

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
BIOLOĢIJAS FAKULTĀTE
CILVĒKA UN DZĪVNIĒKU FIZIOLOĢIJAS KATEDRA

LIPĪDU OKSIDĀCIJAS INTENSITĀTES,
SIRDSDARBĪBAS FREKVENCES UN ORGANISMA
SKĀBEKĻA PATĒRIŅA IZVĒRTĒJUMS JAUNĀM,
PIEAUGUŠĀM SIEVIETĒM STANDARTIZĒTĀ,
AUGOŠĀ SLODZĒ

Maģistra darbs

Autors: Zane Gustiņa
Stud. apl. Nr. zg14008
Darba vadītājs: Asoc.prof., Dr.biol. Līga Ozoliņa-Molla

RĪGA 2016

Saturs

KOPSAVILKUMS	3
SUMMARY	4
ĪEVADS	5
1. LITERATŪRAS APSKATS	7
ĶERMEŅA AUDU PROPORCIJAS – ĶERMEŅA KOMPOZĪCIJA	7
ĶERMEŅA TAUKI	8
TAUKAUDU TIPI	10
BALTO TAUKAUDU IZVIETOJUMS	11
TAUKAUDU LOMA FIZIOLOĢISKAJOS PROCESOS	11
HORMONU IETEKME UZ ADIPOZO AUDU UZKRĀŠANOS UN REĢIONĀLO TAUKAUDU SADALĪJUMU	13
ENERĢĒTISKĀ SUBSTRĀTA IZVĒLE SLODZES LAIKĀ	15
NETIEŠĀ KALORIMETRIJA	17
2. MATERIĀLS UN METODES	20
PĒTĪJUMA DALĪBNIEKI	20
ANTROPOMETRISKO MĒRĪJUMU VEIKŠANA UN ĶERMEŅA SVARA NOTEIKŠANA	20
<i>Auguma garuma mērīšana</i>	20
<i>Ķermeņa svara noteikšanai</i>	21
<i>Ķermeņa masas indekss</i>	21
<i>Ādas tauku kroku mērījumi</i>	22
NETIEŠĀS KALORIMETRIJA METODE VIELMAIŅAS INTENSITĀTES UN ENERĢĒTISKO PAMATSUBSTRĀTU OKSIDĀCIJAS NOTEIKŠANAI	25
GĀZU MAIŅAS DATU REĢISTRĀCIJA AR NETIEŠĀS KALORIMETRIJAS METODI MIERA APSTĀKĻOS.	26
SUBMAKSIMĀLAS, STANDARTIZĒTAS, AUGOŠAS FIZISKAS SLODZES TESTS	26
DATU STATISTISKĀ ANALĪZE	28
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA	30
VISPĀRĒJIE PERSONAS RAKSTUROJOŠIE DATI	30
MIERA VIELMAIŅAS INTENSITĀTE	31
GĀZU MAIŅAS KOEFICIENS	32
LIPĪDU OKSIDĀCIJAS INTENSITĀTE MIERA APSTĀKĻOS	33
OGĻHIDRĀTU OKSIDĀCIJAS INTENSITĀTE MIERA APSTĀKĻOS	34
VIELMAIŅAS INTENSITĀTES, ENERĢĒTISKĀ SUBSTRĀTA OKSIDĀCIJAS INTENSITĀTES UN SIRDSDARBĪBAS FREKVENCES IZMAIŅAS STANDARTIZĒTĀ AUGOŠĀ SLODZĒ	35
<i>Lipīdu oksidācijas intensitāte atkarībā no skābekļa patēriņa</i>	35
<i>Ogļhidrātu oksidācijas intensitāte atkarībā no skābekļa patēriņa</i>	37
<i>Lipīdu oksidācijas intensitāte atkarībā no sirdsdarbības frekvences</i>	38
<i>Ogļhidrātu oksidācijas intensitāte atkarībā no sirdsdarbības frekvences</i>	40
4. SECINĀJUMI	41
5. PATEICĪBA	42
6. LITERATŪRAS SARAKSTS	43

Kopsavilkums

Darba nosaukums: Lipīdu oksidācijas intensitātes, sirdsdarbības frekvences un organisma skābekļa patēriņa izvērtējums jaunām, pieaugušām sievietēm standartizētā, augošā slodzē.

Pētījuma mērķis: pēc sirdsdarbības frekvences un skābekļa patēriņa relatīvās intensitātes noteikt submaksimālas slodzes diapazonu, ko raksturo maksimāla lipīdu oksidācijas intensitāte fiziski netrenētām personām ar atšķirīgām ķermeņa audu proporcijām.

Pētījumā piedalījās 23 klīniski veselas sievietes, kas pēc ķermeņa masas indeksa kritērija tika iedalītas 3 pētījuma grupās: 1.grupa - ar samazinātu ķermeņa tauku masu, 2.grupa - ar normālu ķermeņa tauku masu un 3.grupa - ar paaugstinātu ķermeņa tauku masu. Laboratorijā, izmantojot netiešās kalorimetrijas metodi, izmeklējamām personām tika noteikti gāzu maiņas parametri miera apstākļos un standartizētās, submaksimālas slodzes testā uz skrejceļiņa. Slodzes laikā ar pulsometru tika veikta sirdsdarbības frekvences nepārtraukta reģistrācija.

Iegūtie rezultāti rāda, ka sievietēm ar normālu ķermeņa tauku masu miera apstākļos ir izteiktāka tendence kā enerģētisko substrātu izmantot taukus, salīdzinot ar cilvēkiem, kuriem relatīvā tauku masa ir samazināta vai paaugstināta.

Sievietēm ar pazeminātu un paaugstinātu ķermeņa tauku masu maksimālā lipīdu oksidācijas intensitāte ir pie zemākas fiziskās slodzes intensitātes, nekā personām ar normālu tauku masu.

Sievietēm ar paaugstinātu tauku masu fiziskas slodzes intensitāte, kas visefektīvāk stimulē lipīdu oksidāciju, ir zemas līdz vidējas intensitātes slodze, kas atbilst 35-55% no maksimālā skābekļa patēriņa vai 50-60% no maksimālās sirdsdarbības frekvences.

Atslēgas vārdi: vielmaiņas intensitāte, enerģētisko substrātu oksidācija, sirdsdarbības frekvence, slodzes tests, sievietes.

Summary

Title: Evaluation of lipid oxidation rate, heart rate and oxygen consumption during increasing workload exercise in young adult females.

Aim of the research: to determine relative oxygen consumption and heart rate range at maximal lipid oxidation rate during increasing workload exercise for physically untrained persons with different body composition.

The study involved 23 clinically healthy females that were divided into 3 groups: 1st group had decreased body fat mass, 2nd group – normal body fat mass and 3th group – increased body fat mass. Indirect calorimetry was used to determine gas exchange for investigated persons during rest conditions and during increasing submaximal workload exercise on treadmill. Continuous heart rate was recorded by heart rate monitor during exercise.

The obtained results show more outspoken tendency to use fat as energetic substrate during rest in females with normal body fat mass in comparison to those with decreased or increased fat mass.

Maximal lipid oxidation intensity was observed at lower workload intensity for females with decreased and increased body fat mass in comparison to those with normal fat mass.

For females with increased fat mass, lipid oxidation is most effectively stimulated by physical workload of low to medium intensity that corresponds to 35-55% of maximal oxygen consumption or 50-60% of maximal heart rate.

Keywords: metabolic rate, energetic substrate oxidation, heart rate, workload exercise, female.

Ievads

Jau sen zināms ir fakts, ka mērena, ilgstoša fiziskā slodze ir tas fiziskās aktivitātes veids, kurā dominē taukskābju mobilizācija un iesaiste enerģētiskajā metabolismā (Hultman, 1995), tomēr lipīdu izmantošanas lielums ir individuāls un mainīgs (Jeppesen, Biens, 2012).

Metabolismu regulējošas ietekmes fiziskajā slodzē realizējas ar neurohumorālu mehānismu starpniecību. Šeit nozīmīga loma ir arī skeleta muskuļiem, jo kontrakcija sekmē muskuļu šķiedru spēju sekretēt signālvielas - miokīnus, kas hormonāli ietekmē metabolismu pašos muskuļos un citos audos (aknās, taukaudos; Pedersen *et al* 2007; Louis *et al* 2007).

Muskuļu kontraktīlā aktivitāte izraisa pašu muskuļu šķiedru enerģētiskā metabolisma aktivāciju, pie kam, ogļhidrātu un lipīdu kā enerģētisko substrātu proporcijas, kā arī mitohondriālo un glikolītisko enzīmu aktivācijas proporcijas mainās, atkarībā no slodzes rakstura un ilguma (Smith, Muscat 2006). Darbīgās muskuļu šķiedrās slodzes izraisītā metabolisma aktivācija rosina intracelulāro signalizāciju, kas, ietekmējot gēnu transkripciju, maina enerģijas substrātu izmantojamību un pieejamību (Treysent 2007).

Tā kā sabiedrībā arvien pieaug to cilvēku skaits, kas cieš no pārlieku ilgtermiņa enerģētisko resursu akumulēšanās, palielinās arī nepieciešamība pēc individualizētas pieejas taukaudu uzkrāšanās ierobežošanā. Un šeit var tikt izmantotas dažādas pieejas – gan sabalansēta diēta, gan individualizēta, regulāra fiziskā slodze.

Lai fizisko slodzi izmantotu efektīvai taukaudu masas samazināšanai, ir jānoskaidro personu slodzes veids, intensitāte un ilgums, kas sniedz vislielāko efektu lipīdu oksidācijas palielināšanā. Ir zināms, ka fiziski trenētām personām maksimālā lipīdu oksidācija ir pie slodzes intensitātes, kas sastāda 59-64% no maksimālā skābekļa patēriņa (VO_2max), savukārt, fiziski netrenētām personām tā ir slodzes intensitāte 47-52% no VO_2max (Achten, Jeukendrup 2004). Turklāt, slodzes intensitāti, pie kuras tiek sasniegta vislielākā lipīdu oksidācijas pakāpe ietekmē ne tikai personas fiziskā sagatavotība, bet arī ķermeņa audu proporcijas.

