

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
BIOLOĢIJAS FAKULTĀTE
CILVĒKA UN DZĪVNIEKU FIZIOLOĢIJAS KATEDRA

SLODZES IZRAISĪTĀS KARDIORESPIRATORO
PARAMETRU DISPROPORCIONĀLĀS IZMAIŅAS

Bakalaura darbs

Autors: Ance Liniņa

Stud. apl. Nr. a112087

Darba vadītājs: Dr. biol., doc. Līga Plakane

RĪGA 2015

Saturs

Kopsavilkums.....	4
Ievads	6
1. Literatūras apskats.....	7
1.1. Organisma fiziskās darbaspējas	7
1.1.1. Aerobās darbaspējas	7
1.1.1.1. Iedzimtība	7
1.1.1.2. Uzlabošana.....	7
1.1.1.3. Noteikšana	7
1.1.2. Anaerobās darbaspējas	8
1.1.2.1. Izturība	8
1.1.2.2. Spēks.....	9
1.1.2.3. Noteikšana	9
1.2. Slodzes tolerances tests	10
1.2.1. Skābekļa maksimālais patēriņš.....	10
1.2.2. Skābekļa pulss	10
1.2.3. Anaerobais sliekšnis	10
1.2.4. Sirds minūtes tilpums	11
1.2.5. Plaušu ventilācija.....	11
1.2.6. Skābekļa un ogļskābās gāzes ventilācijas ekvivalents	11
1.2.7. Ventilācijas – perfūzijas attiecība.....	12
1.2.5. Rezultātu interpretēšana	12
1.2.6. Testa nepilnības	12
1.3. Fizioloģiskā adaptācija aerobām slodzēm.....	13
1.3.1. Sistoles tilpums.....	13
1.3.2. Sirds ritms miera stāvoklī	13
1.3.3. Sirds minūtes tilpums	13
1.3.4. Skābekļa maksimālais patēriņš.....	14
1.3.5. Plaušu kapacitāte	14
1.3.6. Hemoglobīna līmenis	14
1.3.7. Asinsspiediens	15
1.4. Fizioloģiskā adaptācija anaerobām slodzēm	16
1.4.1. Muskuļu šķiedras.....	16
1.4.2. Endokrīnā sistēma	16

1.4.3. Laktāta sliekšnis	17
1.4.4 Neirālā sistēma	17
2. Metodes	18
3. Rezultāti un diskusija	21
3.1. Plaušu ventilācijas izmaiņas slodzes ietekmē	21
3.2. Skābekļa un ogleņskābās gāzes ventilācijas ekvivalenta izmaiņas slodzes ietekmē ..	22
3.3. Ssistoles tilpuma izmaiņas slodzes ietekmē.....	25
3.4. Sirdsdarbības frekvences izmaiņas slodzes ietekmē.....	26
3.5. Sirds minūtes tilpuma izmaiņas slodzes ietekmē.....	26
3.6. Ventilācijas – perfūzijas attiecības izmaiņas slodzes ietekmē.....	28
3.7. Iespējamie pētījuma uzlabojumi	29
Secinājumi.....	30
Pateicības.....	31
Literatūras saraksts.....	32

Kopsavilkums

Darbā tika pētīts, kā slodzes ietekmē mainās kardiorespiratorie parametri un vai tie ir atkarīgi no pētījumā iesaistīto personu sporta veida. Darba mērķis bija izvērtēt slodzes izsauktu kardiorespiratoro funkciju raksturojošo parametru neproporcionālās adaptīvās izmaiņas.

Pētījumā piedalījās 20 personas – 9 vīriešu dzimuma basketbolisti, 8 vīriešu dzimuma orientieristi, 3 vīriešu dzimuma volejbolisti. Personas veica veloergometriskas slodzes testu. Basketbolistu tests sastāvēja no 7 minūšu iesildīšanās, veicot 50W lielu slodzi, pakāpeniski pieaugošas veloergometriskas slodzes testa līdz atteicei un 5 minūšu atsildīšanās, veicot 50W lielu slodzi. Volejbolistiem un orientieristiem slodzes tests sākās ar 5 minūšu ilgu miera periodu, turpinājās ar pakāpeniski pieaugošas veloergometriskas slodzes testu līdz atteicei un noslēdzās ar 5 minūšu atjaunošanās periodu.

Tika secināts, ka maksimālas vai submaksimālas slodzes laikā nenotiek optimāla gāzu maiņa plaušās un kardiorespiratoro parametru adaptāciju slodzei nosaka indivīda sporta veids.

Atslēgas vārdi: veloergometriskā slodze, kardiorespiratorie parametri, gāzu maiņa plaušās, sporta veids.

Summary

The study examined how cardiorespiratory parameters changes during load and whether they depend on different sports. The aim was to establish disproportionate adaptive changes during load in cardiorespiratory parameters.

20 participants took part in this study – 9 male basketball players, 8 male orienteers, 3 male volleyball players. Participants did veloergometry test. Basketball players started with 7 minute warm up at 50W load then continued with veloergometry exercise with increasing load to failure and at the end was 5 minute low load (50W) veloergometry exercise. Volleyball players and orienteers started with 5 minute rest period, continued with veloergometry test with increasing load to failure and at the end was recovery period.

It was found that optimal gas exchange in lungs does not happen at maximal or submaximal load and cardiorespiratory parameters adaptation varies by the sports.

Key words: veloergometry exercise, cardiorespiratory parameters, gas exchange in lungs, sports discipline.

Ievads

Slodzes laikā muskuļiem nepieciešams atbrīvot vairāk enerģijas, lai veiktu efektīvas kontrakcijas un noturētu saspringumu. Lai audiem piegādātu lielāku skābekļa daudzumu, nepieciešams paaugstināt gan elpošanas sistēmas parametrus, gan kardiovaskulārās sistēmas parametrus (Hoffmann, 2014). Taču arī šo parametru paaugstināšana nenodrošinās neirobežotu skābekļa satura palielināšanos asinīs, jo skābekļa – hemoglobīna disociācijas līkne sasniedz plato fāzi (Bullock et al., 2001).

Submaksimālas un maksimālas slodzes laikā lielākā daļa no plaušu ventilācijas laikā uzņemta skābekļa netiek izmantota, jo plaušu asinsritei tiek pievadīts relatīvi neliels asins tilpums, kā rezultātā nenotiek efektīva gāzu apmaiņa un skābekļa saturs asinīs būtiski nemainās (Bluckburn, 2007).

Slodzes tolerances tests ir viens no neinvazīvās diagnostikas veidiem, kas atspoguļo sirds un plaušu kapacitātes, asiņu spēju audiem piegādāt skābekli un izvadīt no tiem ogļskābo gāzi (Forman et al., 2010).

Šī testa laikā svarīgi ir ne tikai testa vadītāja kompetence, bet arī izpildītāja fiziskā sagatavotība. Testa rezultātus var būtiski ietekmēt izpildītāja skeleta muskuļu, kardiorespiratorās sistēmas vai metabolisma individuālās īpatnības vai traucējumi.

Darba mērķis: izvērtēt slodzes izsauktu kardiorespiratoro funkciju raksturojošo parametru neproporcionālās adaptīvās izmaiņas.

Darba uzdevumi:

1. Reģistrēt elpošanas sistēmas parametrus (plaušu ventilāciju, skābekļa un ogļskābās gāzes ventilācijas ekvivalentus) un kardiovaskulārās sistēmas parametrus (sirdsdarbības frekvenci, sistoles tilpumu, sirds minūtes tilpumu) slodzes tolerances testa izpildes laikā trīs sporta veidu (basketbols, orientēšanās, volejbols) pārstāvjiem.
2. Novērtēt plaušu ventilācijas un gāzu maiņas efektivitāti plaušās pēc ventilācijas – perfūzijas attiecības trīs sporta veidu pārstāvjiem.
3. Novērtēt miokarda funkcionālās adaptācijas spējas dinamiskai pieaugošai slodzei.

1. Literatūras apskats

1.1. Organisma fiziskās darbaspējas

Fiziskās darbaspējas ir indivīda potenciālās spējas attīstīt maksimālu spēku statiskā, dinamiskā vai jauktā fiziskā darbā. Tās ir saistītas ar ķermeņa uzbūvi, antropometriskajiem raksturlielumiem; aerobo un anaerobo mehānismu jaudu, ietilpību un efektivitāti; muskuļu spēku un izturību; neiromuskulāro koordināciju; kustību un balsta sistēmu (Aberberga-Augškalne, 2002).

1.1.1. Aerobās darbaspējas

Tās ir viens no objektīviem cilvēka veselības stāvokļa rādītājiem. Atkarīgas no vecuma, dzimuma, iedzimtības, veselības stāvokļa un fiziskās sagatavotības (Wilmore, Costill, 2004). Parasti miera stāvoklī vīriešiem darbaspējas ir par aptuveni 20% augstākas nekā sievietēm, bet slodzes ietekmē – par aptuveni 15% augstākas. Vīriešu organismā muskuļu audi ir proporcionāli vairāk nekā sievietēm, bet taukaudi mazāk, tādēļ arī novērojama atšķirība aerobajās darbaspējās (Plowman, Smith, 2008).

1.1.1.1. Iedzimtība

Aerobās darbaspējas ir ģenētiski noteiktas un tās nevar uzlabot neierobežoti. Taču netrenētiem indivīdiem, pareizi dozējot slodzi, tās iespējams paaugstināt par aptuveni 20% (Hoffmann, 2014).

1.1.1.2. Uzlabošana

Aerobo darbaspēju paaugstināšanai ļoti svarīgi ir pareizi dozēt slodzi. Sirds frekvence jānotur diapazonā 60% - 80% no maksimālās sirds frekvences (220-vecums) (Kenney et al., 2012). Ja slodze tiek noteikta nepareizi, aerobās darbaspējas var paaugstināties ļoti minimāli vai pat samazināties. Ja slodze ir virs 80% no maksimālās sirdsdarbības frekvences, tad tā nedrīkst pārsniegt 15% no kopējā slodzes ilguma (Wilmore, Costill 2004).

1.1.1.3. Noteikšana

Precīzākais aerobo darbaspēju rādītājs ir skābekļa maksimālais patēriņš. To nosaka laboratorijā, izmantojot elpošanas gāzu analīzi. Taču ir arī citi veidi, kā netieši noteikt aerobās

darbaspējas. Bezslodzes testā nosaka organisma gāzu maiņu miera stāvoklī. Sirds ritma monitorā tiek ieprogrammēts personas svars, vecums, augums, maksimālā sirdsdarbība, un tiek reģistrētas 255 sirds muskuļa kontrakcijas (Kuipers et al., 1985).

Astranda tests, kura laikā tiek veikta 6 minūšu ilga slodze uz veloergometra – 3 minūtes iesildīšanās un 3 minūtes, kuru laikā sirds frekvence pārsniedz 120 sitienus minūtē.

Pasaules Veselības organizācijas ieteiktais tests, kurā ir 3 kāpņveidīgi pieaugošas slodzes, katra pa 4 minūtēm. Tās ir atkarīgas no vecuma, dzimuma un ķermeņa masas. Pēdējā slodzē ritms paaugstinās virs 80% no maksimālās sirdsdarbības frekvences. Aprēķina maksimālo skābekļa patēriņu pēc formulas (Hopkins et al., 2001).

YMCA tests, kura laikā tiek veiktas 3 kāpņveidīgi pieaugošas slodzes pa 3 minūtēm (pēdējā slodze sasniedz 60% - 80% no maksimālās sirdsdarbības frekvences), nosaka maksimālo skābekļa patēriņu pēc formulas: sievietēm $65,81 - (0,1847 * \text{maksimālā sirds frekvence minūtē})$; vīriešiem $111,33 - (0,42 * \text{maksimālā sirds frekvence})$ (Santo, Golding 2003).

