinės būklės stadijoms nustatyti.

Šiuolaikinių autorių tyrimais įrodyta, kad esant nuolatiniam intensyviai fiziniam krūviui gerokai sumažėja kortizolio kiekis (Hooper et al., 2018). Vidutinių ir ilgų distancijų bėgikų pavyzdžiu gauti rezultatai liudijo apie biocheminius periferinio kraujo pokyčius modeliuojant sportininkų persitreniravimo sindromą, kurį lydėjo reikšmingas gliukozės ir laisvųjų riebalų rūgščių koncentracijos sumažėjimas, hemoglobino, laktato, albumino, mažo ir labai mažo lipoproteinų tankio cholesterolio kiekio padidėjimas, sumažėjęs baltųjų kraujo kūnelių skaičius ir padidėjęs širdies susitraukimų dažnis prieš fizinių krūvių ir jo metu. Tuo pat metu reikšmingai padidėjo CPK aktyvumas, šlapalo, kreatinino, šlapimo rūgšties, jonų (išskyrus fosfatus ir kalcio) kiekis kraujo serume, o žymenų ferment-AST ir alanino aminotransferazės (ALT) aktyvumas nepakito (Jones et al., 2017). Taigi, ilgalaikių stebėjimų rezultatai rodo kvalifikuotų skirtingų sporto šakų atstovų medžiagų apykaitos pokyčių sudėtingumą, pastebėtą persitreniravimo sindromo vystymosi metu.

Šiuolaikinės persitreniravimo atrankos technologijos

Kadangi šiuolaikiniai laboratoriniai tyrimai, atspindintys neseptinio uždegiminio proceso buvimą audiniuose kaip vieną iš svarbių persitreniravimo sindromo determinantų, todėl gali būti naudojamas padidintas vadinamųjų „ūminės fazės“ baltymų kiekis: fibrinogeno, haptoglobino α 1-glikoproteino rūgšties, C-reaktyviojo baltymo, α 1-antipripsino ir kiti (Lee et al., 2017). Šiuo metu (ciklinių sporto šakų atstovams – ultramaratono pavyzdžiu) galima išskirti tris laboratorinių persitreniravimo rodiklių biocheminius modelius. Šiuo tikslu 18 vidutinio amžiaus sportininkams, dalyvavusiems dviejų dienų trukmės 130 km nuotolio ultramaratone, buvo tirti kraujo biomarkerių pokyčiai. Tyrimo dalyvių kraujo mėginiuose, paimtuose nuliniam taške (baziniame lygyje), įveikus nuotolį pirmąją ir antrąją stebėjimo dieną bei tris kartus po lenktynių (1, 3 ir 5–6 dienomis), nustatyti trys tirtų rodiklių pokyčių sunkumo dėsningumai. Pirmojo modelio rodikliai išliko praktiškai nepakitę po dviejų krūvio dienų ir po jų dinamikoje. Tai rodė mažai pakitusios eritrocitų