Laboratorijas apstākļos slodzes intensitāti, pie kuras tiek sasniegta visaugstākā lipīdu oksidācijas pakāpe, var standartizēt, izmantojot slīdošo celiņu vai veloergometru, savukārt, vielmairas intensitāti un lipīdu, kā arī ogļhidrātu oksidācijas

lielumu, ir iespējams noteikt, izmantojot netiešās kalorimetrijas metodi. Tomēr, lai panāktu noturīgu ietekmi uz taukaudu masas samazinājumu, standartizētajai slodzei ir jābūt regulārai un iespējamai veikt arī ārpus laboratorijas. Ārpus laboratorijas slodzes standartizāciju ir iespējams veikt atbilstoši sirdsdarbības frekvences izmaiņām pie slodzes, un sirdsdarbības frekvenci iespējams reģistrēt, izmantojot ērtus, mobilus sirdsdarbības ritma monitorus - pulsometrus.

Līdzās jau augstāk minētajām fiziskās slodzes ietekmēm adipozo audu samazināšanā, īpašu interesi un intrigu zinātnieku vidū izraisa 2012.gadā atklātais miokīns – *airisīns* (no angļu val. – *irisin*), kura ietekme balto taukaudu transformēšanā brūnajos (jeb t.s. “bēšajos”) taukaudos ir pierādīta laboratorijas dzīvniekiem (Böstrom *et al* 2012; Zhang *et al* 2014), bet nav skaidru pierādījumu par šī miokīna eksistenci un efektiem cilvēkiem. Ņemot vērā brūno taukaudu enerģētiskā metabolisma īpatnības, balto taukaudu transformēšana brūnajos taukaudos varētu būt efektīvs veids, kā atbrīvoties no liekajām ilgtermiņa enerģētiskajām rezervēm pastiprinātas termogēnēzes veidā.

Tādējādi pētījumam tika izvirzīts šāds darba **mērķis**:

pēc sirdsdarbības frekvences un skābekļa patēriņa relatīvās intensitātes noteikt submaksimālas slodzes diapazonu, ko raksturo maksimāla lipīdu oksidācijas intensitāte fiziski netrenētām personām ar atšķirīgām ķermeņa audu proporcijām.

Darba mērķa sasniegšanai tika izvirzīti šādi **darba uzdevumi**:

1. Ar netiešās kalorimetrijas metodi noteikt vielmaiņas intensitāti un enerģētisko pamatsubstrātu izmantojamību miera apstākļos.
2. Ar netiešās kalorimetrijas metodi noteikt lipīdu un ogļhidrātu izmantošanas dinamiku, kā arī sirdsdarbības frekvenci augošas slodzes testā (Brūsa modificētā testā).
3. Izvērtēt indivīdam raksturīgo sirdsdarbības frekvences, skābekļa patēriņa un lipīdu oksidācijas intensitātes atkarību no slodzes intensitātes.

1. Literatūras apskats

Ķermeņa audu proporcijas – ķermeņa kompozīcija

Ķermeņa audu proporcijas atspoguļo ķermeni veidojošo pamatelementu savstarpējās attiecības un dod priekšstatu par dažādo ķermeni veidojošo audu daudzumu. Daudzi pētījumi pierādījuši, ka ķermeņa audu proporcijām ir saistība ar fizisko aktivitāti gan mazkustīgo cilvēku starpā, gan sportistiem (Mazić *et al* 2014).

Ķermeņa audu proporciju noteikšana ir nozīmīga daudzos fizioloģiskos un patoloģiskos stāvokļos (Fosbøl, Zerahn 2015). Ir vairākas metodes, ar kurām iespējams noteikt ķermeņa audu kompozīciju. Daļa metožu piemērotas izbraukuma pētījumiem, piemēram, ādas kroku kaliperēšanas metode, bet citas iespējamās tikai un vienīgi laboratorijas apstākļos, piemēram, DXA skenēšana. Metodes atšķiras gan ar savu precizitāti, gan izmaksām un nepieciešamo aparāturu, apstākļiem.

Bieži, lai gūtu priekšstatus par cilvēka miesas stāvokli, tiek izmantots ķermeņa masas indekss (ĶMI; angļu val. - BMI – body mass index). To aprēķina, ķermeņa svaru (kg) dalot ar kvadrātā kāpinātu augumu (m). Ja šis indekss pārsniedz 25 kg/m², tiek uzskatīts, ka personai ir palielināta masa. Ja indekss pārsniedz 30 kg uz m², tiek konstatēta aptaukošanās. Tomēr tikai ĶMI izmantošana mēdz būt maldīga, jo ar šo metodi netiek noteikts tauku daudzums organismā

1.tabula Ķermeņa masas indeksa klasifikācija pēc Pasaules Veselības organizācijas kritērijiem.

Table 1 Body mass index classification by World Health organisation.

(<http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>)

ĶMI vērtība, kg/m ²	Vērtējums
<18,5	Samazināts svars
18,5 – 24,9	Normāls svars
25,0 – 29,9	Palielināts ķermeņa svars
30,0 – 34,9	1.klases aptaukošanās

Ķermeņa tauki

Ķermeņa tauki ir visu ķermenī esošo tauku kopums. Beztauku jeb liesā masa ir visa ķermeņa masa, izņemot taukus. Tā sevī ietver kaulus, orgānus, muskuļus, citus audus un ūdeni. Ķermeņa kompozīcija tiek izteikta kā ķermeņa tauku procents un ķermeņa liesās daļas procents (Mazzei 2015).

Ķermeņa kompozīcija var ietekmēt kopējo cilvēka veselību. Tauki ķermenī ir nepieciešami daudzu funkciju realizācijai – hormonālajā regulācijā, iekšējo orgānu aizsardzībā, turklāt tauki ir nozīmīgs enerģijas resurss. Pārlietu liela tauku masa var palielināt personas iespēju saslimt ar diabētu, vielmaiņas un sirds slimībām (Mazzei 2015).

Taukaudi dažādiem cilvēkiem sastāda 5 – 60% no ķermeņa kopējās masas (Bays *et al* 2016).

Ir bijuši vairāki mēģinājumi iedalīt cilvēkus klasēs pēc relatīvās ķermeņa tauku masas. Gallagers ar kolēģiem ([Gallagher et al 2000](#)) 2000. gadā apraksta šādu iedalījumu pēc tauku masas sievietēm 20 – 40 gadu vecumā:

2.tabula. 20 – 40 gadus vecu sieviešu relatīvais tauku daudzums ķermenī.

Table 2. Body fat percentage in 20 – 40 years old women.

Relatīvais ķermeņa tauku daudzums, %	Atbilstošais raksturojums
<21%	Samazināta tauku masa
21% – 33%	Normāla tauku masa
33-39%	Palielināta tauku masa
>39%	Aptaukošanās

Ķermeņa audu kompozīcijas noteikšana iespējama dažādos veidos, kas atšķiras gan ar precizitāti, gan pieejamību un izmaksām (Mazzei 2015).

Ādas-tauku kroku kalipera metode ir ātra un vienkārša. Kalipers tiek izmantots, lai izmērītu cilvēka ādas krokas un zemādā esošo tauku slāni dažādās ķermeņa vietās. Parasti tiek izmantotas četras līdz sešas ādas krokas, biežāk izmantotās ir vēdera, virs zarnu kaula, tricepsa, zemlāpstiņas, apakšstilba, un

augšstilba krokas. Šī metode ir diezgan akurāta, tomēr tā nedod pilnīgu priekšstatu par ķermeņa tauku daudzumu cilvēkiem, kam tauki uzkrājas viscerāli (Mazzei 2015).

Šīs metodes priekšrocības ir mazās izmaksas, viegli pārvietojamā un speciālas telpas neprasošā aparatūra, un iespēja vienkārši mērījumus atkārtot vienam un tam pašam cilvēkam regulāri, sekojot līdz audu kompozīcijas izmaiņām (Martinez-Rodriguez 2015).

Ķermeņa **bioelektriskās impedances metode** ir salīdzinoši ātra un vienkārša, tai nepieciešamo aparatūru iespējams pārvietot. Kā primārie mērījumi šajā metodē tiek izmantoti intracelulārie un ekstracelulārie ķermeņa šķidrums. Iekārta sūta kvantētus elektriskus impulsus uz izmeklējamās personas ķermeni. Atstarotos impulsus izmērot, tik noteikts tauku daudzums personas ķermenī. Līdzīgi kā tauku kroku metode, arī šī metode var būt neprecīza tiem cilvēkiem, kam ir lieli tauku depozīti. Turklāt mērījumu rezultātus spēj ietekmēt arī šķidruma daudzums audos un ādas temperatūra (Mazzei 2015; Gallager, De-Lagge 2011).

Viena no precīzākajām ķermeņa audu proporciju noteikšanas metodēm ir **DEXA** skenēšana. Šajā metodē tiek izmantotas zemas devas radiācija un rentgenstarojums. Izmantojot DEXA skenēšanu, taukus iespējams viegli atšķirt no muskuļaudiem un kauliem, iespējams noteikt arī kaulu blīvumu. Šādai metodei ir lielas izmaksas, nepieciešami cilvēki ar zināšanām radioloģijā, kas veic mērījumus, turklāt īpaši liela izmēra cilvēkiem (kam KMI lielāks par 40) var nepietikt vietas iekārtā visa ķermeņa skenēšanai (Mazzei 2015) (Gallager D., De-Lagge M. 2011).

Ķermeņa **pletismogrāfijas** metodes darbība balstās uz gaisa daudzumu, ko persona izspiež no telpas. Izmantojot šos datus, un zinot cilvēka svaru, tiek noteikts ķermeņa kopējais blīvums, un aprēķināts tauku procents. Līdzīgi kā DEXA, šī metode ir dārga un nav plaši pieejama. Arī šajā metodē var būt ierobežojumi ļoti liela auguma cilvēkiem ($\text{KMI} > 60$).

Vēl viena akurāta, bet salīdzinoši reti pielietota ķermeņa audu proporciju noteikšanas metode ir zemūdens jeb **hidrostatiskā svēršanās** – tiek mērīts ūdens daudzums, ko persona izspiež. Tik aprēķināts cilvēka ķermeņa blīvums, un tauku procentuālais daudzums (Mazzei 2015).

Magnētiskā rezonanse ļauj novērtēt kopējo tauku daudzumu zemādā, vēdera dobumā, kā arī orgānos esošos taukus (Gallager, De-Lagge 2011).

Taukaudu tipi

Zīdītājiem ir trīs taukaudu tipi: brūnie, bēšie un baltie (Marcadenti, Oliveira de Abreu-Silva 2015).

Brūnie taukaudi satur ievērojamu mitohondriju daudzumu, un to galvenā funkcija ir siltuma producēšana. Brūno tauku termogēnā funkcija visizteiktākā ir pirmajos dzīves gados; vēlāk brūnie taukaudi pakāpeniski tiek aizstāti ar baltajiem. Tomēr arī pieaugušiem cilvēkiem zemās temperatūrās pierādīta brūno tauku termogēnā aktivitāte (Marcadenti, Oliveira de Abreu-Silva 2015).