Eirofit tests ir submaksimālas slodzes tests, kura laikā tiek izpildītas 3 kāpņveidīgi pieaugošas slodzes, katra pa 4 minūtēm. Skābekļa maksimālais patēriņš tiek noteikts pēc formulas: $(W_{\max} * 12,48 + 217) / \text{svars(kg)}$. Maksimālās slodzes aprēķinā tiek iekļauts maksimālais pulss, pulss katrā slodzē un slodžu jaudas (Verstraete et al., 2006).

1.1.2. Anaerobās darbaspējas

Anaerobās darbaspējas ir balstītas uz anaerobo jaudu un kapacitāti (Noordhof et al., 2010). Anaerobā jauda ir spēja izmantot kreatīnfosfāta sistēmu ATF enerģijas resintēzei. Anaerobā kapacitāte ir spēja resintezēt ATF enerģiju, apvienojot anaerobo glikolīzi un kreatīnfosfāta sistēmu (Ali Özkan et al., 2012). Anaerobās darbaspējas ir atkarīgas no ķermeņa uzbūves, dzimuma, vecuma, muskuļu šķiedru sadalījuma un muskuļu spēka (Kin-İşler et al., 2008).

1.1.2.1. Izturība

Izturība ir indivīda spēja ilgstoši turpināt darbu, nesamazinot tā efektivitāti. To raksturo gan muskuļu, gan kardiorespiratorā izturība (Wilmore, Costill, 2004).

Muskuļu izturība, kas raksturīga atlētiem, kuru slodzēs dominē anaerobās enerģijas sintēze, ir muskuļa vai atsevišķas muskuļu grupas spēja uzturēt augstas intensitātes dinamisku vai statisku slodzi (Akanan et al., 2004).

Kardiorespiratorā izturība attiecināma uz visu organismu. Tā nosaka organisma spējas noturēt ilgstošu un ritmisku slodzi. Tā ir saistīta ar aerobajām spējām (Wilmore, Costill, 2004).

Izturība ir tieši saistīta ar spēju pretoties izteiktam nogurumam vai diskomfortam, kas saistīts ar nogurumu (McArdle et al., 2006). Lai tiktu pāri nogurumam vai tā izraisītam diskomfortam, indivīdam nepieciešama arī psiholoģiskā noturība, motivācija un spēja pārvarēt sāpes (Peinado et al., 2014).

1.1.2.2.Spēks

Muskuļa spēks ir maksimālais spēka daudzums, ko muskulis spēj attīstīt, lai pārvarētu kādu pretestību (Srinivas-Shankar et al., 2010).

Indivīda spēku nosaka kontrakcijā iesaistīto muskuļu šķiedru šķērsriezuma laukums un noteiktā spēka intensitāte. Ļoti svarīga ir arī muskuļu šķiedru attiecība. Personas, kurām ir vairāk I tipa (lēnās oksidatīvās) muskuļu šķiedras, būs relatīvi vājākas par tām, kurām dominē II tipa (ātrās glikolītiskās) muskuļu šķiedras (Stockton et al., 2011).

1.1.2.3.Noteikšana

Aerobās darbaspējas iespējams noteikt, izmantojot maksimālā skābekļa parāda metodi. Šajā metodē tiek noteikts skābekļa parāds - starpība starp skābekļa pieprasījumu un skābekļa patēriņu. Skābekļa minūtes pieprasījums norāda, cik daudz skābekļa nepieciešams slodzes veikšanai ar noteiktu jaudu (W) vienas minūtes laikā (Noordhof et al., 2010).

Wingate tests tiek veikts uz veloergometra. Sastāv no noteikta laika intervāla pedalēšanas maksimālā ātrumā, pārvarot noteiktu pretestību (W). Šajā testā tiek noteikta maksimālā jauda, anaerobā kapacitāte un anaerobais nogurums, kas rāda, cik daudz enerģijas patērēts no testa sākuma līdz beigām. Pirms šī testa parasti tiek veikta iesildīšanās vismaz 5 minūtes, lai izvairītos no iespējamām traumām. Iesildīšanās laikā tiek izpildīti 2 vai 3 „sprinti”, lai nodrošinātu to, ka ķermenis ir gatavs īsām un intensīvām slodzēm. Pēc iesildīšanās ir vienas minūtes pauze, un tad sākas tests. Testa laikā 30 sekundes, pārvarot noteiktu pretestību, jāpedalē maksimālā ātrumā (Hachana et al., 2011).

1.2. Slodzes tolerances tests

Slodzes tolerances tests ir neinvazīva izmeklējumu metode, kas tiek izmantota klīniskos izmeklējumos un atlētu fizisko darbaspēju noteikšanai (Albouaini et al., 2007).

Tests sniedz novērtējumu par plaušu, sirds un asinsvadu, neirofizioloģisko un skeleta muskuļu sistēmām, kas nav pilnvērtīgi atspoguļotas, veicot atsevišķus izmeklējumus. Iegūtie dati tieši atspoguļo uzņemto skābekļa, izdalīto ogļskābās gāzes daudzumu, elpošanas minūtes tilpumu, sirds frekvences, asinsspiediena un sistoles tilpuma datus. Netieši var iegūt informāciju par sirds minūtes tilpumu, anaerobo sliekšni, plaušu reziduālo tilpumu un skābekļa pulsu (Bowen et al., 2012).

1.2.1. Skābekļa maksimālais patēriņš

Skābekļa maksimālais patēriņš ir augstākais izmantotais skābekļa tilpums slodzes tolerances testa laikā, kas norāda uz indivīda sasniegto slodzes maksimumu. Šis rādītājs ir vislabākais, lai noteiktu slodzes toleranci. To mēra mililitros uz ķermeņa masas kilogramu minūtē (Hoffman, 2014). Parasti fiziski neaktīviem cilvēkiem, kļūstot vecākiem, šis rādītājs samazinās par aptuveni 8% - 10% desmit gados, bet trenētiem indivīdiem par aptuveni 5% gadā. Tomēr jebkurā vecumā vīriešu skābekļa maksimālais patēriņš ir par 10% - 20% lielāks nekā sievietēm, lielāka hemoglobīna, muskuļu masas daudzuma un sistoles tilpuma dēļ (Akalan et al., 2004).

1.2.2. Skābekļa pulss

Skābekļa pulss ir skābekļa daudzums, kas tiek piegādāts audiem katra sirds sitienu laikā (Lim et al., 2005).

Tas ir atkarīgs no sistoles tilpuma, skābekļa tilpuma atšķirības starp arteriālajām un venozajām asinīm un no skābekļa maksimālā patēriņa. To iegūst, izdalot skābekļa maksimālo patēriņu ar sirds frekvenci (Oliveira et al., 2011).

1.2.3. Anaerobais sliekšnis

Fiziskā slodze prasa tūlītēju iekššūnas ATF noārdīšanos, kā augstas enerģijas fosfāta avotu. ATF pārsvarā tiek resintezēts aerobi, oksidējot glikogēnu un taukskābes mitohondrijos. Kad aerobais metabolisms nav pietiekams ATF avots, ieslēdzas anaerobais citoplazmatiskais metabolisms, kas no piruvāta un pienskābes nelielā daudzumā ražo ATF (Albouaini et al., 2007). Šajā procesā ievērojami paaugstinās laktāta produkcija, kā arī laktāta koncentrācija

asinīs. Brīdis, kurā aerobais metabolisms vairs nevar ražot ATF un tiek pieslēgts anaerobais metabolisms tiek saukts par anaerobo sliekšni (Peinado et al., 2014).

1.2.4. Sirds minūtes tiplums

Sirds minūtes tiplums ir asins daudzums litros, ko sirds izsviež vienas minūtes laikā no kreisā kambara. Tā kā asinis apgādā muskuļus ar skābekli un dažādām barības vielām, tas ir ļoti svarīgs parametrs slodzes laikā (Jean-Louis, 2008).

Slodzes tolerances testa laikā sirds minūtes tiplums netiek noteikts tieši. Tas tiek aprēķināts un ir tieši atkarīgs no sirdsdarbības frekvences un sistoles tipluma (Milani et al., 2006).

1.2.5. Plaušu ventilācija

Plaušu ventilācija ir gaisa tiplums litros, kas tiek ieelpots vai izelpots vienas minūtes laikā. To aprēķina, sareizinot elpošanas frekvenci un elpošanas tiplumu (Nunn, 1987). Miera apstākļos elpošanas tiplums ir aptuveni 500 mililitri, bet elpošanas frekvence no 12 līdz 15 reizēm minūtē, kas veido plaušu ventilāciju no 6 litriem minūtē līdz 7,5 litriem minūtē (West, 2012). Slodzes laikā atlētu elpošanas frekvence var pieaugt līdz 60 vai pat 70 reizēm minūtē, bet elpošanas tiplums līdz 2 litriem vai pat vairāk, kas paaugstina plaušu ventilāciju līdz 160 litriem minūtē, taču labi trenētiem aerobās slodzes atlētiem tā var pieaugt līdz pat 200 litriem minūtē (McArdle et al., 2010).

1.2.6. Skābekļa un ogļskābās gāzes ventilācijas ekvivalents

Ventilācijas ekvivalentu skābeklim raksturo plaušu ventilācijas attiecība pret skābekļa patēriņu, izsaka kā ieelpotā gaisa daudzums litros pret patērētā skābekļa litru vienā minūtē. Miera stāvoklī tas var būt no 23 līdz 28 litriem ieelpotā gaisa pret patērētā skābekļa litru, vieglas slodzes laikā tas var būtiski nemainīties (Kenney et al., 2015), taču submaksimālas slodzes laikā tas var sasniegt aptuveni 55% no maksimālā skābekļa patēriņa (VO_{2max}) (McArdle et al., 2010).

Ventilācijas ekvivalentu ogļskābai gāzei raksturo plaušu ventilācijas attiecība pret saražotās ogļskābās gāzes tiplumu. Mērenas slodzes laikā šis rādītājs paliek relatīvi konstants, jo plaušu ventilācijas un aerobā metabolisma aktivitātes dēļ tiek likvidēta saražotā ogļskābā gāze šūnu elpošanas laikā (McArdle et al., 2006).

1.2.7. Ventilācijas – perfūzijas attiecība

Plaušu perfūzija norāda asiņu daudzumu litros, kāds tiek pievadīts plaušu asinsritē. Tas ir vienāds ar asiņu daudzumu litros, kāds tiek izgrūsts no sirds labā kambara (Prange, 2012).

Optimālās miera stāvokļa vērtības alveolārai ventilācijai, kas ir daļa no kopējās ventilācijas un veido aptuveni 70% no tās, ir 4 litri minūtē un plaušu asins plūsmi, lai tās būtu pietiekoši apgādātas ar asinīm jeb perfuzētas, ir 5 litri minūtē, tātad ventilācijas un perfūzijas attiecība ir 0,8, kas nepieciešams, lai notiktu efektīva gāzu maiņa (Nunn, 1987). Taču normālos apstākļos ventilācijas un perfūzijas attiecība miera stāvoklī variē no 0,6 līdz 3 (Bullock et al., 2001).

Paaugstinātu ventilācijas un perfūzijas attiecību izraisa pārmērīga ventilācija vai nepietiekama asins piegāde plaušām. To veicina arī slodze, kuras rezultātā palielinās gan plaušu ventilācija, gan sirds minūtes tilpums.

Tajās plaušu zonās, kur viens parametrs ir ievērojami lielāks nekā otrs (ventilācija par perfūziju vai otrādi), alveolārais un kapilārais skābekļa spiediens ir augsts, bet skābekļa uzņemšana asinīs ir minimāla skābekļa – hemoglobīna disociācijas līknes plato fāzes dēļ (Bullock et al., 2001).