indeksų reikšmės (vidutinis raudonųjų kraujo kūnelių tūris, absoliutus ir santykinis eritrocitų prisotinimas hemoglobinu, anizocitozė), γ -glutamilas, transferazės aktyvumas ir priešūždegiminio naviko nekrozės faktoriaus- α (TNF- α) kiekis. Antrojo modelio žymekliai apėmė daugumą rodiklių, kurie buvo padidinti bėgimo metu ir po jo, o po to grįžo į pradinį lygį. Tai buvo hemolizės (eritrocitų sunaikinimo) žymenys – netiesioginis bilirubinas ir geležies prisotinimo indikatorius feritinas, raumenų pažeidimo parametrai – šlapimo rūgštis, CPK, laktatdehidrogenazės ir AST fermentinis aktyvumas, inkstų funkcijos sutrikimo žymenys (kreatininas ir šlapalo azotas kraujo serume), kepenų pažeidimo indeksas (ALT), lipidų metabolizmas (laisvosios riebalų rūgštys), reaktyvieji deguonies radikalai ir miocitų uždegimo žymenys (leukocitai, priešūždegiminis citokinas interleukinas-6 ir C reaktyvusis baltymas), taip pat veiksniai, apibūdinantys energijos gamybą ir adrenerginių medžiagų apykaitos procesų reguliavimą (adrenalino, norepinefrino ir dopamino kiekis). Trečiasis modelio indeksas – lipidų apykaitos (trigliceridų kiekio) intensyvumo ir krypties žymuo – ultramaratono metu sumažėjo, o jam pasibaigus pradėjo grįžti į pradinį lygį. Kai kuriems hormoniniams žymenims, ypač endogeniniam insulinui, leptinui ir adiponektinui, buvo gauti unikalūs šių krūvių poveikio dinamikos modeliai. Šie rezultatai buvo informatyvūs sportininkams ir treneriams, kurie turi žinoti optimalų fizinio krūvio lygį, trukmę ir bendrą pratimų apimtį, kad pagerintų fizinę veiklą ir stebėtų fizinę bei psichinę būklę, taip pat išvengtų persitreniravimo ir sumažintų traumų riziką (Arakawa et al., 2016). Mūsų požiūriu, gauti duomenys gali būti pagrindas kuriant esmines nuostatas dėl būtinybės naudoti integruotą klinikiinių ir laboratorinių žymenų kompleksą sportininkų parengtumo lygiui, taip pat persitreniravimo vystymosi sindromui įvertinti.

Persitreniravimo diagnostikai įvertinti ypač įdomi citokinių hipotezė, kuri turi daug šalininkų tarp mokslininkų (Meeusen et al., 2013; da Silva Vasconcelos ir Salla, 2018). Didelės apkrovos raumenų ir kaulų sistemos struktūriniais komponentams kartu su ilgalaikiu nepakankamu atsigavimu gali sukelti aseptinį raumenų ir kaulų uždegimą. Citokinių hipotezė apie persitreniravimą grindžiama tuo, kad kai dėl ūminio ir lėtinio pervargimo raumenų audinyje atsiranda mikrotraumos, pastebimas priešūždegiminių citokinių, visų pirma, naviko nekrozės

faktoriaus- α , interleukino-1 β (IL-1 β) ir interleukino --6 (IL-6) koncentracijos padidėjimas. Šių priešūždegiminių citokinių lygio nustatymas gali žymiai pagerinti ankstyvos persitreniravimo diagnostikos veiksmingumą. Šios metodikos plataus praktinio panaudojimo problema yra šių tyrimų atlikimo sudėtingumas treniruočių stovyklų ir varžybų lauko sąlygomis bei nesugebėjimas nustatyti priešūždegiminių citokinių lygio įprastinėse klinikinės diagnostikos laboratorijų praktikoje.

Diferencinei pervargimo ir persitreniravimo diagnostikai R. Meeusen ir kiti (2013) pasiūlė atlikti specialų krūvio testą. Šiuo atveju tiriamieji atlieka du testus, palaipsniui didindami fizinio krūvio intensyvumą iki negalėjimo su keturių valandų poilsio intervalu. Prieš ir po pirmojo ir po antrojo tyrimų paimami keturi kraujo mėginiai. Kraujo serume nustatomas adrenokortikotropinio hormono, prolaktino ir somatotropino (augimo) hormono kiekis. Kiekvieno testo pabaigoje registruojama krūvio trukmė, širdies susitraukimų dažnis ir laktato koncentracija. Pervargimo nuo persitreniravimo atskyrimo kriterijus yra adrenokortikotropinio hormono ir prolaktino koncentracijos pokyčio laipsnis po antrojo testo. Sportininkams, turintiems pervargimo sindromą, minėtų hormonų koncentracija padidėja labai nedaug arba jų koncentracija visai nesikeičia. Sportininkams, turintiems persitreniravimo sindromą, fiksuojamas reikšmingas šių hormonų koncentracijos padidėjimas (Meeusen et al., 2013).