Bēšie taukaudi ir vismazāk pētītie. Par to funkcijām zināms maz, bet tiek uzskatīts, ka tie rodas no baltajiem taukaudiem. Šīs šūnas spējīgas gan uzkrāt enerģiju tauku veidā (ja enerģijas bilance ir pozitīva), gan atbrīvot enerģiju siltuma produkcijai.

Baltie taukaudi cilvēka ķermenī ir pārstāvēti visplašāk, un ir atbildīgi par lipīdu rezervju uzkrāšanu triglicerīdu formā (Marcadenti, Oliveira de Abreu-Silva 2015).

Adipocīti ir galvenais celulārais balto tauku komponents cilvēka organismā. To primārais uzdevums ir kontrolēt enerģētisko balansu, uzkrājot vai mobilizējot triglicerīdus. Taukaudiem ir ļoti liela endokrīna un parakrīna nozīme – taukaudi mediē daudzus fizioloģiskus un patoloģiskus procesus, sekretējot vielas, kas ietekmē glikozes metabolismu, apetīti, imunoloģiskās reakcijas, iekaisuma reakcijas, angioģenēzi, asinsspiediena regulāciju, reproduktīvās funkcijas (Lafontan, 2014; Lefterova, Lazar 2009).

Pieaugušam adipocītam ir liela iekšēja tauku pile, kas izstiepj šūnu tik ļoti, ka citoplazma ir izkārtota šaurā slānītī ap šo tauku ieslēgumu, kodols novietojas šūnas ārmaļā. Kad adipocīti uzkrājas lielos daudzumos, tie kļūst par dominējošo šūnu tipu un veido taukaudus. Adipozie audi veido izolējošu slāni zem ādas, kurš palīdz regulēt ķermeņa temperatūru. Šim slānim ir arī strukturāla nozīme – tas savieno ādu ar struktūrām zem tās, un aizsargā ķermeni (Lafontan 2014).

Ļoti nozīmīgs izpētes laiks šobrīd ir balto tauku sekretētās vielas un to loma kardiovaskulārajā riskā un protekcijā (Marcadenti, Oliveira de Abreu-Silva 2015).

Balto taukaudu izvietojums

Vienotas izpratnes un nomenklatūras attiecībā uz balto tauku iedalījumu, bakstoties uz funkcionālām un anatomiskām īpatnībām, pagaidām nav.

Bieži aptaukošanās tiek noteikta, izmantojot ķermeņa masas indeksu, tomēr šis rādītājs neko neatklāj par taukaudu izvietojumu ķermenī. Centrālā aptaukošanās tiek uzskatīta par piemērotāku rādītāju, lai noteiktu iespējamās ar palielināto ķermeņa svaru saistītos veselības riska faktorus. Abdominālie tauki tiek saistīti ar palielinātu kardiometabolo saslimšanu izveides risku. Abdominālo tauku masu bieži nosaka, izmantojot datortomogrāfiju (Lee *et al* 2015).

Kaut arī galvenokārt tiek runāts par viscerālo taukaudu saistību ar metabolo sindromu, tomēr balto subkutāno tauku loma tā izveidē nav līdz galam skaidra. Abdominālos zemādas taukaudus iespējams iedalīt virsējos un dziļajos; abas šīs grupas savā starpā atšķiras gan morfoloģiski, gan pēc metabolajām īpašībām. Lielākā daļa dziļo subkutāno taukaudu ir novietoti vēdera posteriorajā daļā, un lipolīzes, lipoģenēzes, un iekaisuma proteīnu ekspresija tajos ir lielāka, nekā virsējos zemādas taukos.

Virsējajos zemādas taukaudos adipocīti ir sakārtoti cieši cits pie cita, organizēti daiviņās, kas savā starpā atdalītas ar starpsienu. Dziļie subkutānie taukaudi sastāv no lielākām, sliktāk organizētām šūnām, tajos novērojama labāka vaskularizācija (Kim *et al* 2016).

Viscerālie tauki rada daudz vairāk citokīnus, salīdzinot ar zemādas taukaudiem. Metabolās slimības vairāk saistāmas ar viscerālajiem taukiem, tādēļ vīriešiem ir lielāks risks ar tām saslimt (Lafontan 2014; Wajchenberg *et al* 2002).

Arī ar vecumu saistītas izmaiņas – novecojot kopējais ķermeņa tauku daudzums paliek nemainīgs vai pat samazinās, bet abdominālie zemādas tauki ir samazinājušies, kļūstot par viscerālajiem taukaudiem. Novecojot kļūst mazāka arī šūnu replikācijas un diferenciacijas spēja, un radušās šūnas ieņem vietu viscerālajos taukaudos (Marcadenti, Oliveira de Abreu-Silva 2015).

Taukaudu loma fizioloģiskajos procesos

Aptaukošanos iespējams definēt kā: Hroniska, recidivējoša, neurobiheiviorāla slimība, kas raksturojas taukaudu disfunkciju, ko veicina ķermeņa tauku masas

palielināšanās. Pārmērīgā tauku masa rada fizisku spēku un metabolos faktorus, kas rezultējas nelabvēlīgos metabolos, biomehāniskos un psihosociālos procesos .

Lipīdi var ieņemt lomu osteoporozes attīstībā, kaulaudu stromai aizvietojošies ar taukiem. Stromas šūnas sastāda 1% no kaulu smadzeņu šūnām. Nenobrienošās mezenhimiālās cilmes šūnas var diferencēties vai nu par adipocītiem, vai osteoblastiem (Alexopoulos *et al* 2014).

Adipocīti tiek uzskatīti par stūrakmeni lokālos iekaisuma procesos, piemēram, reimatoīdā artrīta un osteoartrīta gadījumā. Tai pašā laikā adipocīti locītavās nodrošina mehānisku atbalstu (Lafontan 2014).

Adipocītiem ir ļoti svarīga loma insulīna rezistences attīstībā, kas ir svarīgs solis metabolā sindroma izveidē un bieži progresē otrā tipa cukura diabētā. Insulīna rezistence ir galvenais faktors, kas nodrošina saikni starp tauku uzkrāšanos adipocītos un 2. tipa cukura diabētu. Insulīna rezistenci raksturo insulīna nespēja novērst glikozes atbrīvošanos aknās un veicināt glikozes uzņemšanu taukos un aknās. Tā kā adipocīti, kas lokalizēti zemādā, akumulē lielāku daudzumu tauku, insulīna rezistence turpina pieaugt un ierobežo tālāku zemādas tauku uzkrāšanos. Rezultātā ķermenis novirza triglicerīdus uz vēdera dobumu. (Lafontan 2014) .

Taukaudi, galvenokārt triglicerīdu veidā, ir galvenais enerģijas rezervuārs, Cilvēkiem, kas aptaukojušies, taukaudi glabā lielus neesterificētā holesterola krājumus. Mēģinot izskaidrot holesterola metabolismu cilvēka ķermenī, bieži tiek nonākts strupceļā, jo holesterola metabolisms dažādos orgānos ir atkarīgs no daudziem faktoriem, piemēram, ēdienreizēm, tā līmenis dažādos orgānos atkarīgs no konkrētās tā brīža vajadzības, daudzi no līdzšinējie pieejamiem datiem, uz kuriem tiek balstīti pētījumi, ir iegūti no desmitiem gadus veciem pētījumiem par grauzējiem, un dažas no holesterola mērījumu metodēm ir ar ierobežotu precizitāti (Bays *et al* 2016).

Adipocītu daudzumu nosaka dinamiskais līdzsvars starp tauku šūnu izveidi no taukaudu cilmes šūnām un programmēto tauku šūnu nāvi – apaptozi (Bays *et al* 2016).

Cilvēka tauku šūnu skaita noteikšana *in vivo* ir apgrūtināta taukaudu dinamiskās uzvedības dēļ (totālais adipocītu skaits potenciāli ietver cilmes šūnas, progenitorās šūnas un adipocītus), aprēķini tiek veikti, izmantojot tilpumu un svaru, un šādiem pētījumiem sarežģīti izstrādāt metodiku (Bays *et al* 2016).

Ja pie ilgstošas pozitīvas kaloriju bilances, zemādas tauku adipocīti ir samazinājuši adipoģenēzes potenciālu, tas var veicināt hipertrofiju jau esošajos

adipocītos, potenciāli novedot pie hipoksijas, imunopātijām, endokrinopātijām. Tādēļ, pat pie pietiekama kaloriju daudzuma adipoģenēzes trūkuma rezultātā var rasties bieži sastopamās vielmaiņas slimības, kas raksturojas ar augstu asinsspiedienu, hiperglikēmiju, dislipidēmiju (Ali *et al* 2013).

Tiek uzskatīts, ka statīni samazina atsevišķu proteīnu aktivitāti, kā rezultātā tiek samazināta adipocītu diferenciācija, kas potenciāli var veicināt diabēta attīstību.

Ja adipoģenēze perifērajos zemādas taukaudos ir nepietiekama, lai nodrošinātu papildus enerģiju, tas var veicināt pārlietu enerģijas pieplūdumu paaugstināto brīvo plazmas taukskābju veidā, palielinot citu taukaudu depozītus, ietverot viscerālo taukaudu izgulsnēšanos, vēdera zemādas taukaudu izgulsnēšanos, un intramiokardiālo tauku izveidi. Ja pie pozitīvas kaloriju bilances adipoģenēze ir nepietiekama, tad liekais enerģijas pārpalikums var izraisīt tauku depozītus dažādās ķermeņa vietās, veidojot perikarda taukus, perivaskulāros taukus (Bays *et al* 2016).

Tauku depozītu izveidei dažādos citos ķermeņa audos ir tieša saistība ar aterosklerotisko kardiovaskulāro slimību izveidi. Brīvo taukskābju pastiprināta piegāde neadipoziem audiem, piemēram, aknām, muskuļiem, aizkuņģa dziedzerim, kas netieši var izraisīt klīniski visbiežāk novērojamās vielmaiņas problēmas, piem., paaugstinātu glikozes līmeni plazmā, augstu asinsspiedienu un dislipidēmiju, kas visi ir kardiovaskulāro saslimšanu riska faktori.

Cilvēki dažkārt mēdz būt aptaukojušies, bet bez vielmaiņas traucējumiem. Tomēr ļoti, ļoti mazai daļai no aptaukojušajiem cilvēkiem nav pasliktināta veselība, līdz ar to iespējamība, ka cilvēks ir aptaukojies, bez vielmaiņas problēmām, ir neskaidra (Bays *et al* 2016).