1.2.8. Rezultātu interpretēšana

Slodzes tolerances tests atspoguļo sirds un plaušu kapacitātes, asiņu spēju audiem piegādāt skābekli un izvadīt no tiem CO₂ (Forman et al., 2010). Testu parasti veic, lai noskaidrotu, vai pacientam nav kāda sirds slimība, elpošanas traucējumi, piemēram, aizdusa, lai noskaidrotu funkcionālo kapacitāti, lai noteiktu pēcooperācijas terapiju un fizikālās terapijas slodzes līmeni (Milani et al., 2006).

1.2.9. Testa nepilnības

Kaut gan testa rezultāti ir ticami un pielietojami gan medicīnā, gan sportā, var rasties dažas kļūdas. Testa vadītājam ir jābūt ļoti labi apmācītam un jāveic izpildītāja instruēšana par testa norisi. Jāspēj orientēties nolasītajos datos, vai ar aprīkojumu nav kāda kļūme, piemēram, mutes maska nav pārāk vaļīga, vai visi elektrodi pievienoti pareizi (Chatterjee et al., 2013). Taču ne tikai testa vadītājs nosaka pareizu rezultātu. Slodzes tolerances testa rezultātus un to interpretāciju var ietekmēt arī izpildītāja skeleta muskuļu, kardiopulmonārās vai metabolisma traucējumi (Plowman, Smith, 2008).

1.3. Fizioloģiskā adaptācija aerobām slodzēm

Fizisko slodžu ietekmē, organisms veic dažādas pielāgošanās, kas ļauj funkcionēt un veikt atbildes reakcijas uz kairinājumiem daudz efektīvāk (Hoffmann, 2014). Šādi pielāgojumi katram indivīdam izpaužas atšķirīgā laikā, un tie ir atkarīgi no ietekmētajām bioloģiskajām sistēmām, taču aptuveni pēc 12 nedēļām jau novērojamas noturīgas adaptācijas izpausmes.

Aerobie treniņi nodrošina izmaiņas sirdsdarbības ritmā, sistoles tilpumā, sirds minūtes tilpumā, plaušu kapacitātē, hemoglobīna līmenī un asinsspiedienā.

1.3.1. Sistoles tilpums

Sistoles tilpums ir asins daudzums mililitros, kas tiek izgrūsts no sirds kreisā kambara vienas kontrakcijas laikā. Ilgstoši aerobie treniņi nodrošina šī parametra ilgstošu paaugstināšanos, jo diastoles laikā kreisais kambaris pilnvērtīgāk piepildās ar asinīm. Arī cirkulācijā nonāk vairāk asiņu, jo ir palielināts asins plazmas daudzums. Pat tikai pēc aptuveni nedēļu ilgiem aerobiem treniņiem asiņu apjoms var pieaugt pat par 0,5 litriem.

1.3.2. Sirds ritms miera stāvoklī

Trenētiem atlētiem sirds frekvence miera stāvoklī ir ievērojami zemāka nekā netrenētiem indivīdiem. To nodrošina lielāks sistoles tilpums, kas veicina sirds muskuļa sieniņu stiepšanos. Līdz ar to sirds muskuļa sieniņas kļūst elastīgākas, bet pati sirds daudz izturīgāka. Šādai sirdij arī kontrakcijas ir daudz spēcīgākas, kas nodrošina arī asinsvadu sieniņu elastīguma un izturības palielināšanos (Davis et al., 2001). Paaugstinātais skābekļa daudzums, kas tiek piegādāts muskuļiem, nodrošina atlēta augstākas fiziskās darbaspējas, veicot slodzi (Lim et al., 2005).

1.3.3. Sirds minūtes tilpums

Sirds minūtes tilpums ir asins daudzums litros, kas tiek izgrūsts no sirds vienas minūtes laikā. To aprēķina, sareizinot sirdsdarbības frekvenci un sistoles tilpumu (Jean-Louis, 2008). Netrenēta indivīda sirds minūtes tilpums ir aptuveni 15 līdz 20 litri minūtē, bet trenētam atlētam – 20 līdz 25 litri minūtē. Taču trenētiem izturības atlētiem tas var sasniegt pat 40 litrus minūtē (Kenney et al., 2012).

Pie vienādas slodzes trenētai personai maksimālais sirdsdarbības ritms var būt mazāks, nekā netrenētam cilvēkam, taču sirds minūtes tilpums tāpat būs ievērojami lielāks. To nosaka

atšķirības sistoles tilpumā, kas trenētiem indivīdiem arī ir lielāks. Tomēr gan sirds minūtes tilpums, gan sistoles tilpums samazinās, kļūstot vecākam (Plowman, Smith, 2008).

1.3.4. Skābekļa maksimālais patēriņš

Skābekļa maksimālais patēriņš ir skābekļa daudzums mililitros, ko ķermenis var patērēt minūtes laikā (Lim et al., 2005). To mēra mililitros uz ķermeņa masas kilogramu minūtē. Miera stāvoklī skābeklis muskuļos tiek patērēts ļoti mazā daudzumā, bet, kad ķermenis nonāk stresa apstākļos vai arī slodzes ietekmē, mitohondrijos tiek nogādāts daudz vairāk skābekļa, lai tie veidotu papildus ATF enerģiju. Aptuvenā vērtība vīriešiem ir 45 ml/kg/min, bet sievietēm 40 ml/kg/min (Norman et al., 2008).

Mitohondriji izmanto skābekli, lai veidotu ATF enerģiju. Paaugstinātais skābekļa maksimālais patēriņš nodrošina oksidatīvo enzīmu ievērojamu skaita palielināšanos. Savukārt tas veicina mitohondriju palielināšanos gan skaita, gan izmēra ziņā (Oliveira et al., 2011).

Pat pēc 8 – 12 nedēļu ilgiem aerobiem treniņiem šis rādītājs ievērojami paaugstinās. Netrenētiem indivīdiem pēc aptuveni 6 mēnešu aerobiem treniņiem tas var pieaugt no 15% - 20%. Taču visiem indivīdiem pēc 25 gadu vecuma skābekļa maksimālais patēriņš samazinās par aptuveni 1% gadā (Akalan et al., 2004).

1.3.5. Plaušu kapacitāte

Ne tikai no asins daudzuma cirkulācijā ir atkarīga skābekļa piegāde audiem. Skābeklis tiek absorbēts plaušās, tāpēc plaušu kapacitāte to būtiski nosaka (Plowman, Smith, 2008).

Totālā plaušu kapacitāte ir aptuveni 6000 mililitri vīriešiem un nedaudz mazāk sievietēm. Kopumā plaušu tilpumi un kapacitātes treniņu rezultātā ievērojami nemainās. Vitālā kapacitāte – gaisa tilpums, kas tiek maksimāli izelpots pēc forsētas ieelpas, – nedaudz palielinās. Reziiduālais tilpums – gaisa tilpums, kas paliek plaušās, - mazliet samazinās. Kopumā totālā plaušu kapacitāte nemainās. Arī elpošanas tilpums – gaisa tilpums, ko ieelpo vai izelpo vienā normālā ieelpā vai izelpā, - miera stāvoklī nemainās. Tas aerobo treniņu rezultātā palielinās fiziskās slodzes laikā (Davis et al., 2001).

1.3.6. Hemoglobīna līmenis

Sarkanie asins ķermenīši jeb eritrocīti satur hemoglobīnu un ar asins cirkulācijas palīdzību transportē to pa ķermeni. Katrs eritrocīts satur aptuveni 250 miljonus hemoglobīna molekulas, kas spējīgas pārnēsāt skābekli (Wilmore, Costill 2004). Visvairāk skābeklis audiem tiek piegādāts tieši šādā veidā un tikai ļoti niecīga daļa tiek transportēta ar plazmas palīdzību, jo skābeklis tajā slikti šķīst (Oliveira et al., 2011).

Hemoglobīna līmenis asinīs vīriešiem ir aptuveni 14,3 grami un 100 ml asiņu, bet sievietēm 13,9 grami uz 100 ml asiņu (Norman et al., 2008).

Aerobo treniņu rezultātā hemoglobīna līmenis pieaug, un palielinās skābekļa pārneses spējas. Hemoglobīns var pieaugt pat par 20%. Taču, kaut gan hemoglobīna daudzums palielinās, tā koncentrācija var samazināties, jo arī asins plazma, kas galvenokārt sastāv no ūdens, tiek producēta vairāk (Steiner, Wehrlin, 2011).

1.3.7. Asinsspiediens

Asinsspiedienu atspoguļo divi galvenie parametri – sistoliskais un diastoliskais spiediens. Sistoliskais spiediens norāda uz spēku, kāds tiek radīts artēriju sienām kontrakciju laikā. Diastoliskais spiediens rāda spēku, kurš rodas sirds relaksācijas jeb sirds papildīšanās fāzes laikā (Norman et al., 2008).

Fiziskās slodzes rezultātā diastoliskais spiediens paaugstinās nedaudz, bet sistoliskais spiediens pieaug ievērojami. Regulāru treniņu rezultātā šo pieaugumu ir iespējams samazināt. Sistoliskais spiediens samazinās par aptuveni 11 mm/Hg, bet diastoliskais par 8 mm/Hg. Treniņu rezultātā palielinās arī artēriju sieniņu elastība un samazinās holesterola līmenis asinīs (Aberberga-Augškalne, 2002).

1.4. Fizioloģiskā adaptācija anaerobām slodzēm

Anaeroba fiziska slodze tiek balstīta uz augstas intensitātes, īsiem treniņu atkārtojumiem. Tās laikā netiek patērēts skābeklis, lai veidotu ATF enerģiju.

Atlēta, kurš nodarbojas ar anaerobiem treniņiem, organisms veic dažādas adaptīvas izmaiņas gan kardiovaskulārajā sistēmā, gan endokrīnajā sistēmā, gan muskuļu audos (Davis et al., 2001).

1.4.1. Muskuļu šķiedras

Skeleta muskuļi sastāv no I un II tipa muskuļu šķiedrām. I tipa muskuļu šķiedras ir lēnās oksidatīvās, kas nodrošina aerobo aktivitāti, ražo enerģiju oksidatīvās fosforilēšanās ceļā, un nogurums iestājas lēni. IIA tipa muskuļu šķiedras ir ātrās, oksidatīvās-glikolītiskās, kas ražo enerģiju oksidatīvās fosforilēšanās ceļā, bet nogurums iestājas ātrāk nekā I tipa šķiedrās, jo kontrakcijas ātrums ir ātrs. IIB tipa muskuļu šķiedras ir ātrās glikolītiskās, kas ražo enerģiju anaerobās glikolīzes ceļā, ir ātri nogurdināmas, bet attīsta ātru un spēcīgu kontrakciju (Kin-İşler et al., 2008).

Atlētiem, kuri nodarbojas ar anaerobām slodzēm, procentuāli muskuļos būs vairāk II tipa šķiedru, jo šādu slodžu treniņi veicina ātro muskuļu šķiedru pieaugumu (Peinado et al., 2014).

1.4.2. Endokrīnā sistēma

Anaerobie treniņi palielina dažu glikolītisko enzīmu aktivitāti no 10% līdz pat 25%. Vislabāk izpētītie šāda veida enzīmi ir fosforilāze, fosfofruktokināze un laktāta dehidrogenāze. Šie enzīmi palīdz noārdīt fosfokreatīnu, sintezēt un noārdīt ATF, kā arī noārdīt glikozi, lai veidotu laktātu (Kenney et al., 2012).

Gan fosforilāze, gan fosfofruktokināze ir svarīgas ATF ražošanā anaerobajā slodzē, tad šādi treniņi var palielināt glikolītisko kapacitāti un ļaut muskuļiem uzturēt lielāku sasprindzinājumu ilgāku laika brīdi (Wilmore, Costill, 2004).