Išvada

Apžvelgus daugelį mokslo publikacijų, aiškėja, kad profesionalių aukštos kvalifikacijos sportininkų persitreniravimo sindromo buvimo ir sunkumo nustatymo problema, nors ir labai sunki, tačiau labai aktuali šiuolaikinės sporto medicinos, ypač laboratorinės diagnostikos, metodika. Daugelio esamų testų, pagrįstų psichologinių ir fiziologinių rodiklių nustatymu, naudojimas ne visada suteikia aiškų ir, svarbiausia, savalaikį supratimą apie tai. Laiku nustačius šio sindromo, tolesnis treniruočių tęsimas nekeičiant treniruočių proceso be atitinkamos farmakologinės ir mitybinės homeostazės korekcijos tik pablogins sportininko būklę ir taps patofiziologinio pobūdžio problema, kuri dėl tolesnių klinikiinių pokyčių nutrauks treniruočių procesą. Laiku diagnozuoti persitreniravimą turėtų padėti pirmojo lygio tyrimai, rodantys nepakankamo atsigavimo, persitreniravimo vystymąsi – šlapalo, kreatinino

kiekio, vidutinio eritrocitų tūrio, taip pat CPK aktyvumo nustatymas. Tokie tyrimai turėtų būti atliekami reguliariai, kad būtų galima kontroliuoti ir valdyti sportininkų treniruočių procesą. Kai įvyksta pirminiai rodiklių poslinkiai, reikalinga savalaikė krūvio korekcija ir tolesnė išsami klinikinė ir laboratorinė kontrolė. Nesilaikant šių paprastų nuostatų, pervargimo būseną progresuos, pablogės medžiagų apykaitos poslinkiai, o tai tiesiogiai paveiks sportininko fizinį ir funkcinį pasirengimą. Laiku pasitarkta visa turima diagnostinė klinikinė ir laboratorinė tyrimų metodika padės treneriui laiku koreguoti treniruočių proceso struktūrą, palaikyti sportininko sveikatą ir pasiekti aukštą varžybų rezultatą.

Manome, kad būtina pripažinti pareigą atsižvelgti į individualizuotą ir sportui būdingą persitreniravimo sindromo požymių / simptomų pobūdį ir, kuriant diagnostikos algoritmus, aprašyti galimus sąveikaujančius polinkius sukeliančius veiksnius, remiantis prielaida, kad šis sindromas ir jo sunkumas bus veiksmingiausiai apibūdintas ir įvertintas naudojant pagrindinę informaciją, pagrįstą sudėtingų biologinių sistemų kūrimu, naudojant tinkamus biologinius žymenis.

Mūsų hipotezės patvirtinimas ir plėtojimas yra L. Armstrong ir kt. (2022) tyrimo rezultatai, susiję su būtinybe PS nagrinėti sudėtingų sistemų ir tinklo fiziologijos požiūriu, plačiai paplitusiu tokių naujausių metodų kaip transomalinė analizė ir naujausių technologijų bei įrodymais pagrįstų metodų, skirtų persitreniravimo sindromo buvimui ir sunkumui apibūdinti. Pastarasis turėtų apimti smegenų nervinių tinklų, pagumburio-hipofizės-antinksčių atsako į treniruočių stresą disfunkcijos, žarnyno mikrobiotos sudėties, hormoninių ir imuninių faktorių, taip pat energijos trūkumo ir mažo jos prieinamumo organizme tyrimą. Toks įtraukus ir šiuolaikiškas požiūris labai padės prevencijai ir, jei reikia, patogenetiškai pagrįstas PS gydymas.

Tačiau, atsižvelgiant į sisteminės literatūros apžvalgos duomenis, be biomarkerių panaudojimo, siekiant patikimai patvirtinti persitreniravimo sindromo susidarymą ir konstatuoti jo skirtumus nuo FOR ir funkcinio persitreniravimo ir nefunkcinio persitempimo buvimo sportininkams, būtina į diagnostikos algoritmą įtraukti pedagoginius veiklos ir darbingumo nustatymo parametrus, siekiant padidinti tyrimų patikimumą (Grandou et al., 2020).