Hormonu ietekme uz adipozo audu uzkrāšanos un reģionālo taukaudu sadalījumu

Taukaudu daudzumu ķermenī lielā mērā nosaka hormons leptīns - proteīns, ko producē paši taukaudi. Taukaudu daudzums pieaug, pieaugot adipocītu daudzumam un izmēriem.

Adipozītu izveide un nobriešana – adipoģenēze – notiek šūnu savstarpējās komunikācijas un šūnu-vides signalizācijas rezultātā (Lafontan 2014).

Ir zināms, ka paaugstināts cirkulējošo pre-inflamatoro adipokīnu līmenis ir augstāks cilvēkiem ar insulīna rezistences radītu aptaukošanos un 2. tipa cukura

diabētu. Taukaudos šie preinflammatorie adipokīni var izraisīt par metaboliskiem uzskatāmus efektus.

Hormoniem piemīt spēja spēcīgi ietekmēt gan vielmaiņas intensitāti, gan taukaudu lokalizāciju cilvēka ķermenī. Jau izsenis bijuši centieni noskaidrot, kādas ir šīs ietekmes. Par galvenajiem īstermiņa lipolīzes regulatoriem tiek uzskatīts insulīns, epinefrīns, un adenosīns. (Romijn *et al* 2011).

In vitro tika novērots, ka insulīns un kortizols atvieglo tauku uzkrāšanos, ekspresējot lipoproteīnu lipāzi. Augšanas hormons darbojas pretēji, un virza metabolismu uz lipīdu mobilizāciju. Testosterons un augšanas hormons izteikti stimulē lipolīzi, un testosterona efekti realizējas caur androgēnu receptoru, kā daudzums lielāks ir viscerālajos, nevis zemādas taukaudos.

Reģionālais tauku sadalījums cilvēka ķermenī tiek regulēts, izmantojot hormonus, arī ģenētiskie faktori ir nozīmīgi

Vague 1947. gadā atklāja taukaudu sadalījuma atšķirības vīriešiem un sievietēm. Šo atšķirību cēlonis ir ne tikai dzimumhormoni, bet arī virsnieru producētie steroīdie hormoni

Ar šo taukaudu izvietojuma atšķirību dzimumu starpā iespējams skaidrot slimības, kam predisponēti konkrēta dzimuma cilvēki. Vīriešiem ir lielāka zemādas taukaudu uzkrāšanās uz rumpja, salīdzinot ar zemādas tauku daudzumu uz kājām; pārsniedzot 50 gadu vecumu, šis sadalījums līdzsvarojas (Marcadenti, Oliveira de Abreu-Silva 2015).

Sievietēm parasti ir lielāki ķermeņa tauku procenti, kas pamatā lokalizējas zemādā, turpretī vīrieši taukaudus uzkrāj galvenokārt viscerāli. Viscerālajiem taukiem raksturīga aktīvāka lipolīze, un tie vājāk atbild uz insulīna efektiem, salīdzinot ar subkutānajiem tauku uzkrājumiem (Lafontan 2014).

Atzīmēšanas vērts ir fakts, ka sievietēm pēc menopauzes palielinās viscerālo tauku uzkrāšanas tendence (Wajchenberg *et al* 2002).

Cilvēka taukaudos lipīdu akumulācija adipocītā pamatā tiek regulēta ar lipoproteīnlipāzes palīdzību. Lipīdu mobilizācija ir atkarīga no hormonu sensitīvās lipāzes, kuru pamatā kontrolē kateholamīni (stimulējošs efekts) vai insulīns (inhibitors efekts).

Kortizola efekti tiek mediēti caur glikokortikoīdu receptoriem, kuri dažādā skaitā novietoti viscerālajos taukaudos, abdominālajos zemādas taukaudos, un ikru zemādas taukaudos.

Kortizols insulīna klātbūtnē uzrāda izteiktus lipīdu akumulācijas efektus, ko spēj novērst augšanas hormons GH, kurš inhibē lipīdu akumulāciju un aktivē taukaudu mobilizāciju.

Enerģētiskā substrāta izvēle slodzes laikā

Cīņai ar lieko svaru par noderīgiem atzītas dažādu veidu slodzes un vingrojumi, kā primāro fiziskās slodzes mērķi izvirzot kaloriju deficītu, kas izraisa ogļhidrātu vai lipīdu oksidāciju (Brun *et al* 2011).

Tauki un ogļhidrāti ir galvenais enerģētiskais resurss muskuļu enerģijas ražošanā. Izmantoto tauku un ogļhidrātu proporcijas nosaka virkne faktoru, tostarp fiziskās slodzes intensitāte, ilgums, lietotais uzturs un sākotnējais glikogēna daudzums muskuļos.

Vairāki pētījumi pierāda, ka plazmas brīvās taukskābes ir viegli pieejams enerģijas resurss muskuļu darbam. Plazmas brīvo taukskābju līmenis atspoguļo vispārējo taukskābju metabolismu audos. Brīvo taukskābju pieejamību pamatā limitē to mobilizācija no taukaudu trigliceroliem lipolīzes ceļā, kas tiek regulēta ar autokrīniem un parakrīniem signāliem, kas tiek radīti fiziskas slodzes laikā (Djelic *et al* 2015).

Ir veikti pētījumi, kuru rezultāti uzrāda lielāku lipīdu oksidācijas intensitāti sievietēm, salīdzinot ar vīriešiem, kas varētu būt saistīts ar sievietēm raksturīgo lielāko taukaudu masu; tomēr citos pētījumos šī hipotēze neapstiprinās. Tiek uzskatīts, ka, augot cilvēku trenētības pakāpei, dzimumu atšķirības enerģētiskā substrāta izvēlē izzūd (Romjin *et al* 2000).

Treniņu veikšana veicina izmaiņas enerģētiskajā metabolismā- šī iemesla dēļ gan zinātnieki, gan ārsti cīņai ar lieko svaru jau izsenis iesaka fiziskas aktivitātes un dzīvesveida izmaiņas. Fiziskas aktivitātes nāk par labu veselībai jebkurā gadījumā, tomēr svarīgi noskaidrot to aktivitāšu veidu, intensitāti, kurā vienlaicīgi tiek iegūti gan veselības uzlabojumi, gan arī uzlabota ķermeņa forma.

Par galveno faktoru tiek uzskatīta fiziskā aktivitāte: slodzēs, kas raksturojamas kā zemas līdz vidējas, absolūtais tauku oksidācijas lielums pieaug nepārtraukti, bet,

sasniedzot maksimumu, sākas strauja tauku oksidācijas samazināšanās, ko īpaši kā “crossover” konceptu izcēluši Brūks un Merciers (Brooks, Mercier, 1994).

Ja slodze tiek turpināta tik ilgi, kamēr tiek panākta glikogēna rezervju izmantošana, tauku oksidācija pakāpeniski pieaug, ja slodzes ilgums nav lielāks par vienu stundu. Pārsniedzot vienas stundas ilgumu, lipīdu oksidācija kļūst gandrīz nemainīga (Brun *et al* 2011).

Slodzes laikā tauku oksidācijas maksimālās vērtības pieaug no zemām līdz vidējas intensitātes slodzēm. Maksimālās tauku oksidācijas vērtības tiek sasniegtas, kad slodzes intensitāte atbilst 59 – 64% no maksimālā skābekļa patēriņa trenētiem cilvēkiem un starp 47 un 52% no maksimālās skābekļa patēriņa netrenētiem indivīdiem (Achten, Jeukendrup 2004).

Ja slodzes intensitāte turpina pieaugt līdz submaksimālai (85% no VO₂max), tauku oksidācijas daudzums samazinās līdz zemas intensitātes slodzes līmenim (25% no VO₂max) (Brun *et al* 2011).

Arī slodzes veids ietekmē tauku oksidāciju – tauku oksidācija ir augstāka skrienot, salīdzinot ar riteņbraukšanu. Izturības treniņi izraisa virkni adaptāciju, kas rezultējas tauku oksidācijas veicināšanā. Sievietēm pastāv arī dzimumcikla ietekme – lipīdu oksidācija slodzes laikā maksimumu sasniedz menstruālā cikla luteālajā fāzē (Romjin *et al* 2011).

Daudzi pētījumi tiek veikti, izmantojot netiešās kalorimetrijas metodi, lai noteiktu punktu, kurā ir maksimālā tauku oksidācija, un, kuru pārsniedzot, enerģija tiek iegūta galvenokārt no ogļhidrātiem. Brooks and Mercier jau pirms 20 gadiem akcentējuši, ka šis krustpunkts atbilst laktāta līmeņa pieaugumam asins plazmā, norādot uz saistību ar laktāta sliksni (Brook., Mercier, 1994)

Ogļhidrātu uzņemšana slodzes sākumā vai tās laikā ievērojami samazina taukaudu oksidāciju, salīdzinot ar apstākļiem, kad maltīte nav ieturēta. Atturēšanās no ēdienreizes 6 stundas pirms slodzes palielina taukaudu oksidāciju. Taukaudu oksidācijas samazināšanās tiek novērota arī pēc taukiem bagātu maltīšu ieturēšanas; daļēji tas skaidrojams ar samazinātu glikogēna rezervju daudzumu, un daļēji – ar adaptāciju muskuļos.

Pēc augstas intensitātes slodzēm (kurās tiek izmantoti gandrīz tikai ogļhidrāti), dažkārt var tikt novērota kompensatora lipīdu oksidācijas palielināšanās. Daži autori pat pielīdzina to tādai lipīdu oksidācijai, kas notiek ilgstošas mērenas slodzes apstākļos. Tomēr šis fenomens daudzos pētījumos viesis šaubas un tiek atzīts par

neviennozīmīgu. Treniņi paaugstina tauku oksidāciju, un cilvēkiem bez liekā svara ar uzturu uzņemtie tauki ir nozīmīgs enerģētiskais resurss slodzes laikā un pēc tās (Bergouignan *et al* 2014).

Kvantitatīvi, vissvarīgākais slodzes laikā izmantotais enerģētiskais substrāts ir glikoze. Maksimālais ogļhidrātu patēriņš slodzes laikā ir aptuveni divas reizes lielāks par tauku oksidāciju.

Ilgstošas un regulāras zemas intensitātes slodzes var uzlabot spēju oksidēt lipīdus miera stāvoklī, pārslēdzot oksidēto substrātu sadalījumu miera stāvoklī uz augstākiem lipīdu daudzumiem. Statistiski tiek uzskatīts, ka tieši šī spēja nomainīt enerģētisko substrātu sadalījumu ir priekšnosacījums tam, lai ar fiziskas slodzes palīdzību tiktu panākts ķermeņa masas samazinājums resniem cilvēkiem..