Lai veicinātu glikozes uzņemšanu muskuļos, ir nepieciešams insulīns, ko izdala aizkuņģa dziedzera Langerhansa saliņu beta šūnas. Paaugstinās arī testosterona līmenis asinīs treniņu laikā, un tas ir ļoti nozīmīgs muskuļu masas pieaugumā. Epinefrīns un norepinefrīns sagatavo šūnas glikozes izmantošanai enerģijas ražošanā, paaugstina sirdsdarbību, asinsspiedienu un elpošanas frekvenci, pielāgojot tos fiziskai slodzei. Glikagons un kortizols nodrošina ogļhidrātu un tauku noārdīšanu, lai ķermenim pietiktu enerģijas visas fiziskās slodzes laikā (McArdle et al., 2006).

1.4.3. Laktāta sliexnis

Pienskābe (laktāts) ir vielmaiņas galaprodukts, kas anaerobās slodzes rezultātā uzkrājas asinīs. Normāls laktāta līmenis miera stāvoklī ir 1-2 mmol/l.

Laktāta sliexnis jeb anaerobais maiņas sliexnis ir tas brīdis enerģijas producēšanas sistēmā, kad, palielinoties slodzes intensitātei, enerģijas ražošana beidzas jauktajā režīmā (tiek ražota gan aerobi, gan anaerobi), bet tiek sākta ražot tikai anaerobi (Rynders et al., 2011).

Pie zemas intensitātes treniņiem laktāts tiek saražots tādā daudzumā, lai to varētu transportēt un tas neuzkrātos asinīs, taču pie augstas intensitātes anaerobiem treniņiem, tas tiek ražots daudz vairāk, un asinis to nespēj transportēt pietiekamā ātrumā, tādēļ tas uzkrājas un rodas noguruma sajūta, sāpes muskuļos.

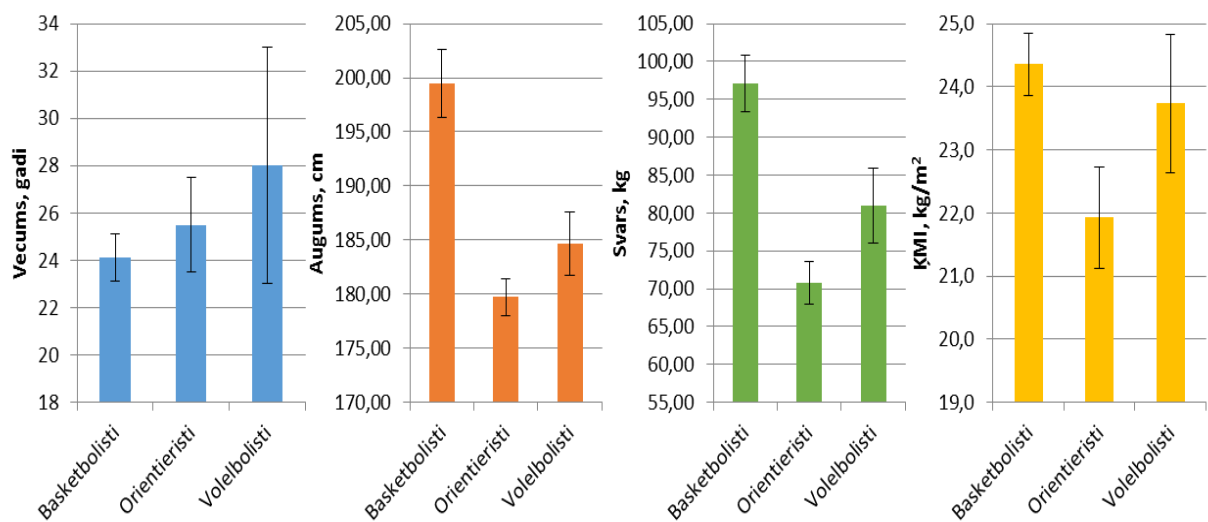
Šī sliexņa paaugstināšana nodrošina spēju ilgāk trenēties ar lielāku intensitāti, jo tiek novērsta acidoze muskuļos (Messonier et al., 2013).

1.4.4. Neirālā sistēma

Motorā garoza smadzenēs nodrošina atbildi uz kairinājumu jeb muskuļu kontrakciju, kas veido kustību. Aerobie treniņi veicina motorās garozas aktivitāti. Paaugstinātā aktivitāte veicina kontrakcijās iesaistīto motoro vienību daudzumu, izraisot biežāku saraušanās frekvenci. Straujie motorā nerva signāli muskuļu šķiedrai veicina muskuļu hipertrofiju un paaugstinātu jutību uz iestiepumu. Abi pielāgojumi uzlabo muskuļu spēku un jaudu (Peinado et al., 2014).

2. Metodes

Pētījumā iesaistītās personas. Pētījumā piedalījās 20 veselas personas – 9 basketbolisti - vīrieši, ar vidējo vecumu 24 ± 1 gads, vidējo garumu $199,44 \pm 3,14$ cm, vidējo svaru $97,11 \pm 3,69$ kg, vidējo KMI $24,4 \pm 0,5$ kg/m^2 , 8 orientieristi – vīrieši, ar vidējo vecumu 26 ± 2 gadi, ar vidējo garumu $179,75 \pm 1,71$ cm, vidējo svaru $70,81 \pm 2,79$ kg, vidējo KMI $21,9 \pm 0,8$ kg/m^2 , 3 volejbolisti – vīrieši ar vidējo vecumu 28 ± 5 gadi, vidējo garumu $184,67 \pm 2,91$ cm un vidējo svaru $81,00 \pm 4,93$ kg, vidējo KMI $23,7 \pm 1,1$ kg/m^2 (1. attēls). Basketbolistu un volejbolistu ķermeņa masas indekss ir ievērojami augstāks par orientieristu ķermeņa masas indeksu,



1. attēls. Pētījumā iesaistīto personu sporta veidu grupu vidējie vecuma, auguma, svara un ķermeņa masas indeksa rādītāji.

Figure 1. Average age, height, weight and body mass index among all participants from three different sport disciplines.

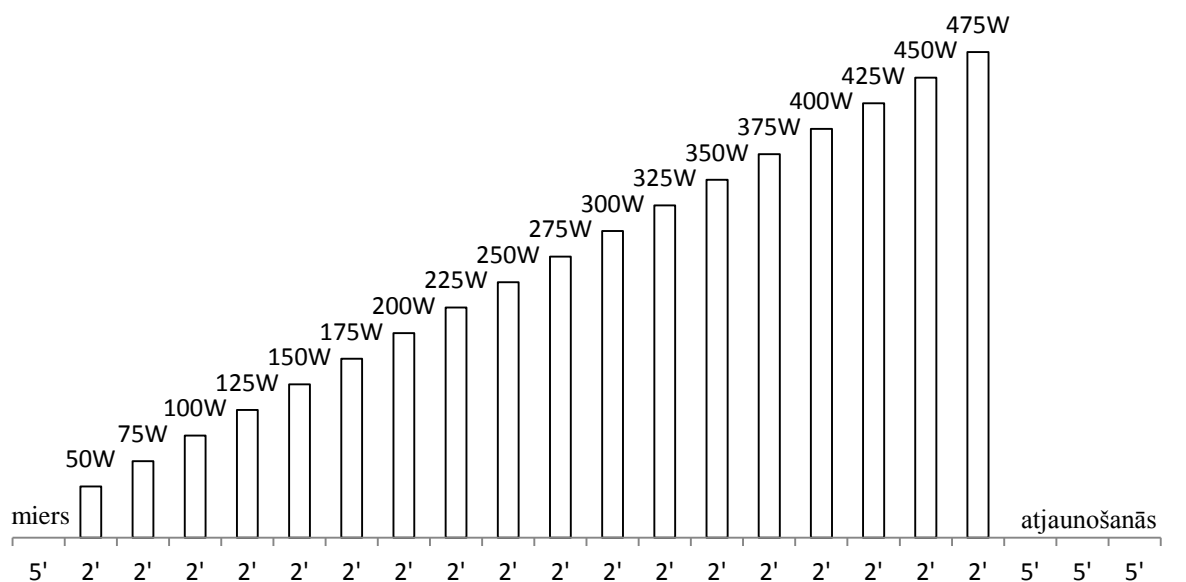
Personas ir uzskatāmas par fiziski aktīvām un trenētām, jo ar konkrēto fizisko aktivitāti nodarbojas profesionāli (basketbolisti) vai ir valsts izlases dalībnieki (orientieristi, volejbolisti), treniņiem notiekot ilgstoši un plānveidīgi. Pētījums norisinājās Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultātes Cilvēka un dzīvnieku fizioloģijas katedrā 2014. gada 12. – 26. martā un 2015. gada 27. februārī līdz 28. martā.

Pētījumā izmantotās iekārtas. Veloergometriskas slodzes testā tika noteikta sirdsdarbības frekvence (sitieni/min), plaušu ventilācija (L/min), elpošanas frekvence (reizes/min), sistoles tilpums (mL), sirds minūtes tilpums (L/min), ieelpotais skābekļa tilpums (mL/min), izelpotais oglekšābās gāzes tilpums (mL/min), asinsspiediens (mmHg), kas tika mērīts ik pēc 2 minūtēm. Parametru noteikšanai izmantota kardiopulmonārā ierīce

(MasterScreen CPX, Vācija), bet slodze veikta ar veloergometru (Ergoline ergoselect 100/200, Vācija).

Pētījuma protokols. Katra persona uz veloergometra veica vienu kāpjošas slodzes testa programmu. Testu personas veica līdz atteicei.

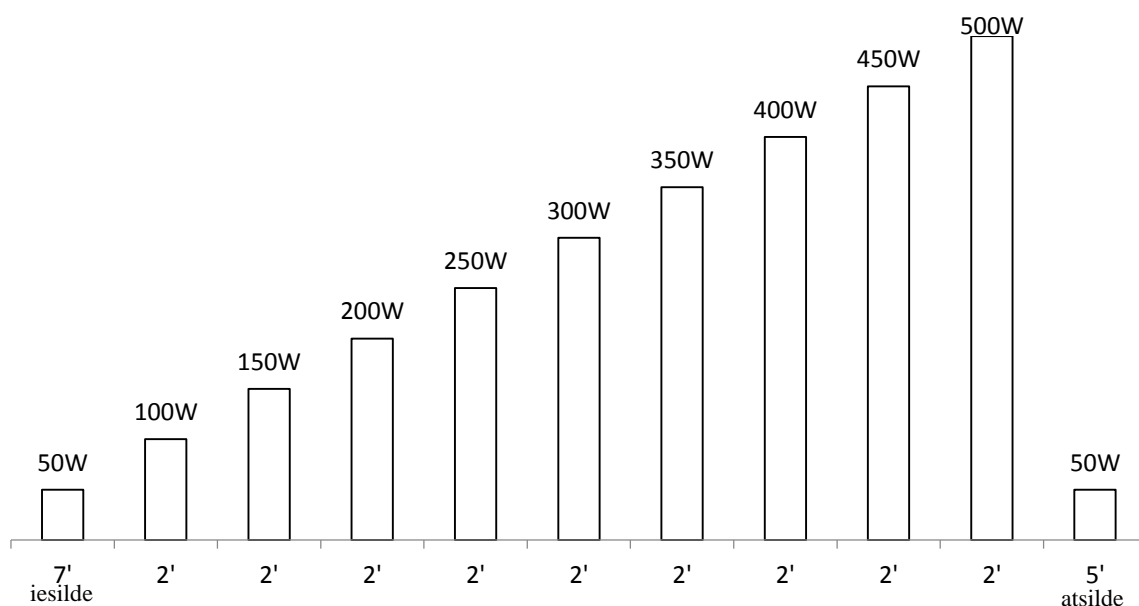
Slodzes sākumā tika veikts gāzu maiņas, kā arī sirds un asinsrites parametru pieraksts miera apstākļos piecas minūtes. Pēc miera pieraksta sākās slodze ar vienādu jaudu gan sievietēm, gan vīriešiem, turpinot nepārtraukti reģistrēt kardiorespiratorās sistēmas raksturojošos parametrus. Sākuma slodze bija 50W, tā palielinājās katras 2 minūtes par 25W līdz indivīda atteicei. Noteiktais pedalēšanas ātrums bija 50-60 apgriezieni minūtē. Ik pēc 2 minūtēm tika mērīts asinsspiediens. Pēc atteikšanās turpināt slodzi, sekoja 15 minūšu pasīvās atjaunošanās periods, kura laikā personas – orientieristi un volejbolisti - nekustīgi sēdēja uz veloergometra (2. attēls).