LITERATŪRA

1. Arakawa, K., Hosono, A., Shibata, K., Ghadimi, R., Fuku, M. et al. (2016). Changes in blood biochemical markers before, during, and after a 2-day ultramarathon. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 7, 43–50. doi: 10.2147/OAJSM.S97468
2. Armstrong, L. E., Bergeron, M. F., Lee, E. C., Mershon, J. E. ir Armstrong, E. M. (2022). Overtraining syndrome as a complex systems phenomenon. *Frontiers in Network Physiology*, 1, 794392. doi: 10.3389/fnetp.2021.794392
3. Bellinger, P. (2020). Functional overreaching in endurance athletes: A necessity or cause for concern? *Sports Medicine*, 50(6), 1059–1073. doi: 10.1007/s40279-020-01269-w
4. Bongiovanni, T., Tinsley, G., Martera, G., Orlandi, C., Genovesi, F., Puleo, G., Rossi, A. ir Trecroci, A. (2022). Regional lean soft tissue and intracellular water are associated with changes in lower-body neuromuscular performance: a pilot study in elite soccer players. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 12(8), 882–892. doi: 10.3390/ejihpe12080064
5. Bouchard, C., Shephard, R. J. ir Stephens, T. (1994). *Physical Activity; Fitness and Health: International Proceedings and Consensus Statement*. Champaign III: Human Kinetics, 356 p.
6. Cadegiani, F. A. ir Kater, C. E. (2017). Hormonal aspects of overtraining syndrome: a systematic review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 9, 14. doi: 10.1186/s13102-017-0079-8
7. Cadegiani, F. A. ir Kater, C. E. (2018). Hormonal response to a non-exercise stress test in athletes with overtraining syndrome: results from the endocrine and metabolic responses on overtraining syndrome (EROS) – EROS-STRESS. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(7), 648–653. doi: 10.1016/j.jsams.2017.10.033
8. Castro-Sepulveda, M., Cancino, J., Fernández-Verdejo, R., Pérez-Luco, C., Jannas-Vela, S., et al. (2019). Basal serum cortisol and testosterone/cortisol ratio are related to rate of Na^+ lost during exercise in elite soccer players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 29(6), 658–663. doi: 10.1123/ijsnem.2019-0129
9. Chan, S. ir Debono, M. (2010). Replication of cortisol circadian rhythm: new advances in hydrocortisone replacement therapy. *Therapeutic Advances in Endocrinology and Metabolism*, 1(3), 129–138. doi: 10.1177/2042018810380214
10. Costello, J. T., Baker, P. R., Minett, G. M., Bieuzen, F., Stewart, I. B. ir Bleakley, C. (2015). Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 18(9), CD010789. doi: 10.1002/14651858.CD010789.pub2
11. Crewther, B. T., Obmiński, Z. ir Cook, C. J. (2018). Serum cortisol as a moderator of the relationship between serum testosterone and Olympic weightlifting performance