Fiziskā slodze var palielināt taukaudu oksidāciju vairākos ceļos. Pastāvīgu zemas intensitātes slodžu laikā parasti tiek oksidēti nozīmīgi tauku daudzumi, šādas intensitātes slodzēs iespējams sasniegt 400 līdz 1000 mg/min tauku oksidāciju (Brun *et al* 2011).

Tomēr, izvēloties slodzes intensitāti un veidu, izmantojot procentus no maksimālās aerobās kapacitātes, ir sarežģīti iekļaut cilvēkus, kas cieš no smagas aptaukošanās, diabēta un citām vielmaiņas slimībām u.c. – jo šajos gadījumos enerģētisko substrātu līdzsvars ir traucēts (Brun *et al* 2011).

Netiešā kalorimetrija

Noteikt kaloriju patēriņu cilvēkiem, kas cieš no palielinātas ķermeņa masas vai aptaukošanās, ir liels izaicinājums, enerģijas patēriņš ir ļoti variabls.

Cilvēka patērētās enerģijas noteikšanai iespējams lietot divu veidu metodes: tiešās un netiešās (Rubana, 2009).

Tiešās metodes balstās uz cilvēka izdalītā siltuma daudzuma noteikšanu. Netiešās kalorimetrijas pamatā ir organisma gāzu maiņas reģistrācija, pēc kuras iespējams noteikt izmantotā enerģētiskā substrāta tipu un izmantošanas ātrumu.

Jau 1949. gadā Weirs (Weir) pierādīja, ka metabolā aktivitāte ir ciešā saistībā ar starpību starp skābekļa daudzumu ieelpojamajā un izelpojamā gaisā. Metodes pamatā tika izmantoti atklājumi par radušos kaloriju daudzumu, metabolizējot taukus, ogļhidrātus un proteīnus saturošu substrātu, izmantojot litru skābekļa. (Weir, 1949)

Kopš šī laika vairākkārt tikuši pārskatīti elpošanas koeficientu vērtību lielumi dažādiem enerģētiskajiem substrātiem, tomēr kļūda aprēķinos par enerģijas uzņemšanu no taukiem, ogļhidrātiem un proteīniem paliek mazāka par 0,5%. (Mansell, Macdonald, 1990). Enerģētiskais metabolisms ir cieši saistīts ar ķermeņa audu kompozīciju, jo dažādiem enerģētisko substrātu izmantošanai nepieciešams dažāds skābekļa daudzums (Siervo *et al* 2015).

Enerģijas patēriņa noteikšanai pētāmais cilvēks elpo slēgtā sistēmā, un ar speciālas iekārtas palīdzību tiek noteikts izelpojamais gāzu sastāvs (CO₂ un O₂) (Rubana, 2009)

Pirms netiešās kalorimetrijas mērījumu veikšanas jāievēro daži priekšnosacījumi:

1. Jāatsakās no izteikti augstas intensitātes slodzēm 24 h pirms pētījuma. Zināms, ka intensīvas, neierastas slodzes veikšana paaugstina metabolo aktivitāti, bet šobrīd trūkst pētījumu, kas pierādītu, cik lielā mērā un cik ilgi šis efekts saglabājas, kādas ir atšķirības dažādos vecumos.

2. Jāizvairās no liela apjoma (ap 1300 kcal vienā ēdienreizē) maltītēm 7 stundas pirms mērījumu veikšanas. Ja tas nav iespējams, ne agrāk kā 2,5 h pirms var ieturēt vieglu maltīti.

3. Jāizvairās no kofeīnu saturošiem produktiem vismaz 4 h iepriekš

4. Jāatturas no nikotīna uzņemšanas vismaz 2,5 stundas.

5. Izmeklējamai personai aptuveni pusstundu jāļauj atpūsties un klusumā adaptēties apstākļiem

6. Jānodrošina guļus pozīcija

7. Telpā jābūt istabas temperatūrai, klusinātam apgaismojumam, ja nepieciešams, cilvēks jāapsedz ar segu

8. Pirmās piecas ieraksta minūtes netiek ņemtas vērā un izmantotas aprēķinos (Fulmer *et al* 2015).

Šī metode nodrošina unikālu informāciju, nav invazīva, turklāt to iespējams kombinēt ar virkni citām eksperimentu metodēm, lai noteiktu barības vielu asimilāciju, termogēnēzi, un analizētu metabolo slimību patoģenēzi. (Ferrannini 2004)

Elpošanas koeficients ir attiecība starp izelpoto ogļskābo gāzi un ieelpoto skābekli. Molekulārā skābekļa daudzums uzturvielās ir atšķirīgs .

Elpošanas koeficientu var izmainīt maltītes ieturēšana. Pētījumos pierādījies, ka ēšana divarpus vai mazāk stundas var paaugstināt elpošanas koeficientu par 0,03-0,05 vienībām; iespējams arī lielāks paaugstinājums (Fulmer et al 2015).

3.tabula Dažādas elpošanas koeficienta vērtības un tam atbilstoša enerģētiskā substrāta izmantojamība.

Table 3 Different values of Respiratory quotient and corresponding energetic substrate oxidation.

Elpošanas koeficients	Enerģijas daudzums no kopējā, %	
	Ogļhidrāti	Tauki
0,71	0	100
0,75	15,6	84,4
0,80	33,4	66,6
0,85	50,7	49,3
0,90	67,5	32,5
0,95	84,0	16
1,00	100,0	0

2. Materiāls un metodes

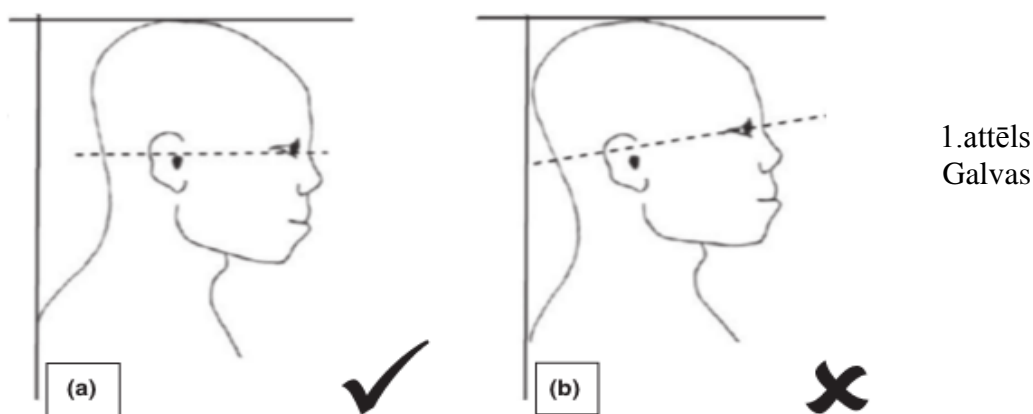
Pētījuma dalībnieki

Pētījumā piedalījās 23 klīniski veselas, fiziski netrenētas sievietes (proti, sievietes ar ikdienas fizisko aktivitāti, bet bez papildus fizisko aktivitāšu nodarbībām) vecumā no 23 līdz 33 gadiem.

Pētījums tika izstrādāts LU Cilvēka un dzīvnieku fizioloģijas katedrā, un tā veikšanai tika iegūta LU Eksperimentālās un klīniskās medicīnas institūta zinātniskās izpētes Ētikas komisijas atļauja.

Antropometrisko mērījumu veikšana un ķermeņa svara noteikšana

Auguma garuma mērīšana tika veikta ar auguma stadiometru ("KaWe", ražotājvalsts Vācija), personai apstājoties taisni, rokas turot brīvi gar sāniem un nostājoties pie sienas tā, lai papēži, sēžamvieta, mugurkauls un pakausis pieskartos sienai. Personai tika lūgts izslīdēt taisni un veikt ieelpu, galvas novietojums tika koriģēts tā, lai atbilstu Frankforta plaknei, proti, lai acs dobuma apakšējā mala būtu vērsta horizontāli un sakristu ar auss kanāla atveres augšējo malu (1.attēls; Madden *et al* 2012). Šādā stāvoklī tika noteikts attālums līdz galvas vidusdaļas augstākajam punktam. Auguma garuma mērījumi tika veikti personai esot bez apaviem.



novietojums auguma garuma mērījuma veikšanai (Madden *et al* 2012): a – pareizs galvas novietojums; b – nepareizs galvas novietojums.

Figure 1. Position of head for measuring height (Madden *et al* 2012): a- correct head position; b – incorrect head position.

Ķermeņa svara noteikšanai tika izmantoti mehāniskie svāri (Malli RTZ-125B; ražotājvalsts Somija), ar iespēju noteikt svaru līdz precizitātei 0,1 kg. Pētījumā ķermeņa svars tika noteikts ar precizitāti līdz 0,5 kg. Svēršanās laikā izmeklējamā persona bija ar maksimāli vieglu apģērbu, bez apaviem un smagiem aksesuāriem. Izmeklējamai personai tika lūgts nostāties svaru platformas centrā, rokas turot brīvi gar sāniem, skatienu vēršot uz priekšu.

Auguma garuma un ķermeņa svara vērtība tika izmantotas *ķermeņa masas indeksa* (ĶMI) aprēķināšanai:

Ķermeņa masas indekss ir parametrs, kas tiek izmantots ķermeņa svara raksturošanai atbilstoši auguma garumam. To aprēķina pēc formulas:

$$\text{ĶMI} = \text{svars (kg)} / (\text{auguma garums (m)})^2.$$

Lai raksturotu izmeklējamo personu svaru un veiktu personu iedalījumu salīdzināmās grupās, tika izmantota Pasaules veselības organizācijas ieteiktā kritērija klasifikācija (4.tabula).

4. tabula ĶMI un tam atbilstošais svara vērtējums pēc Pasaules Veselības organizācijas kritērijiem.

Table 4. The International Classification of adult underweight, overweight and obesity according to BMI.