2. attēls. Pētījuma gaitas volejbolistiem un orientieristiem grafisks atspoguļojums. 2', 5' – minūtes.

Figure 2. Experimental design for volleyball players and orienteers. 2', 5' – minutes.

Slodzes sākumā tika veikta iesildīšanās, veicot minimālu slodzi, tas ir, 50W, septiņu minūšu garumā. Tās laikā tika veikts gāzu maiņas, sirds un asinsrites parametru pieraksts. Pēc iesildīšanās sākās slodze, kas palielinājās katras 2 minūtes ik par 50W. Ik pēc 2 minūtēm tika mērīts asinsspiediens. Noteiktais pedalēšanas ātrums 50-60 apgriezieni minūtē. Pēc atteikšanās turpināt slodzi, bija 5 minūšu atsildīšanās periods, kurā basketbolistu pedalēšana turpinājās pie 50W lielas slodzes (3. attēls).



3. attēls. Pētījuma gaitas basketbolistiem grafisks atspoguļojums. 2', 5' – minūtes.

Figure 3. Experimental design for basketball players. 2', 5' – minutes.

Datu apstrāde. Visi parametri tika reģistrēti ik pēc 5 sekundēm. Lai iegūtu konkrētajā slodzē jeb jaudā iegūtos datus, tika rēķināti vidējie rādītāji – viens miera vai iesildīšanās periodā, slodzes laikā katrā pieaugošajā jaudā un divi atjaunošanās vai atsilīšanās periodā. Maksimālā sirdsdarbības frekvence iegūta pēc formulas :

220 – indivīda vecums gados

Ventilācijas – perfūzijas attiecība aprēķināta pēc formulas:

$$V'E / Q_{tc}$$

$V'E$ – plaušu ventilācija litros minūtē, Q_{tc} – sirds minūtes tilpums litros minūtē

Skābekļa ventilācijas ekvivalents iegūts pēc formulas:

$$V'E / V'O_2$$

$V'E$ – plaušu ventilācija litros minūtē, $V'O_2$ – ieelpotais skābekļa daudzums mililitros

Ogļskābās gāzes ventilācijas ekvivalents aprēķināts pēc formulas:

$$V'E / V'CO_2$$

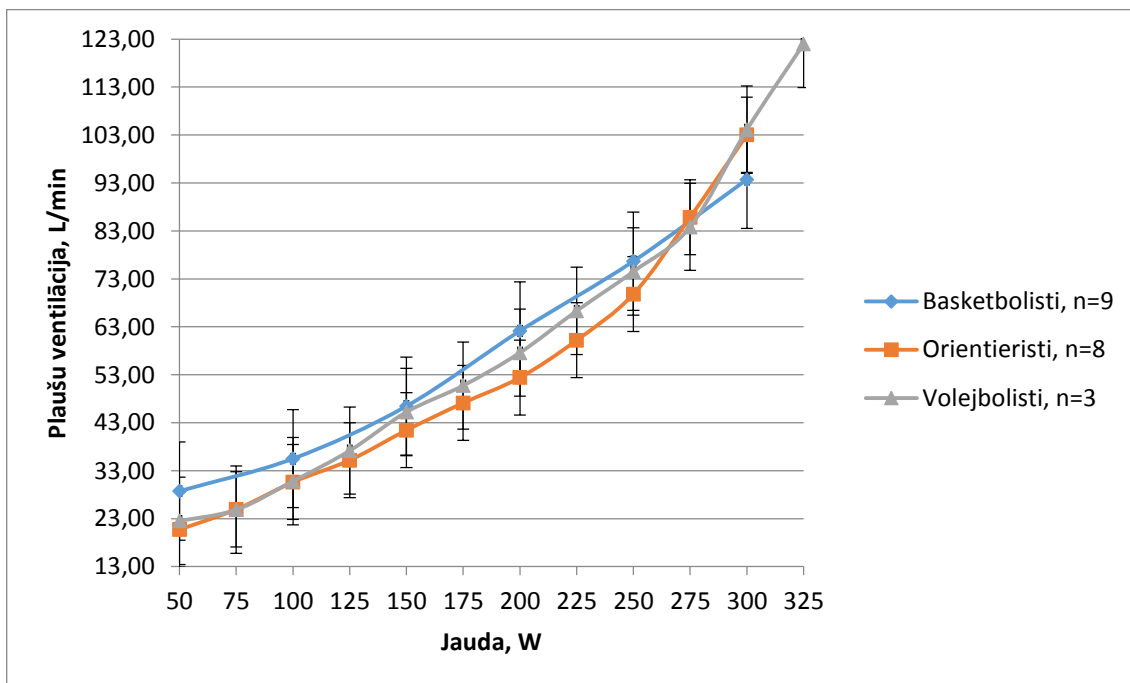
$V'E$ – plaušu ventilācija litros minūtē, $V'CO_2$ – izdalītais ogļskābās gāzes daudzums mililitros

Datu analīze. Datu statistiskajā apstrādē un aprēķiniem ir izmantotas datorprogrammas „MS Excel” un „RStudio”. Statistiskais nozīmīgums kardiorespiratorajiem parametriem tika noteikts, izmantojot regresijas analīzi, t-testu un ANOVA testu. Starpība starp datiem tiek uzskatīta par statistiski būtisku, ja p vērtība ir mazāka par 0,05.

3. Rezultāti un diskusija

3.1. Plaušu ventilācijas izmaiņas slodzes ietekmē

Plaušu ventilāciju raksturo gaisa tilpums, kuru ieelpo vai izelpo vienā minūtē. Personām miera stāvoklī raksturīgā plaušu ventilācija ir 4-15 L/min (Hoffmann, 2014), fiziskās slodzes ietekmē tā var palielināties līdz 140-180 L/min (Plowman, Smith, 2008). Visaugstāko plaušu ventilāciju sasniedz volejbolisti, veicot 325W jaudas slodzi (4. attēls).



4. attēls. Plaušu ventilācija litros minūtē atkarībā no jaudas trīs sporta veidu pārstāvjiem.

Figure 4. The relationship between pulmonary ventilation and load among three specific sport disciplines.

Basketbolistiem 300W jaudas slodzē plaušu ventilācija sasniedza $93,73 \pm 10,22$ L/min, orientieristiem pie tādas pašas jaudas šis rādītājs bija $103,04 \pm 7,82$ L/min, taču volejbolistu augstākais plaušu ventilācijas rādītājs sasniegts pie 325W lielas jaudas – $121,99 \pm 9,02$ L/min.

Veicot datu analīzi, konstatēts, ka plaušu ventilācija ir tieši proporcionāla slodzei. Tas nozīmē, ka, paaugstinoties slodzes jaudai, palielinās plaušu ventilācija. Basketbolistu plaušu ventilācija no minimālās līdz maksimālai slodzei pieauga par 326,15%, bet volejbolistiem un orientieristiem par 496,96% un 541,29%.

Skaitlisko vērtību pieaugums ir statistiski būtisks ($p < 0,05$), kas liecina par to, ka plaušu ventilācija ir atkarīga no veicamās slodzes jaudas. Labi trenētam aerobās slodzes atlētam šis

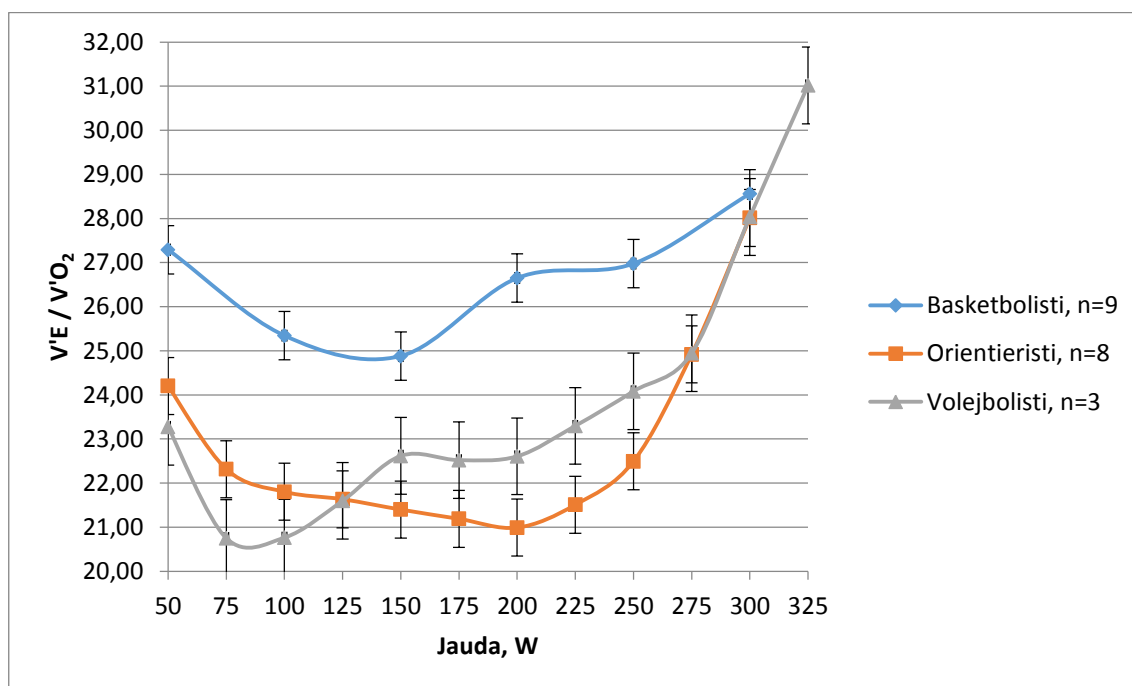
rādītājs pie submaksimālas vai maksimālas slodzes var sasniegt pat 200 L/min (McArdle et al., 2010).

Sasniedzot noteiktu slodzes jaudu (šajā pētījumā tā ir 250W), plaušu ventilācijas palielināšanās vairs nav tieši proporcionāla slodzes jaudai. To rada laktāta koncentrācijas un H^+ koncentrācijas paaugstināšanās asins plazmā. Pazemināts asiņu pH stimulē perifēros ķīmijreceptorus. Tie uz pH pazemināšanos reaģē ātrāk nekā centrālie ķīmijreceptoru, kuri tiek kairināti, veicot zemākas slodzes jaudas, un plaušu ventilācija palielinās straujāk (McArdle et al., 2010).

Elpošanas kapacitāte ir lielāka par to plaušu ventilācijas intensitāti, kāda tiek sasniegta pat indivīda maksimālas slodzes laikā.

3.2. Skābekļa un ogļskābās gāzes ventilācijas ekvivalenta izmaiņas slodzes ietekmē.

Skābekļa ventilācijas ekvivalents raksturo plaušu ventilācijas attiecību pret skābekļa patēriņu (Kenney et al., 2015). Sākoties slodzei, novērojama skābekļa ekvivalenta vērtības samazināšanās, taču, katrai sportistu grupai sasniegto noteiktu slodzi, šī parametra vērtība pieaug (5. attēls).



5. attēls. Skābekļa ventilācijas ekvivalents atkarībā no jaudas trim sporta veidu pārstāvjiem.