- in real and simulated competitions. *Biology of Sport*, 35(3), 215–221. doi: 10.5114/biol sport.2018.74632
12. Crewther, B. T., Cook, C., Orysiak, J., Zmijewski, P., Obmiński, Z. (2019). Individual variation in the cortisol response to a simulated Olympic weightlifting competition is related to changes in future competitive performance. *Biology of Sport*, 36(2), 133–139. doi: 10.5114/biol sport.2019.81115
13. Djaoui, L., Haddad, M., Chamari, K., Dellal, A. (2017). Monitoring training load and fatigue in soccer players with physiological markers. *Physiology and Behavior*, 181, 86–94. doi: 10.1016/j.physbeh.2017.09.004
14. Durkalec-Michalski, K., Jeszka, J. ir Podgórski, T. (2017). The Effect of a 12-Week Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) Supplementation on highly-trained combat sports athletes: a randomised, double-blind, placebo-controlled crossover study. *Nutrients*, 9(7), 753. doi: 10.3390/nu9070753
15. Feijen, S., Tate, A., Kuppens, K., Barry, L.A., Struyf, F. (2020). Monitoring the swimmer's training load: A narrative review of monitoring strategies applied in research. *Scandinavian Journal of Sports Medicine and Science*, 30(11), 2037–2043. doi: 10.1111/sms.13798
16. Foster, C., Rodriguez-Marroyo, J. A. ir de Koning, J. J. (2017). Monitoring training loads: the past, the present, and the future. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 22–28. doi: 10.1123/ijsp.2016-0388
17. Grandou, C., Wallace, L., Impellizzeri, F. M., Allen, N. G. ir Coutts, A. J. (2020). Overtraining in resistance exercise: an exploratory systematic review and methodological appraisal of the literature. *Sports Medicine*, 50(4), 815–828. doi: 10.1007/s40279-019-01242-2
18. Grzędzicka, J., Dąbrowska, I., Malin, K. ir Witkowska-Piłaszewicz, O. (2023). Exercise-related changes in the anabolic index (testosterone to cortisol ratio) and serum amyloid a concentration in endurance and racehorses at different fitness levels. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1148990. doi: 10.3389/fvets.2023.1148990
19. Güemes, M., Rahman, S. A. ir Hussain, K. (2016). What is a normal blood glucose? *Archives of Disease in Childhood*, 101(6), 569–574. doi: 10.1136/archdischild-2015-308336
20. Harber, M. ir Trappe, S. (2008). Single muscle fiber contractile properties of young competitive distance runners. *Journal of Applied Physiology*, 105(2), 629–636. doi: 10.1152/jap.2007.00995.2007
21. Hooper, D. R., Tenforde, A. S., Hackney, A. C. (2018). Treating exercise-associated low testosterone and its related symptoms. *Physician and Sportsmedicine*, 46(4), 427–434. doi: 10.1080/00913847.2018.1507234
22. Hu, Y. C., Chu, K. F., Hwang, L. Y. ir Lee, T. H. (2019). Cortisol regulation of Na(+), K(+)-ATPase beta1 subunit transcription via the pre-receptor 11beta-hydroxysteroid dehydrogenase 1-like (11beta-Hsd1L) in gills of hypothermal freshwater milkfish (*Chanos chanos*). *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 192, 105381. doi: 10.1016/j.jsbmb.2019.105381
23. Jones, T. W., Howatson, G., Russell, M., French, D. N. (2017). Effects of strength and endurance exercise order on endocrine responses to concurrent training. *European Journal of Sport Science*, 17(3), 326–334. doi: 10.1080/17461391.2016.1236148
24. Khaitin, V., Bezuglov, E., Lazarev, A., Matveev, S., Ivanova, O., et al. (2021). Markers of muscle damage and strength performance in professional football (soccer) players during the competitive period. *Annals of Translational Medicine*, 9(2), 113. doi: 10.21037/atm-20-2923
25. Koch, A. J., Pereira, R. ir Machado, M. (2014). The creatine kinase response to resistance exercise. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 14(1), 68–77.
26. Kraemer, W. J., Ratamess, N. A., Hymer, W. C., Nindl, B. C. ir Fragala, M. S. (2020). Growth hormone(s), testosterone, insulin-like growth factors, and cortisol: roles and integration for cellular development and growth with exercise. *Frontiers in Endocrinology (Lausanne)*, 11, 33. doi: 10.3389/fendo.2020.00033
27. Lee, E. C., Fragala, M. S., Kavouras, S. A., Queen, R. M., Pryor, J. L., Casa, D. J. (2017). Biomarkers in sports and exercise: tracking health, performance, and recovery in athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(10), 2920–2937. doi: 10.1519/JSC.0000000000002122
28. Machado, A. F., Almeida, A. C., Micheletti, J. K., Vanderlei, F. M., Tribst, M. F., et al. (2017). Dosages of cold-water immersion post exercise on functional and clinical responses: a randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(11), 1356–1363. doi: 10.1111/sms.12734
29. Malisoux, L., Francaux, M., Nielens, H., Theisen, D. (2006). Stretch-shortening cycle exercises: an effective training paradigm to enhance power output of human single muscle fibers. *Journal of Applied Physiology*, 100(3), 771–779. doi: 10.1152/jap.2007.01027.2005
30. Marin, D. P., Bolin, A. P., Campoio, T. R., Guerra, B. A., Otton, R. (2013). Oxidative stress and antioxidant status response of handball athletes: implications for sport training monitoring. *International Immunopharmacology*, 17(2), 462–470. doi: 10.1016/j.intimp.2013.07.009
31. Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., et al. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(1), 186–205. doi: 10.1249/MSS.0b013e318279a10a
32. Milašius, K. (2008). *Sportininkų vartojamų maisto papildų veiksmingumas. Monografija*. Vilnius, 214 p.
33. Milašius, K. (2022). Kai kurių sportininkų vartojamų maisto papildų poveikis hormonų koncentracijos kaitai kraujyje. *Sporto mokslas*, 2(102), 70–76. doi: 10.15823/sm.2022.102.8
34. Nelson, D. ir Cox, M. (2014). Bioenergetics and metabolism. *Fundamentals of Biochemistry Lehninger*, 2, 318–329.
35. Palacios, G., Pedrero-Chamizo, R., Palacios, N., Maroto-Sánchez, B., Aznar, S., et al. (2015). Biomarkers of physical activity and exercise. *Nutricion Hospitalaria*, 31(3), 237–244. doi: 10.3305/nh.2015.31.sup3.8771