ĶMI (kg/m²)	Svara kategorija
<18.5	Nepietiekams svars
18.50 - 24.9	Normāls svars
25 – 29.9	Liekais svars
30 – 34.9	1. klases aptaukošanās
35 – 39.9	2. klases aptaukošanās
>40	3. klases aptaukošanās

(http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html)

Ādas tauku kroku mērījumi

Ādas-tauku kroku mērījumi tika veikti, lai noteiktu ķermeņa relatīvo taukaudu masu. Ādas-tauku kroku mērījumi ar kroku kaliperu ir viena no biežāk izmantojamām metodēm taukaudu daudzuma noteikšanai, ja ir paredzēts liels izmeklējamo personu skaits. Šai metodei ir vairākas metodiskas variācijas mērāmo kroku skaitā. Pētījumā tika veikti 6 ādas-tauku kroku mērījumi, kuru summa tika izmantota relatīvās tauku masas aprēķinam pēc zinātnieka Juhaža izveidotās formulas (Jurazh, 1974). Juhaža formula ir viena no biežāk izmantojamām formulām relatīvās tauku masas aprēķināšanai pieaugušiem eiropēidās rases cilvēkiem.

Juhaža formula relatīvās tauku masas aprēķinam *sievietēm*:

$$\mathbf{BF \% = (0,1548 \times KrS) + 3,580;}$$

kur KrS – sešu ādas tauku kroku summa, izteikta milimetros.

Šīs formulas izmantošana paredz šādu sešu āda-tauku kroku biezumus: augšdelma mugurpuses kroka, zemlāpstiņas kroka, vēdera kroka, virs zarnu kaula kroka, augšstilba priekšpuses kroka un augšstilba mugurpuses kroka.

Tā kā ar kaliperu izmērītās krokas lielums milimetros neatbilst starptautiskās mērvienību sistēmas pieņemtajam metriskās vienības milimetram, ar kaliperu noteiktās krokas vērtība pirms izmantošanas formulā tika standartizēta, izmantojot sekojošu formulu:

$$\mathbf{Kr = 7.6659 \cdot X + 0.151,}$$

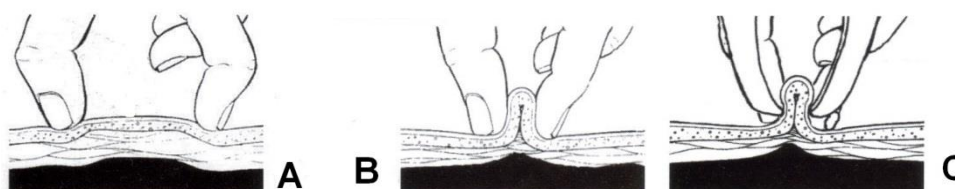
kur X ir ar kaliperu iegūtais krokas biezums, Kr – kalibrētais krokas biezums.

Krokas tika mērītas ar kroku kaliperu (*Gima. Plicometro Digitale*, ražotājvalsts Itālija), satverot un nomērot dubultu ādas un tai pieguļošā zemādas tauku slāņa biezumu. (2. attēls).



2.attēls. Ādas-tauku kroku kalipers.
Figure 2. Skinfold measurement caliper.

Ikvienu mērāmā kroka tika satverta ar īkšķi un rādītājpirkstu, satverto to, tā tika viegli pavilkta prom, lai tauku kroka attālinātos no tai pieguļošā, zemāk lokalizētā muskuļa. Kalipera kājiņas tika novietotas blakus pirkstiem, mērījuma brīdī pirksti tika atlaisti, nodrošinot, lai ādas kroku saspiež tikai kalipera radītais spiediens (3. att.). Visi nolasījumi tika veikti aptuveni 2 - 5 sekunžu laikā pēc kalipera kājiņu pielikšanas krokai.



3. attēls. Pareiza ādas-tauku kroku satveršanas tehnika (pa etapiem; A; B; C).
Figure 3. Correct skinfold measurement technique

(http://www.healthgoods.com/SlimGuide_Body_Fat_Skinfold_Caliper_p/chp-c120.htm)

Visu ķermeņa kroku mērījumi tika veikti vienā ķermeņa pusē: labročiem - labajā, kreīļiem – kreisajā pusē. Katrs mērījums tika atkārtots divas-trīs reizes pēc kārtas, un aprēķinos izmantota iegūtā vidējā vērtība.

Veicot kroku mērījumus, ir svarīgi ievērot krokas satveršanas vietu un virzienu. Tika kaliperētas šādas ādas-tauku krokas:

- *augšdelma mugurpuses jeb tricepsa jeb kroka* tika mērīta augšdelma aizmugures viduspunktā. Mērījuma laikā cilvēks brīvi stāvēja, sadalot ķermeņa svaru uz abām kājām vienmērīgi, ar atslābinātiem pleciem, rokas brīvi noliekot gar sāniem. Krokas virziens - vertikāls, paralēls rokas garenasij;
- *zemlāpstiņas jeb subskapulārā ādas kroka* tika mērīta pie lāpstiņas kaula apakšējā stūra, personai brīvi stāvot, svars sadalīts uz abām kājām, rokas nolaistas gar sāniem. Vispirms tika palpēta lāpstiņas mala, un ādas kroka satverta zem tās 45° leņķī. Ja lāpstiņas sataustīšana bija apgrūtināta, cilvēkam tika lūgts uz mirkli atlikt roku pleca locītavā, panākot lāpstiņas izvirzīšanos, pēc tam pleca josla atkal tika atbrīvota un mērījums veikts, cilvēkam esot iepriekš aprakstītajā pozīcijā (NHANES 2007);
- *vēdera jeb abdominālā kroka* tika mērīta 2 cm no nabas, kroka tika satverta vertikālā virzienā (Rostami *et al* 2013);
- *virsnaru kaula šķautnes jeb suprailiāķālā kroka* tika mērīta tieši virsnaru kaula šķautnes. Kroka tika satverta slīpi šķautnes virzienā, 45° leņķī. Šīs krokas mērījuma laikā izmeklējamā persona atradās stāvus; nenasprindzinot vēdera priekšējās sienas muskuļus;
- *augšstilba priekšpusē kroka* tika mērīta, personai stāvot un pārnesot ķermeņa svaru uz to kāju, kas netika mērīta, bet atslābinot tieši mērījuma kāju. Zemādas tauku kroka tika satverta augšstilba viduspunktā, starp gurnu un ceļa locītavu;
- *apakšstilba mugurpuses krokas* mērījums tika veikts, personai atrodoties sēdus tā, lai mērāmā kāja būtu saliekta 90° leņķī, atslābinot mērījumam paredzēto kāju. Ādas tauku kroka tika satverta vertikāli apakšstilba viduspunktā (Kannieappan *et al* 2013).

Aprēķinātā relatīvā tauku masa tika izmantota izmeklējamu personu beztauku masas (FFM – no angļu val. – *fat free mass*) aprēķiniem: pēc relatīvās tauku masas vērtības tika aprēķināta absolūtā tauku masa, kuras vērtība tika atņemta no kopējās ķermeņa svara vērtības:

$$\text{FFM (kg)} = \text{BM (kg)} - \text{BFM (kg)},$$

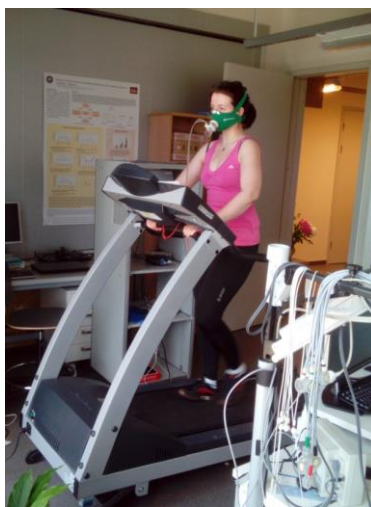
Kur FFM – ķermeņa beztauku masa; BM – ķermeņa svars (BM – no angļu val. – *body mass*); BFM – tauku masa (BFM – no angļu val. – *body fat mass*).

Netiešās kalorimetrija metode vielmaiņas intensitātes un enerģētisko pamatsubrātu oksidācijas noteikšanai

Netiešās kalorimetrijas metode ir viena biežāk lietotajām metodēm gan zinātnē, gan diagnostikā enerģētiskā metabolisma raksturošanai, izmantojot gāzu maiņas parametrus. Šo metodi vielmaiņas intensitātes un ar to saistītu parametru raksturošanai var izmantot gan laboratoriska miera, gan slodzes apstākļos.

Netiešās kalorimetrijas gadījumā pētījumā tika izmantots metabometrs VO2000 ar programnodrošinājumu *Breeze Suite*. Mērījumu gaitā tika reģistrēti gāzu maiņas parametri. Darbā izmantotais metabometrs gāzu maiņas parametrus uzrādīja vidējos, kas tika iegūti 20-40 sekunžu laikā. Izmantojot gāzu maiņas datus – skābekļa patēriņa un oglekļa dioksīda gāzes produkcijas tilpumus, metabometrs uzrādīja empīrisko vielmaiņas intensitātes vērtību (REE - no angļu val. - *resting energy expenditure*; kcal/dienā) un elpošanas koeficientu RQ (no angļu val. – *respiratory quotient*), kas tika izmantoti pētījumā rezultātu apstrādē.

Metabometrijas metode gāzu maiņas datu reģistrācijai tika izmantota personām datu reģistrācijā laboratorijas miera apstākļos un submaksimālā, standartizētā augošā slodzes testā – Brūsa modificētajā testā(4. attēls).



4.attēls. Gāzu maiņas datu reģistrācija slodzes testā.

Figure 4. Registration of gas exchange data during exercise workload test.

Gāzu maiņas datu reģistrācija ar netiešās kalorimetrijas metodi miera apstākļos.

Miera vielmaiņas noteikšana tika veikta laboratorijas apstākļos, maksimāli iespējamā fiziskā un psiholoģiskā komfortā. Pirms mērījuma reģistrācijas izmeklējamās personas tika lūgtas atturēties no maltītes un vielmaiņas intensitāti ietekmējoša cita veida vielu (piemēram, kofeīnu saturoši dzērieni, nikotīns cigaretēs) lietošanas un paaugstinātas fiziskas slodzes vismaz 4 stundas.

Pirms gāzu maiņas datu reģistrēšanas izmeklējamā persona adaptējās telpai un reģistrācijas apstākļiem (elpošanas maksas radītajam spiedienam u.c.) vismaz 20 min, esot guļus stāvoklī uz medicīniskās kušetes. Datu reģistrācija notika vismaz 10 min.

Submaksimālas, standartizētas, augošanas fiziskas slodzes tests.