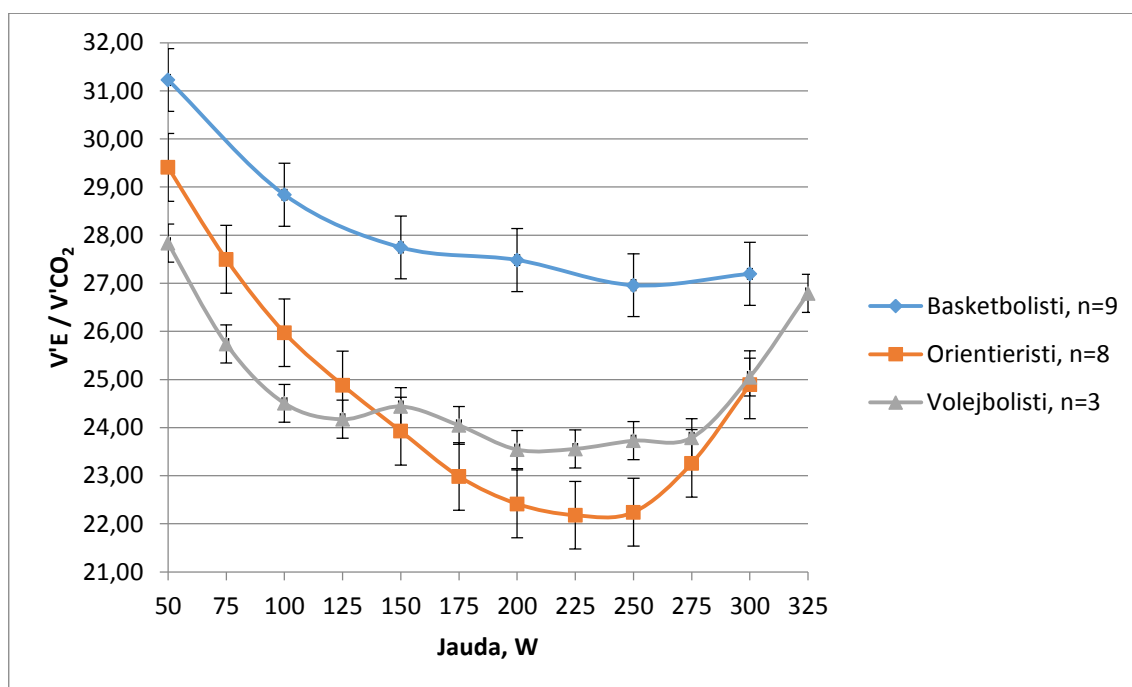
Figure 5. The relationship between ventilation equivalent for oxygen and load among three specific sport disciplines.

Viszemākais skābekļa ventilācijas ekvivalents pie maksimālas jaudas novērots orientieristiem $28,01 \pm 0,82$, veicot 300W lielu slodzi, bet visaugstākais volejbolistiem $31,02 \pm 0,86$, veicot 325W slodzi. Basketbolistiem, veicot 300W slodzi, skābekļa ventilācijas ekvivalents ir $28,56 \pm 0,55$. Tas liecina par to, ka orientieristiem ir vislabāk attīstītas aerobās spējas. Jo efektīvāk tiek izmantots elpošanas laikā uzņemtais skābeklis, jo zemāks skābekļa ventilācijas ekvivalents (Boone, 2014).

Basketbolistu grupas skābekļa ventilācijas ekvivalenta pieauguma stāvums un skaitliskās absolūtās vērtības ir statistiski būtiski atšķirīgas ($p < 0,05$) no volejbolistu un orientieristu grupu šī parametra pieauguma. Orientieristiem skābekļa ventilācijas ekvivalents sāk palielināties tikai tad, kad sasniegta 200W slodze. Basketbolistu ventilācijas ekvivalents sāk palielināties, kad sasniegta 150W slodze, bet volejbolistiem tas notiek, veicot 125W slodzi. Šim parametram palielinoties, samazinās elpošanas laikā uzņemtā skābekļa izmantošanas efektivitāte. Organisms sāk strādāt gan aerobā, gan anaerobā metabolisma režīmā. Arī pēc literatūras datiem viszemākās aerobās darbaspējas ir volejbolistiem. Tās veido 10% no darbaspējām, bet basketbolistiem tās veido 20% no darbaspējām (Wanalass, 2014). Taču volejbolistu un orientieristu skābekļa ventilācijas pieauguma stāvums būtiski neatšķiras ($p > 0,05$), lai gan skaitliskās vērtības statistiski ticami mazākas ($p < 0,05$) ir orientieristiem, līdz sasniedz 275W un 300W jaudu, kad tās neatšķiras.

Uzsākot slodzi, ventilācijas pieaugumu nodrošina elpošanas centra aktivizēšana no impulsiem, kas nāk no nodarbināto muskuļu un cīpslu receptoriem, bet, sasniedzot indivīdam maksimālo slodžu jaudas, plaušu ventilācijas straujo pieaugumu rada impulsācija no perifērajiem un centrālajiem ķīmijreceptoriem un metaboreceptoriem.

Ogļskābās gāzes ventilācijas ekvivalents raksturo plaušu ventilācijas attiecību pret saražotās ogļskābās gāzes tilpumu (McArdle et al., 2006). Pētījumā iesaistītajām personām visaugstākais ogļskābās gāzes ventilācijas ekvivalents novērots, veicot vismazāko jaudu 50W (6. attēls).



6. attēls. Ogļskābās gāzes ventilācijas ekvivalents atkarībā no jaudas trīs sporta veidu pārstāvjiem.

Figure 6. The relationship between ventilation equivalent for carbon dioxide and load among three specific sport disciplines.

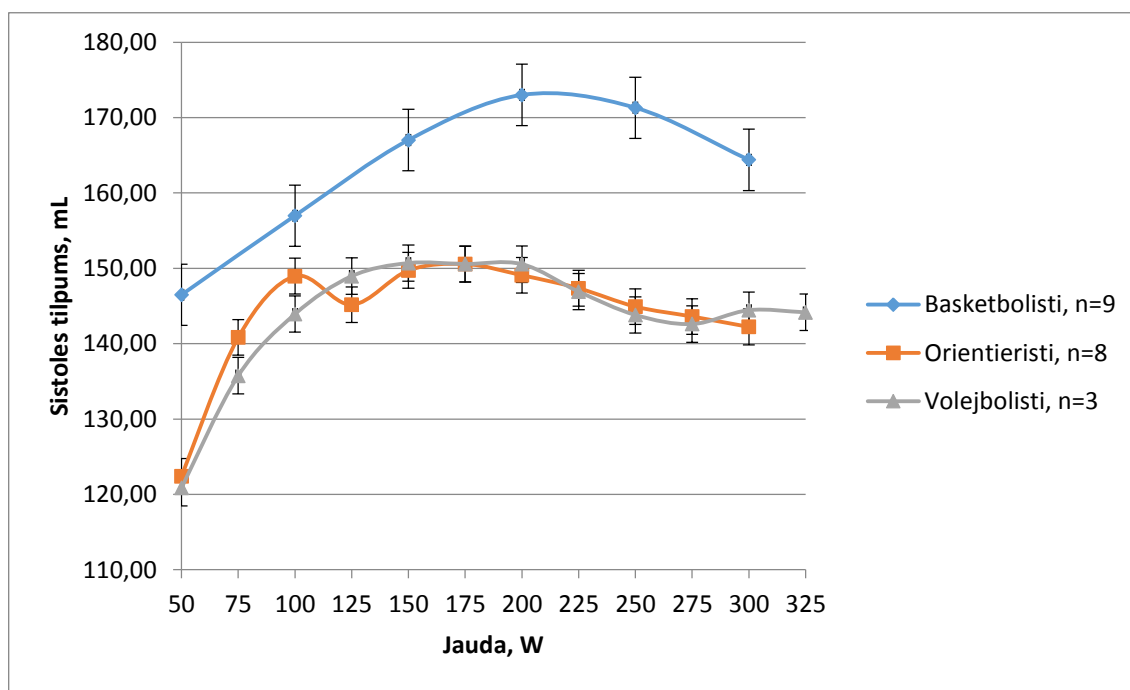
Visu trīs sporta veidu pārstāvjiem slodzes sākumā ar 50W jaudu (basketbolistiem – $31,23 \pm 0,65$, orientieristiem – $33,46 \pm 0,98$ volejbolistiem – $31,16 \pm 0,61$) ogļskābās gāzes ventilācijas ekvivalents samazinās, jo palielinās gan plaušu ventilācija, gan sirds minūtes tilpums, kā rezultātā asinīs palielinās skābekļa koncentrācija, bet plaušu ventilācijas un aerobā metabolisma aktivitātes dēļ tiek likvidēta saražotā ogļskābā gāze šūnu elpošanas laikā (McArdle et al., 2006).

Orienteristu ogļskābās gāzes ventilācijas ekvivalenta samazināšanās slīpums statistiski būtiski neatšķiras no basketbolistu un volejbolistu šī parametra izmaiņu slīpuma ($p > 0,05$), taču basketbolistu un volejbolistu ogļskābās gāzes ventilācijas ekvivalenta pieauguma slīpumi ir būtiski atšķirīgi savā starpā ($p < 0,05$). Visu trīs sporta veidu pārstāvju sasniegtās ogļskābās gāzes ekvivalenta vērtības ir statistiski būtiski atšķirīgas ($p < 0,05$).

Straujš šī parametra pieaugums augstas intensitātes slodzes laikā liecina par to, ka elpošanas sistēma vairs nevar nodrošināt organisma pieprasījumu pēc skābekļa un sāk veidoties laktāts no anaerobā metabolisma (McArdle et al., 2006). Pētījumā parametra pieaugums, veicot lielāko intensitāšu slodzes (275W, 300W un 325W), konstatēts volejbolistiem un orientieristiem, taču basketbolisti vēl šādu slodzes jaudas intensitāti nebija sasnieguši, kuras ietekmē strauji pieaugtu ogļskābās gāzes ventilācijas ekvivalents.

3.3. Sistoles tilpuma izmaiņas slodzes ietekmē

Sistoles tilpums ir asins daudzums mililitros, kas tiek izgrūsts no sirds kreisā kambara vienas kontrakcijas laikā. Miera stāvoklī tā diapazons ir 60 – 100 mL, bet slodzes laikā var palielināties līdz pat 240 mL (Willmore, Costill, 2004). Vismazākais sistoles tilpums novērots, veicot slodzi ar vismazāko jaudu 50W (7. attēls).



7. attēls. Sistoles tilpums mililitros atkarībā no jaudas trīs sporta veidu pārstāvjiem.

Figure 7. The relationship between stroke volume millilitres and load among three specific sport disciplines.

Lielākais sistoles tilpums novērots basketbolistiem, attīstot 200W lielu jaudu $173,01 \pm 4,07$ mL, orientieristiem, veicot 175W slodzes jaudu, sistoles tilpums $150,56 \pm 4,90$ mL, bet volejbolistiem, veicot 150W slodzes jaudu, sistoles tilpums $150,70 \pm 4,44$ mL. Visu trīs sporta veidu pārstāvju sistoles tilpuma skaitliskās vērtības ir statistiski būtiski atšķirīgas ($p < 0,05$), taču šī parametra pieauguma slīpums statistiski būtiski atšķiras starp basketbolistiem un pārējiem diviem sporta veidu pārstāvjiem ($p < 0,05$), bet būtiski neatšķiras ($p > 0,05$) starp volejbolistu un orientieristu grupām. Sistoles tilpums slodzes ietekmē mainās nelineāri – tuvojoties maksimālajam slodžu diapozonam šīs rādītājs samazinās.

Dažādos pētījumos noskaidrots, ka sistoles tilpums var palielināties par 40% - 60% no maksimālās kapacitātes, pēc tam līdz atteicei būtiski tā vērtībām nemainoties (Higginbotham et al., 1986), kas arī novērojams volejbolistu un orientieristu grupām. Taču ir arī pētījumi, kas liecina, ka sistoles tilpums pakāpeniski mainās līdz atteices brīdim (Hermansen et al., 1970), ko var novērot basketbolistu grupai.