36. Pedlar, C. R., Newell, J. ir Lewis, N.A. (2019). Blood biomarker profiling and monitoring for high-performance physiology and nutrition: current perspectives, limitations and recommendations. *Sports Medicine*, 49(2), 185–198. doi: 10.1007/s40279-019-01158-x
37. Pondelj, N. ir Lugović-Mihic, L. (2020). Stress-induced interaction of skin immune cells, hormones, and neurotransmitters. *Clinical Therapeutics*, 42(5), 757–770. doi: 10.1016/j.clinthera.2020.03.008
38. Raeder, C., Wiewelhove, T., Simola, R. Á., Kellmann, M., Meyer, T., et al. (2016). Assessment of fatigue and recovery in male and female athletes after 6 days of intensified strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(12), 3412–3427. doi: 10.1519/JSC.0000000000001427
39. Richardson, S. O., Anderson, M. B. ir Morris, T. (2008). *Overtraining Athletes: Personal Journeys in Sport*. Human Kinetics, 205 p.
40. Stone, J. D., Kreutzer, A., Mata, J. D., Nystrom, M. G., Jagim, A. R., Jones, M. T. ir Oliver, J. M. (2019). Changes in creatine kinase and hormones over the course of an American football season. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(9), 2481–2487. doi: 10.1519/JSC.0000000000001920
41. Testai, F. D. ir Gorelick, P. D. (2010). Inherited metabolic disorders and stroke. Part 2: homocystinuria, organic acidurias, and urea cycle disorders. *Archives of Neurology*, 67(2), 148–153. doi: 10.1001/archneurol.2009.333
42. Tomić, Ž. D., Tomić, M., Vuletić, F. ir Vrgoč, G. (2023). Running addiction. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 63(3), 503–508. doi: 10.23736/S0022-4707.22.14285-4
43. Trappe, S., Harber, M., Creer, A., Gallagher, P., Slivka, D., et al. (2006). Single muscle fiber adaptations with marathon training. *Journal of Applied Physiology*, 101(3), 721–727. doi: 10.1152/jappphysiol.01595.2005
44. Vanrenterghem, J., Nedergaard, N. J., Robinson, M. A. ir Drust, B. (2017). Training load monitoring in team sports: a novel framework separating physiological and biomechanical load-adaptation pathways. *Sports Medicine*, 47(11), 2135–2142. doi: 10.1007/s40279-017-0714-2
45. da Vasconcelos, Silva, ir Salla, R. F. (2018). Resistance exercise, muscle damage and inflammatory response “what doesn’t kill you makes you stronger”. *MOJ Sports Medicine*, 2(2), 65–67. doi: 10.15406/mojm.2018.02.00048
46. Walker, A. J., McFadden, B. A., Sanders, D. J., Rabideau, M. M., Hofacker, M. L. ir Arent, S. M. (2019). Biomarker response to a competitive season in division I female soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(10), 2622–2628. doi: 10.1519/JSC.0000000000003264
47. Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M. ir Ferrauti, A. (2015). Markers for routine assessment of fatigue and recovery in male and female team sport athletes during high-intensity interval training. *PLoS One*, 10(10), e0139801. doi: 10.1371/journal.pone.0139801
48. Гунина, Л., Рыбина, И. ir Санауов, Ж. (2020). Контроль и управление тренировочным процессом с помощью комплекса лабораторных информативных маркеров: реальная практика. Наука в олимпийском спорте, 2, 33–43. doi: 10.32652/olympic2020.2
49. Дмитриев, А. В. ir Гунина, Л. М. (2020). Спортивная нутрициология. Москва: Спорт, 639 с.
50. Никулин, Б. А. ir Родионова, И. И. (2011). Биохимический контроль в спорте. Москва: Советский спорт, 232 с.
51. Платонов, В. (2015). Перетренированность в спорте. Наука в олимпийском спорте, (1), 19–34.
52. Рыбина, И. Л. ir Гунина, Л. М. (2021). Лабораторные маркеры контроля и управления тренировочным процессом спортсменов: наука и практика; монография. Москва: Спорт, 372 с.