Kā standartizētas submaksimālas slodzes tests pētījumā tika izmantots Brūsa testa modifikācija, kas tiek ieteikta kā slodzes tests personām nelielu ikdienas fizisko aktivitāti, kā arī personām ierobežotām kustību iespējām un lielu adipozo audu masu. Brūsa testa modifikācija ietver deviņus trīs minūšu slodzes posmus uz slīdošā celiņa (Noonan, Dean, 2000). Oriģinālais submaksimālas slodzes Brūsa tests, ko izmanto diagnostikai (bez modifikācijas), ietver septiņus trīs minūšu slodzes posmus, un salīdzinot ar testa modifikāciju, neietver modificētā testa pirmos divus posmus (Bruce *et al* 1949)

5. Tabula. Brūsa modificētā testa protokols.

Table 5. Modified Bruce treadmill test protocol

Slodzes posms	Ātrums (jūdzēs/stundā)	Ātrums (km/h)	Slīdceļņa pacēlums (%)
1	1.7	2,7	0
2	1.7	2.7	5
3	1.7	2.7	10
4	2.5	4.0	12
5	3.4	5.4	14
6	4.2	6.7	16
7	5.0	8.0	18
8	5.5	8.8	20
9	6.0	9.6	22

Maksimālā skābekļa patēriņa un enerģētisko pamatsubrātu oksidācijas intensitātes aprēķini

Lai novērtētu izmeklējamo personu slodzes intensitāti, pie kuras tiek sasniegta maksimālā enerģētisko pamatsubrātu – lipīdu un ogļhidrātu - oksidācijas intensitāte, tika izmantoti ar netiešās kalorimetrijas metodi iegūtie gāzu maiņas dati – skābekļa patēriņš un ogļskābās gāzes produkcijas lielums.

Enerģētisko pamatsubrātu oksidācijas intensitāte tika aprēķināta, izmantojot Peronnet un Massicotte formulas (Peronnet, Massicotte 1991):

$$\text{Lipīdu oksidācijas intensitāte (mg/min)} = -1.7012 * VCO_2 + 1.6946 * VO_2;$$

$$\text{Ogļhidrātu oksidācija intensitāte (mg/min)} = 4.585 * VCO_2 - 3.2255 * VO_2;$$

kur VCO_2 un VO_2 – ar netiešās kalorimetrijas metodi izelpā reģistrētā ogļskābās gāzes produkcija (l/min) un skābekļa patēriņš (l/min).

Izmeklējamo personu individuālā slodzes intensitāte fizioloģiski tika izvērtēta pēc diviem parametriem: *skābekļa izmantošanas intensitātes* un *sirdsdarbības frekvences*. Skābekļa izmantošanas intensitāte tika izteikta relatīvajās vienībās – procentos no personas maksimālā skābekļa patēriņa (% no VO_2 max). Tā kā maksimālo skābekļa patēriņu submaksimālā slodzē fiziski mazaktīvām personām praktiski nav iespējams noteikt, darbā tika aprēķināta teorētiski iespējā maksimālā skābekļa patēriņa vērtība katrai izmeklējamai personai atsevišķi, izmantojot Dobelna formulu (von Döbeln *et al* 1967):

$$VO_{2max} = 1,29 * [W*(SF - 60)^{-1}]^{0,5} * \log^{-0,000884*t}$$

VO_{2max} = maksimālais skābekļa patēriņš, l/min;

W – slodzes jauda pēdējā veiktajā slodzes posmā; kgm/min;

SF – sirdsdarbības frekvence slodzes pēdējā minūtē; pēdējā veiktajā slodzes posmā; reizes/min;

t – izmeklējamās personas vecums (gados);

log – naturālās bāzes logaritms.

Sirdsdarbības frekvences reģistrācija

Sirdsdarbības frekvence ir viens no biežāk izmantojamiem parametriem fizioloģiskai individuālās slodzes intensitātes raksturošanai (līdzīgi kā organisma skābekļa patēriņš).

Sirdsdarbības frekvence tika reģistrēta slodzes testa laikā un miera apstākļos, izmantojot Polar V800 (ražotājvalsts Somija) pulsometru, kas sastāvēja no elektrodu jostas, kas tika uzlikta uz izmeklējamās personas krūškurvja un signālu uztverošās ierīces rokas pulkstenī (Nr. attēls). Pulsometrs reģistrēja R-R intervālu pierakstu, kurš tālākai datu analīzei tika pārraidīts uz datoru, izmantojot Polar Flow programmu.



5.attēls. Polar V800 pulsometrs sirdsdarbības frekvences reģistrēšanai.
Figure 5. Polar V800 heart rate monitor.

Teorētiski iespējamai maksimālai sirdsdarbības frekvences (HR_{max}) aprēķināšanai tika izmantotas plaši izmantotā formula:

$$HR_{max} = 220 - \text{vecums (gados)}.$$

Datu statistiskā analīze

Datu statistiskā apstrāde tika veikta ar datorprogrammām Microsoft Excel, SigmaPlot 11.0.

Datu kopu normalitātes pārbaude tika veikta ar Kolmogorova-Smirnova testu (SigmaPlot 11.0).

Attēlu veidošana un vidējo aritmētisko vērtību, kā arī standartnoviržu aprēķināšana tika veikta Excel datorprogrammā.

Parametru atšķirību būtiskuma pārbaude starp pētījuma dalībnieku grupām tika veikta ar One-Way ANOVA. Ja dati piederēja parametriskam sadalījumam, tika izmantots Holm-Sidak tests. Savukārt, neparametriskiem datiem tika izmantots Kruskal-Wallis Analysis of Ranks, izmantojot Dunn's testu. Par statistiski nozīmīgām atšķirībām tika pieņemtas tādas, kurām $P < 0.05$.

3. Rezultāti un diskusija

Vispārējie personas raksturojošie dati

Pētījumā piedalījās 23 jaunas, pieaugušas, klīniski veselas, fiziski mazaktīvas sievietes vecumā no 23 līdz 33 gadiem. Sievietes pētījumam tika izraudzītas pēc brīvprātības principa. Pēc auguma garuma un ķermeņa svara rezultātiem, izmeklējamām personām tika aprēķināts ķermeņa masas indekss (KMI), un, balstoties uz šo rādītāju, pētījuma dalībnieces datu interpretācijai tika iedalītas trīs grupās:

1.grupa – *sievietes ar samazinātu tauku masu*. Šajā grupā tika iekļautas sešas sievietes, grupas vidējā ķermeņa masas indeksa vērtība bija $19,3 \pm 1,2 \text{ kg/m}^2$.

2.grupa – *sievietes ar normālu KMI* un attiecīgi arī normālu ķermeņa svaru. Grupā tika iekļautas deviņas sievietes, un to vidējā KMI vērtība - $24,4 \pm 1,7 \text{ kg/m}^2$.

3.grupa – *sievietes ar paaugstinātu KMI*, kas atbilst personām ar aptaukošanās pazīmēm. Grupā tika iekļautas septiņas sievietes, grupas vidējā KMI vērtība $32,2 \pm 1,5 \text{ kg/m}^2$.

Kaut arī grupu dalījums pēc ķermeņa masas indeksa vērtības neatbilst klasiski pieņemtajam Pasaules veselības organizācijas ieteiktajam iedalījumam, starp grupu ķermeņa masas indeksiem tika novērota statistiski būtiska atšķirība. Statistiski būtiskas atšķirības tika novērotas arī starp visu grupu svaru, kā arī relatīvo un absolūto ķermeņa tauku masu. Šāda atkāpe pētījuma dalībnieču grupu iedalījumā pēc PVO klasifikācijas ir pieļaujama un zinātniskajā literatūrā parādās arvien biežāk. PVO ieteiktā KMI klasifikācija nav ne dzimum-, ne vecumdiferencēta, kā arī ir neprecīza cilvēkiem ar endomorfa un ektomorfa somatotipa pazīmēm. Tādēļ, atbilstoši pētījuma dalībnieku grupām un pētījuma mērķim, ir pieļaujams pētījuma dalībnieku iedalījums grupās pēc parametra homogenitātes, ja starp homogēni izdalītajām grupām pastāv statistiski būtisks atšķirība parametra atšķirība, kā tas bija arī manā pētījumā.

3.tabula. Izmeklējamās personas raksturojošie parametri.

Table 3. Parameters of investigated persons.

Raksturojošais parametrs +/- SD (standartnovirze)	1. grupa	2. grupa	3. grupa
Auguma garums, m	1,70+/-0,05	1,68+/-0,08	1,67+/-0,08
Svars, kg	55,67+/-5,79*	70,28+/-9,6*	88,43+/-18,88*
ĶMI, kg/m²	19,30+/-1,2*	24,4+/-1,7*	32,2+/-1,5*
Relatīvā tauku masa, %	18,10+/-3,28*	26,52+/-2,81*	35,32+/-4,87*
Absolūtā tauku masa, kg	10,08+/-2,19*	19,42+/-4,53*	33,56+/-8,75*

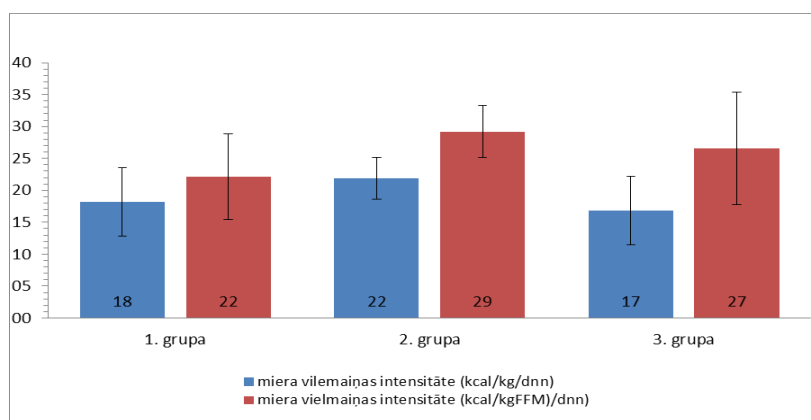
Miera vielmaiņas intensitāte

Miera vielmaiņas intensitāte raksturo enerģijas daudzumu, kas tiek patērēts ķermeņa pamatvajadzību (funkciju) nodrošināšanai un homeostāzes uzturēšanai miera apstākļos (Fulmer *et al* 2015).

Fizioloģiska miera apstākļos absolūtā vielmaiņas intensitāte visaugstākā ir otrajai grupai (1499,11+/-184,95 kcal/dnn), tai seko trešā grupa (1447,60+/-487,68), un salīdzinoši vismazākā miera vielmaiņas intensitāte vērojama pirmajai grupai (1067,57+/-293,31). Statistiski būtiska atšķirība novērojama starp pirmo un trešo grupu.