3.4. Sirdsdarbības frekvences izmaiņas slodzes ietekmē

Slodzes laikā muskuļiem nepieciešams atbrīvot vairāk enerģijas, lai veiktu efektīvas kontrakcijas un noturētu saspringumu. Viens no veidiem, kā piegādāt skābekli lielākā daudzumā audiem, ir sirds frekvences palielināšana. Miera stāvoklī tā ir 60 – 80 sitieni minūtē, bet slodzes laikā var pieaugt līdz 200 sitieniem minūtē (Hoffmann, 2014). Visaugstākā frekvence novērota pie maksimālās sasniegtās jaudas (8. attēls).



8. attēls. Sirdsdarbības frekvence reizēs minūtē atkarībā no jaudas trīs sporta veidu pārstāvjiem.

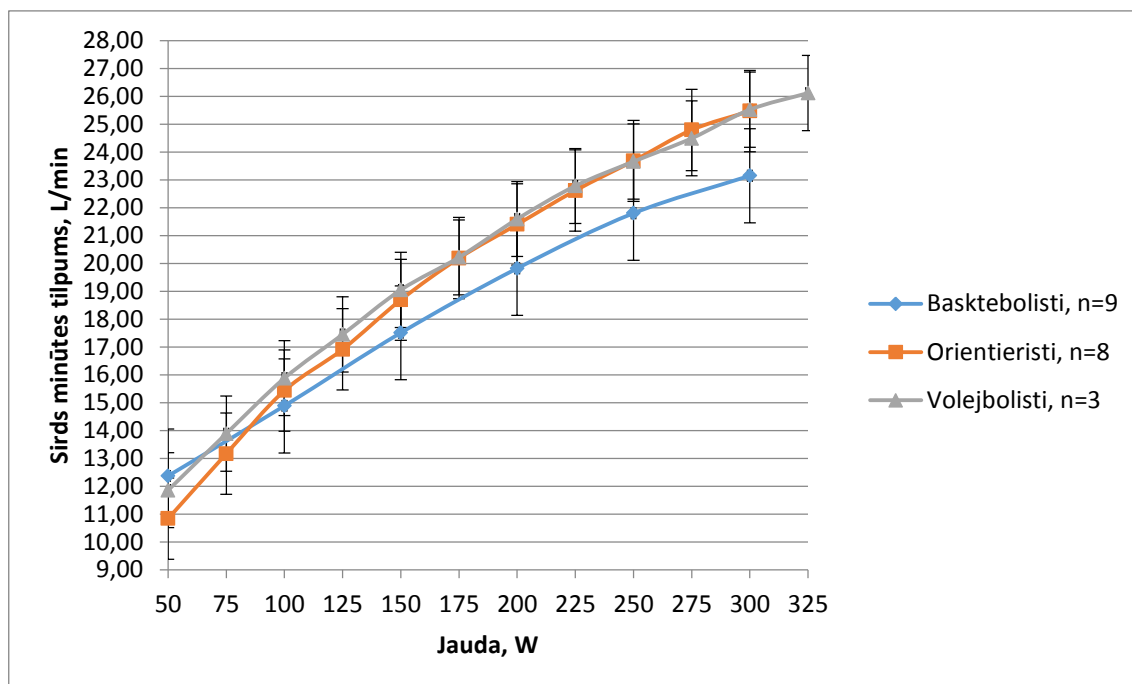
Figure 8. The relationship between heart rate beats per minute and load among three specific sport disciplines.

Visaugstākā sirdsdarbības frekvence novērota volejbolistiem, veicot 325W lielu slodzi – 181 ± 9 reizes/min. Orientieristu lielākais sasniegtais rādītājs reģistrēts, sasniedzot 300W lielu slodzi, 180 ± 10 reizes/min, bet basketbolistiem, veicot tādu pašu slodzi, sirdsdarbības frekvence ir 148 ± 10 reizes/min. Visu trīs sporta veidu pārstāvju konkrētā parametra skaitliskās vērtības ir statistiski būtiski atšķirīgas ($p < 0,05$), tāpat arī sirdsdarbības frekvences pieauguma stāvums ir statistiski būtiski atšķirīgs visām sporta veidu grupām ($p < 0,05$), kas liecina par to, ka sirdsdarbības frekvence ir atkarīga no slodzes jaudas.

3.5. Sirds minūtes tilpuma izmaiņas slodzes ietekmē

Sirds minūtes tilpums ir asins daudzums litros, kas tiek izgrūsts no sirds vienas minūtes laikā. To aprēķina, reizinot sirdsdarbības frekvenci un sistoles tilpumu (Jean-Louis, 2008). Netrenēta indivīda sirds minūtes tilpums slodzes laikā var pieaugt līdz aptuveni 15 - 20 litri

minūtē, bet trenētam atlētam līdz 20-25 litriem minūtē. Taču trenētiem izturības atlētiem tas var sasniegt pat 40 litrus minūtē (Kenney et al., 2012). Vislielākais sirds minūtes tilpums sasniegts, attīstot maksimālu slodzes jaudu (9. attēls).



9. attēls. Sirds minūtes tilpums litros minūtē atkarībā no jaudas trīs sporta veidu pārstāvjiem.

Figure 9. The relationship between cardiac output litres per minute and load among three specific sport disciplines.

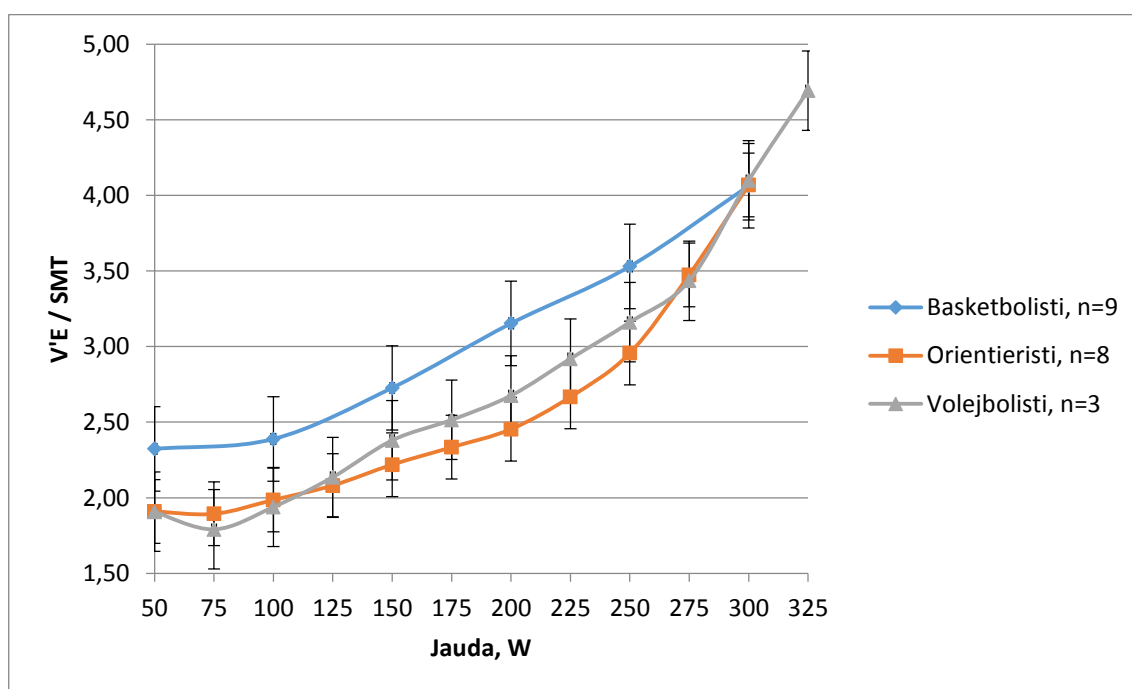
Vislielākais sirds minūtes tilpums tika novērots volejbolistiem, sasniedzot 325W lielu jaudu, $26,11 \pm 1,56$ L/min. Orientieristi pie attīstītās maksimālās jaudas 300W sasniedza $25,47 \pm 1,70$ L/min, bet basketbolistu sirds minūtes tilpums, sasniedzot tādu pašu attīstīto jaudu, bija $23,15 \pm 1,69$ L/min.

Šis rādītājs, tāpat kā plaušu ventilācija, palielinās, paaugstinoties attīstītajai jaudai. Sirds minūtes tilpuma pieauguma stāvums būtiski neatšķiras ($p > 0,05$) visu trīs sporta veidu pārstāvju grupām. Skaitlisko vērtību pieaugums ir statistiski būtisks ($p < 0,05$), kas liecina par to, ka gan pieauguma stāvums, gan šī parametra absolūtās vērtības ir atkarīgas no slodzes jaudas.

Slodzes laikā muskuļiem nepieciešams atbrīvot vairāk enerģijas, lai veiktu efektīvas kontrakcijas un noturētu saspringumu (Hoffmann, 2014). To nodrošina sirds minūtes tilpuma palielināšanās, kas ir sirds frekvences un sistoles tilpuma reizinājums. Volejbolistiem un orientieristiem sirds minūtes tilpums galvenokārt palielinās sirdsdarbības frekvences ietekmē, kura basketbolistiem ir ievērojami zemāka (8. attēls). Basketbolistiem to palielina sistoles tilpums, kas ir statistiski ticami lielāks nekā volejbolistiem un orientieristiem (7. attēls).

3.6. Ventilācijas – perfūzijas attiecības izmaiņas slodzes ietekmē

Ventilācijas – perfūzijas attiecība norāda, cik efektīvi plaušās notiek gāzu apmaiņa. Plaušu ventilācija norāda gaisa daudzumu litros, kāds tiek uzņemts plaušās minūtes laikā, bet plaušu perfūzija norāda asiņu daudzumu litros, kāds tām tiek pievadīts minūtes laikā (Prange, 2012). Miera stāvoklī plaušu ventilācija ir aptuveni 4 L/min, bet sirds minūtes tilpums aptuveni 5 L/min, tātad ventilācijas – perfūzijas attiecība ir 0,8. Taču šī attiecība var svārstīties no 0,6 plaušu pamatnē līdz 3 plaušu galotnē (Bullock et al., 2001). Ventilācijas – perfūzijas attiecība visiem sporta veidu pārstāvjiem palielinājās, palielinoties slodzei (10. attēls).



10. attēls. Ventilācijas – perfūzijas attiecība atkarībā no slodzes jaudas trīs sporta veidu pārstāvjiem.

Figure 10. The relationship between ventilation – perfusion ratio and load among three specific sport disciplines.

Visaugstākā ventilācijas – perfūzijas attiecība novērota, veicot maksimālas slodzes jaudas (300W un 325W). Basketbolistiem pie 300W lielas slodzes tā sasniedza $4,06 \pm 0,28$, orientieristiem pie tādas pašas slodzes - $4,07 \pm 0,20$, bet volejbolistiem slodze sasniedza 325W un ventilācijas – perfūzijas attiecība $4,69 \pm 0,25$.

Šī parametra pieaugums atkarībā no slodzes jaudas ir statistiski būtisks ($p < 0,05$) visām trim sporta veidu grupām, taču starp grupām pieauguma temps ir līdzīgs un būtiski neatšķiras ($p > 0,05$). Savukārt ventilācijas – perfūzijas skaitliskās vērtības ir statistiski būtiski atšķirīgas ($p < 0,05$) attiecībā pret slodzes jaudu, kas liecina par to, ka palielinoties slodzes jaudai, palielinās arī ventilācijas – perfūzijas attiecība.

Ventilācijas – perfūzijas attiecību veido plaušu ventilācija un sirds minūtes tilpums (Nunn, 1987). Kā jau iepriekš tika apskatīts, plaušu ventilācijas paaugstināšanās no minimālās līdz maksimālajai slodzei basketbolistiem ir 326,15%, orientieristiem – 496,96%, bet volejbolistiem – 541,29% un sirds minūtes tilpuma pieaugums ir attiecīgi – 187,13%, 235,01% un 220,26%. Šādā gadījumā lielākā daļa no plaušu ventilācijas laikā uzņemtā skābekļa netiek izmantota, jo plaušu asinsritei tiek pievadīts relatīvi neliels asins tilpums. Tieši šī iemesla dēļ nenotiek arī efektīva gāzu apmaiņa un skābekļa saturs asinīs būtiski nemainās (Bluckburn, 2007).