THE USE OF LABORATORY PARAMETERS IN THE DIAGNOSIS OF OVERTRAINING SYNDROME IN SPORTS: REVIEW

Prof. Dr. Larisa Gunina¹, Dr. Aleksander Orlov², Prof. Dr. Habil. Kazys Milašius³

Medical Institute of Sumy State University of Ukraine, Ukraine¹,

Kazakh National Womens Pedagogical University²,

Vytautas Magnus University Academy of Education, Lithuania³

SUMMARY

The phenomenon of reduced athletic performance after prolonged intense training (*Overtraining Syndrome*, OTS) was first discovered about 100 years ago. And although hundreds of scientific publications have been devoted to the pathogenesis, stages of formation and methods for establishing the presence and severity of overtraining syndrome, final judgments regarding diagnostic algorithms, the use of reliable biomarkers and effective methods of treatment remain unknown. Based on the analysis and synthesis of data available in the scientific literature, in a review article, the authors formed modern ideas about the possibilities of laboratory diagnostics and the construction of a diagnostic algorithm for identifying and assessing the severity of overtraining syndrome in highly qualified athletes. The paper, first of all, presents the modern terminological characteristics of overtraining as a clinical syndrome, summarizes the main factors leading to the development of this pathological condition in athletes, and describes the algorithms for primary and more complex diagnostic

technologies. The most important role of changes in the hormonal status of athletes in the formation of underrecovery and further development of overtraining, as well as the possibility of using calculated indices to characterize the violations of the anabolic and catabolic status in athletes that underlie the occurrence of these pathological conditions, is highlighted. As modern laboratory tests that reflect the presence of a non-septic inflammatory process in tissues as one of the important determinants of OTS, an increase in the content of the so-called “acute phase” proteins can be used: fibrinogen, haptoglobin, acid α 1-glycoprotein, C-reactive protein, α 1-antitrypsin and etc. The basis for early diagnosis of overtraining should be first-level tests indicating the development of underrecovery / overwork – determination of urea, creatinine, hematological homeostasis indicators, and creatine phosphokinase activity. The timely use of indicators of violation of the integrity of myocytes, parameters of oxidative stress, the content of pro-inflammatory cytokines and the activity of marker enzymes for assessment for the diagnosis of overtraining will help the coach change the structure of the training process in a timely manner, maintain the health of the athlete and achieve a high competitive result.

The authors believe that it is necessary to recognize the obligation to take into account the individualized and sport-specific nature of the signs / symptoms of OTS and, when developing diagnostic algorithms, to describe potential interacting predisposing factors based on the assumption that this syndrome and its severity will be most effectively characterized and assessed using the underlying based on its development of complex biological systems using appropriate biomarkers.

Keywords: elite sport, overtraining syndrome, stress, biomarkers, laboratory diagnostics.

Gunina Larisa Mikhailovna
Medical Institute of Sumy State University of Ukraine
Rimsky-Korsakov St. 2, Sumy, 40007, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2107-0983>
E-mail gunina.sport@gmail.com

Gauta 2023-09-08
Patvirtinta 2023-10-31