3.7. Iespējamie pētījuma uzlabojumi

Kā viens no galvenajiem faktoriem, kas varētu uzlabot pētījuma kvalitāti, ir dalībnieku skaita palielināšana katrā grupā. Lai izvairītos no nepareiziem priekšstatiem par slodzes ietekmi uz kardiorespiratorajiem parametriem, varētu izveidot netrenētu indivīdu grupu. Lai uzskatāmi parādītu sieviešu un vīriešu kardiorespiratoro parametru atšķirības slodzes laikā, katrā grupā būtu jāiekļauj arī sievietes.

Tā kā izvēlētie sportisti varētu būt pieraduši pie noteikta veida slodzes, tad varētu veikt divus testus – vienu uz veloergometra, bet otru uz skrejceļa, reģistrējot un analizējot vienādus parametrus.

Secinājumi

1. Kardiorespiratoro funkcionālo spēju adaptācija dinamiskai veloergometriskai slodzei trenētiem, taču dažādu sporta veidu pārstāvjiem noritēja atšķirīgi.
2. Orientieristu sirdsdarbības frekvence sasniedza 96% - 99% no maksimālās sirdsdarbības frekvences, kas liecina par to, ka sasniegta maksimāla slodzes intensitāte. Basketbolistu un volejbolistu sirdsdarbības frekvence sasniedza 80% - 94%, kas liecina par to, ka sasniegta submaksimāla slodzes intensitāte.
3. Submaksimālas vai maksimālas slodzes laikā lielākā daļa no plaušu ventilācijas rezultātā uzņemtā skābekļa netiek izmantota, jo plaušu asinsritei tiek pievadīts reāltīvi neliels asins tilpums, kas izraisa neefektīvu gāzu apmaiņu.
4. Sasniedzot augstas intensitātes slodžu jaudas, orientieristu un volejbolistu elpošanas efektivitāte paaugstinās, ko izraisa neproporcionāli skābekļa patēriņam palielinātā plaušu ventilācija.
5. Basketbolistu individuālie uzrādītie rezultāti ir ļoti atšķirīgi, ko nosaka katra sportista pozīcija laukumā un līdz ar to veicamie uzdevumi, bet orientieristu un volejbolistu individuālie rezultāti ir homogēni.
6. Viszemākais skābekļa ventilācijas ekvivalents pie vienādas slodzes intensitātes novērots orientieristiem, kas liecina par visaugstākajām aerobajām spējām. Basketbolistu aerobo un anaerobo darbaspēju sadalījums ir 20% pret 80%, bet volejbolistiem 10% pret 90%.

Pateicības

Izsaku lielu pateicību savai kursa darba vadītājai docentei Līgai Plakanei par vadīšanu, konsultācijām un diskusijām šī darba tapšanas gaitā.

Literatūras saraksts

1. Aberberga-Augškalne Līga, Fizioloģija rehabilitotologiem, 2002, 215 lpp, 191-200.
2. Akalan C., Kravitz L., Robergs R.R., 2004, VO₂max; Essentials of the Most Widely Used Test in Exercise Physiology, ACSM'S Health & Fitness journal, May/June, Vol.8, No.3.
3. Albouaini K., Egred M., Alhmar A., Wright D.J., 2007, Cardiopulmonary exercise testing and its application, Postgrad Med, Nov, 675-682.
4. Ali Özkan, Gürhan Kayıhan, Yusuf Köklü, Nevin Ergun, Mitat Koz, Gülfem Ersöz, and Alexandre Dellal, The Relationship Between Body Composition, Anaerobic Performance and Sprint Ability of Amputee Soccer Players, 2012, Dec, Journal of Human Kinetics, 141 – 146.
5. Blackburn S.T., 2007, Maternal, fetal and neonatal physiology, 777 lpp.
6. Boone T., 2014, Introduction to exercise physiology, 532 lpp.
7. Bullock J., Boyle J., Wang M.B., 2001, Physiology, 853 lpp.
8. Daniel E. Forman, Jonathan Myers, Carl J. Lavie, Marco Guazzi, Bartolome Celli, Ross Arena, Cardiopulmonary exercise testing: relevant but underused, Postgraduate Medicine, 2010, volume 122, Nov.
9. Davies Andrew, Blakeley Asa G., Kidd Cecil, 2001, Human Physiology, 980 lpp, 81-130.
10. Hachana Younes, Attia Ahmed, Chaabene Helmi, Gallas Syrine, Sassi Radhouane Haj Sassi, Dotan Raffy, 2011 Nov, Test-retest reliability and circadian performance variability of a 30-s Wingate Anaerobic Test, 413-421.
11. Hermansen L., Ekblom B., Saltin B., 1970, Cardiac output during submaximal and maximal treadmill and bicycle exercise.
12. Higginbotham M.B., Morris K.G., Williams R.S., McHale P.A., Coleman R.E., Cobb F.R., 1986, Regulation of stroke volume during submaximal and maximal upright exercise in normal men.
13. Hoffmann Jay, 2014, Physiological aspects of sport training and performance, Second edition, 520 lpp.
14. Hopkins Will G., Schabort Elske J., Mar, Hawley John A., 2001, Reliability of Power in Physical Performance Tests, Sports Medicine, 211-234.
15. Jean-Louis Vincent, 2008, Understanding cardiac output, Aug 22nd.
16. Kenney W.L., Wilmore J., Costill D., 2015, Physiology of sport and exercise 6th edition, 648 lpp.

17. Kin-İşler A, Arıburun B, Özkan A, Aytar A, Tandoğan R., The relationship between anaerobic performance, muscle strength and sprint ability in American football players, 2008, *Isokinet Exercise Science*, 87–92.
18. Kuipers H., Verstappen F. T. J., Keizer H. A., Geurten P., van Kranenburg G., Variability of Aerobic Performance in the Laboratory and Its Physiologic Correlates, 1985 June, *Int J Sports Med*, 197-201.
19. Larry W. Kenney, Jack H. Wilmore, David L. Costill, 2012, *Physiology of sport and Exercise*, Fifth edition, 622 lpp.
20. Lim JG, McAveney TJ, Fleg JL, Shapiro P, Turner KL, Bacher AC, Ouyang P, Stewart KJ, Oxygen pulse during exercise is related to resting systolic and diastolic left ventricular function in older persons with mild hypertension, 2005, *PubMed*, Nov.
21. Messonnier Laurent A., Emhoff Chi-An W., Fattor Jill A., Horning Michael A., Carlson Thomas J., Brooks George A., Lactate kinetics at the lactate threshold in trained and untrained men, 2013 June, *Journal of Applied Physiology*, 1593-1602.
22. Milani Richard V., Lavie Carl J., Mehra Mandeep R., Ventura Hector O., Understanding the basics of Cardiopulmonary Exercise training, 2006, *Mayo Clinic Proceedings*, Volume 81, Issue 12, Pages 1603 – 1611.
23. Noordhof DA, de Koning JJ, Foster C, The maximal accumulated oxygen deficit method: a valid and reliable measure of anaerobic capacity, 2010 Apr, *Sports Med*, 285-302.
24. Norman R. Morris, Maile L. Ceridon, Bruce D. Johnson, Exercise-related change in airway blood flow in humans: Relationship to changes in cardiac output and ventilation, 2008, *Respir Physiol Neurobiol*, Aug 31st, 204-209.
25. Nunn J.F., *Applied respiratory physiology*, 1987, 600lpp.
26. Oliveira Ricardo Brandao, Myers Joathan, de Araujo Claudio Gil Soares, *Am Heart J.*, Long-term stability of the oxygen pulse curve during maximal exercise, 2011, *Clinics (Sao Paulo)*, Feb. 203-209.
27. Peinado AB, Rojo JJ, Calderon FJ, Responses to increasing exercise upon reaching the anaerobic threshold, and their control by the central nervous system, 2014, *BMC Sports Sci Med Rehabil*, Apr.
28. Plowman Sharon A., Smith Denise L., 2008, *Exercise physiology for health, fitness and performance*, Second edition, 635 lpp.
29. Prange Henry, *Respiratory Physiology: Understanding gas exchange*, 2012, 146 lpp.
30. Rynders Corey A. , Angadi Siddhartha S., Weltman Nathan Y., Gaesser Glenn An., Weltman Arthur, Oxygen uptake and ratings of perceived exertion at the lactate threshold and maximal

- fat oxidation rate in untrained adults, 2011, *European Journal of Applied Physiology*, 2063-2068.
31. Santo Antonio Saraiva, Golding Lawrence A., Predicting Maximum Oxygen Uptake from a Modified 3-Minute Step Test, 2003 Feb, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 110-115.
 32. Srinivas-Shankar Upendram, Roberts Stephen An., Connolly Martin J., O'Connell Matthew D.L., Adams Judith E., Oldham Jackie A. Wu Frederick C.W., Eddects of Testosterone on Muscle Strength Physical Function, Body Composition and Quality of Life in Intermediate-Frail and Frail Elderly Men: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study, 2010 Feb, *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 639-650.
 33. Steiner Thomas, Wehrin Peter, Does Hemoglobin Mass Increase from Age 16 to 21 and 28 in Elite Endurance Athletes?, 2011 Jan, *Official Journal of the American College of Sports Medicine*, 1735 – 1743.
 34. Stockton K. A., Mengersen K., Paratz J. D., Kandiah D., Bennell K. L., Effect of vitamin D supplementation on muscle strength: a systematic review and meta-analysis, 2011 Mar, *Osteoporosis International*, 859-871.
 35. Suman Chatterjee, Saikat Sengupta, Madhulina Nag, Palash Kumar, Sebanti Goswami, Amitava Rudra, Cardiopulmonary exercise testing: a review of Techniques and applications, 2013, *Anesthesia & Clinical*.
 36. T. Scott Bowen, Daneil T. Cannon, Gordon Begg, Vivek Baliga, Klaus K. Witte, Harry B. Rossite, A novel cardiopulmonary exercise test protocol and criterion to determine maximal oxygen uptake in chronic heart failure, 2012, May 31.
 37. Verstraete Stefanie JM, Cardon Greet M, de Clercq Dirk LR, de Bousdeaudhuij Ilse MM, A comprehensive physical activity promotion programme at elementary school: the effects on physical activity, physical fitness and psychosocial correlates of physical activity, 2007 May, *Public Health Nutrition*, 477-484.
 38. Wanalass Paul, 2014, *Strength training and sports nutrition for cycling*, 122 lpp.
 39. West J.B., 2012, *Respiratory physiology: The essentials*, 200 lpp.
 40. William D. McArdle, Frank I. Katch, Victor L. Katch, 2006, *Essentials of exercise physiology*, 753 lpp.
 41. William D. McArdle, Frank I. Katch, Victor L. Katch, 2010, *Exercise physiology: nutrition, energy and human performance*, 1038 lpp.
 42. Wilmore J.H., Costill D.L., 2004, *Physiology of sport and exercise*, Third edition, *Human Kinetics*, 726 lpp.

Prasībām noslēguma darbu
izstrādāšanai un aizstāvēšanai LU

Bakalaura darbs „Slodzes izraisītās kardiorespiratoro parametru
disproporcionālās izmaiņas” izstrādāts LU Bioloģijas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā
norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: Ance Liniņa

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: Dr. biol., doc. Līga Plakane

1.06.2015.

Recenzents: Maģ. biol., lek. Kamita Eglīte

Darbs iesniegts Cilvēka un dzīvnieku fizioloģijas katedrā 1.06.2015.

Dekāna pilnvarotā persona: _____

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

8.06.2015. prot. Nr. _____, vērtējums _____

Komisijas sekretārs: _____