Izvērtējot vielmaiņas intensitāti uz kopējās masas kilogramu jeb, t.s., *īpatnējo vielmaiņas intensitāti* uz masas kilogramu, pirmajai grupai tā bija 18,1+/-5,4 kcal/kg/dnn, otrajai - 21,9+/-3,33 kcal/kg/dnn, un trešajai grupai – 16,9+/-4,94 kcal/kg/dnn (6. attēls). Vērtējot vielmaiņas intensitāti uz beztauku masas kilogramu (FFM – no angļu val.– *fat free mass*), visintensīvākais enerģijas patēriņš novērojams otrajai grupai – 29,2+/-4,1kcal/kgFFM/dnn, kam seko trešā grupa ar 26,6+/-5,3

kcal/kgFFM/dnn, un salīdzinoši mazāka īpatnējā vielmaiņas intensitāte uz beztauku masu intensitāte ir pirmajā grupā – 22,2±/–6,7 kcal/kgFFM/dnn. Tomēr šajos rādītājos starp visām grupām nepastāv statistiski būtiskas atšķirības.



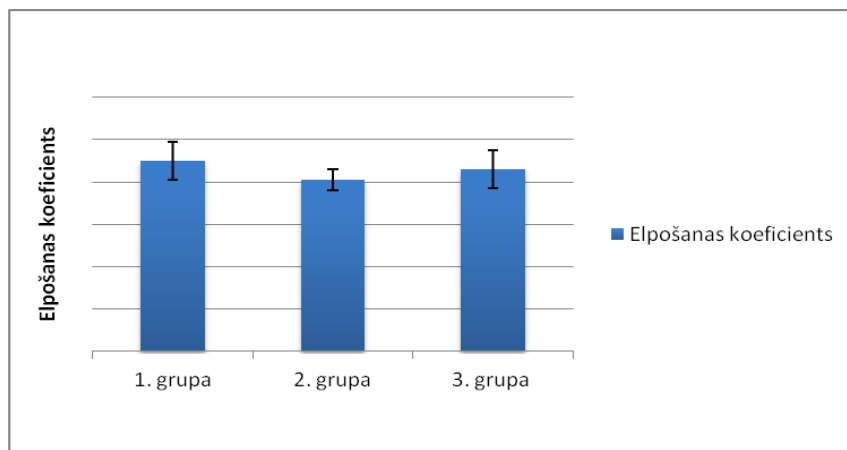
6. attēls. Īpatnējā miera vielmaiņas intensitāte pētījuma dalībnieču grupās.

Figure 6. Relative resting metabolic rate in the investigated groups.

Gāzu maiņas koeficients

Elpošanas koeficients RQ (no angļu val. - *respiratory quotient*) ir parametrs, kas organismā audu līmenī norāda uz ogļskābās gāzes produkcijas attiecību pret skābekļa izmantošanu tai pašā laika vienību. Savukārt, ar pētījumā izmantotās netiešās kalorimetrijas metodi iegūtā elpošanas gāzu attiecība izelpojamā gaisā jeb plaušu līmenī, literatūrā tiek dēvēta par *gāzu maiņas koeficientu* un apzīmēta kā RER (no angļu val. - *Respiratory exchange ratio*).

Zinot, ka katram enerģētiskajam substrātam raksturīga sava oksidācijas intensitāte un noteikts izmantojamā skābekļa daudzums, oksidācijas rezultātā rodas noteikts ogļskābās gāzes daudzums. Analizējot pētījumā iegūtos datus (skat 7. attēlu), var secināt, ka visās pētījuma dalībnieču grupās miera apstākļos enerģijas ieguvē nav izteikta kāda enerģētiskā substrāta oksidācijas prevalences, bet oksidācijā tiek izmantots jaukts enerģētiskais substrāts (tiek izmantoti gan lipīdi, gan ogļhidrāti). Pirmās grupas vidējais gāzu maiņas koeficients miera apstākļos ir 0,90±/–0,09, otrajai grupai – 0,81±/–0,05, un trešajai grupai – 0,86±/–0,09. Pirmajā un trešajā grupā ir izteiktāka tendence enerģijas ieguvē izmantot vairāk ogļhidrātus, bet otrajai grupai – oksidācijas tendence ir novirzīta uz triglicerīdu oksidāciju. Tomēr statistiski būtiskas atšķirības grupu starpā netiek novērotas.



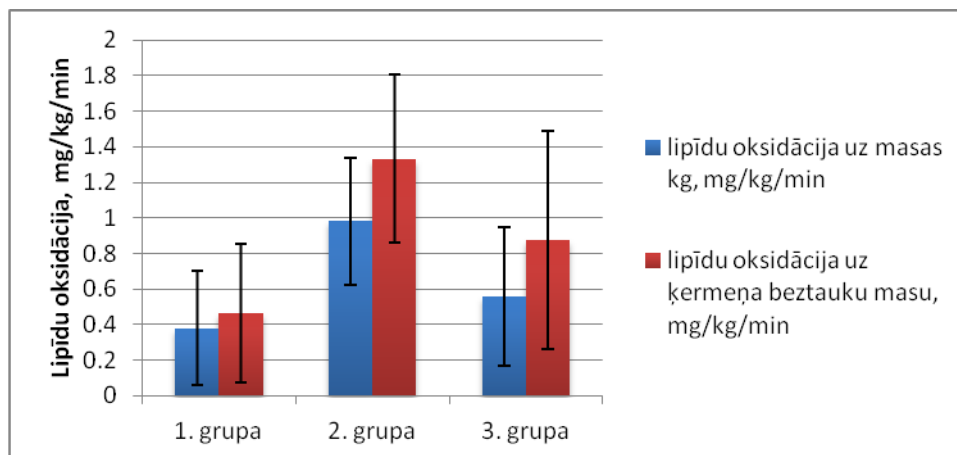
7. attēls. Elpošanas koeficienta vērtība pētījuma dalībnieču grupās.

Figure 7. Respiratory quotient in the investigated groups.

Lipīdu oksidācijas intensitāte miera apstākļos

Izmantojot gāzu maiņas datus, kas iegūti ar netiešās kalorimetrijas metodi, visām izmeklējamām personām tika aprēķināta enerģētisko pamatsubstrātu – tauku un ogļhidrātu - oksidācijas intensitāte (skat. Materiāli un metodes). Tika noteikta gan absolūtā, gan īpatnējā uz ķermeņa masas kilogramu, gan īpatnējā oksidācijas intensitāte uz beztauku masas kilogramu.

Vidējie rezultāti par aprēķinātām īpatnējās lipīdu oksidācijas vērtībām atspoguļoti 8. attēlā. Kā redzams no attēla, pirmajai pētījuma dalībnieču grupai lipīdu oksidācijas intensitāte ir vismazākā – $0,38 \pm 0,32$ mg/kg/min, otrajai grupai īpatnējās lipīdu oksidācijas līmenis ir vairāk kā divas reizes lielāks, sasniedzot $0,98 \pm 0,36$ mg/kg/min, bet trešās grupas rādītājs atrodas pa vidu starp pirmās un otrās grupas datiem, uzrādot $0,56 \pm 0,39$ mg/kg/min.



8. attēls. Lipīdu oksidācija miera apstākļos.

Figure 8. Resting lipid oxidation.

Lipīdu oksidāciju apskatot uz beztauku masas vienību, visaugstākais rādītājs – $1,33 \pm 0,46$ mg/kgFFM/min, novērojams otrajai grupai, trešajai grupai šis rādītājs ir zemāks – $0,87$ mg/kgFFM/min, un pirmajai grupai $0,46 \pm 0,39$ mg/kgFFM/min.

Statistiski būtiska atšķirība lipīdu oksidācijas intensitātē, salīdzinot grupu dalībnieku rezultātus, redzama starp pirmo un otro grupu.

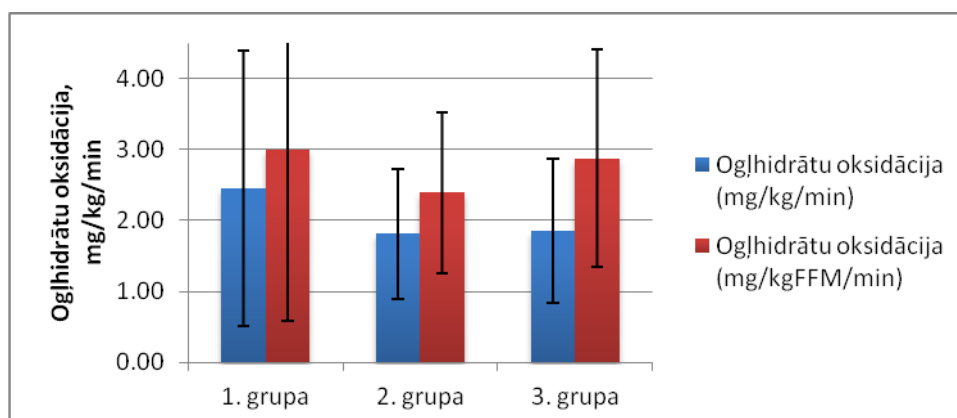
Viens no šo atšķirību cēloņiem varētu būt tas, ka aprēķinos par beztauku masu klasiski pieņemts uzskatīt visu organisma beztauku audu kopumu, tātad orgānus, kaulus, muskuļus, šķidrumus. Tomēr miera apstākļos orgānu metabolā aktivitātē ir daudz nozīmīgāka, nekā muskuļu, kas arī spēj dot milzīgu atšķirību dažādu personu miera metabolismu intensitātē (Byrne *et al* 2003).

Ogļhidrātu oksidācijas intensitāte miera apstākļos

Ogļhidrātu oksidācijas intensitāte miera apstākļos dažādām grupām likumsakarīgi ir pretējā sadalījumā, salīdzinot ar lipīdu oksidācijas intensitāti – pirmajai grupai tā ir visintensīvākā, sasniedzot $2,5 \pm 1,9$ mg/kg/min, otrajai – vismazākā, sasniedzot $1,8 \pm 0,9$ mg/kg/min; trešās grupas vidējais rādītājs atrodas pa visu starp pirmo un otro grupu rādītājiem, proti, $1,9 \pm 1,0$ mg/kg/min.

Aprēķinot īpatnējo ogļhidrātu oksidācijas intensitāti uz beztauku masas kilogramu, visintensīvāk ogļhidrātus oksidē pirmās grupas pārstāvji – $3,0 \pm 2,4$

mg/kgFFM/min, kam seko trešās grupas rezultāts ar 2,9 +/- 1,5 mg/FFkg/min, un otrā grupa ar 2,4+/1,1mg/kgFFM/min



9. attēls. Ogļhidrātu oksidācija miera apstākļos.

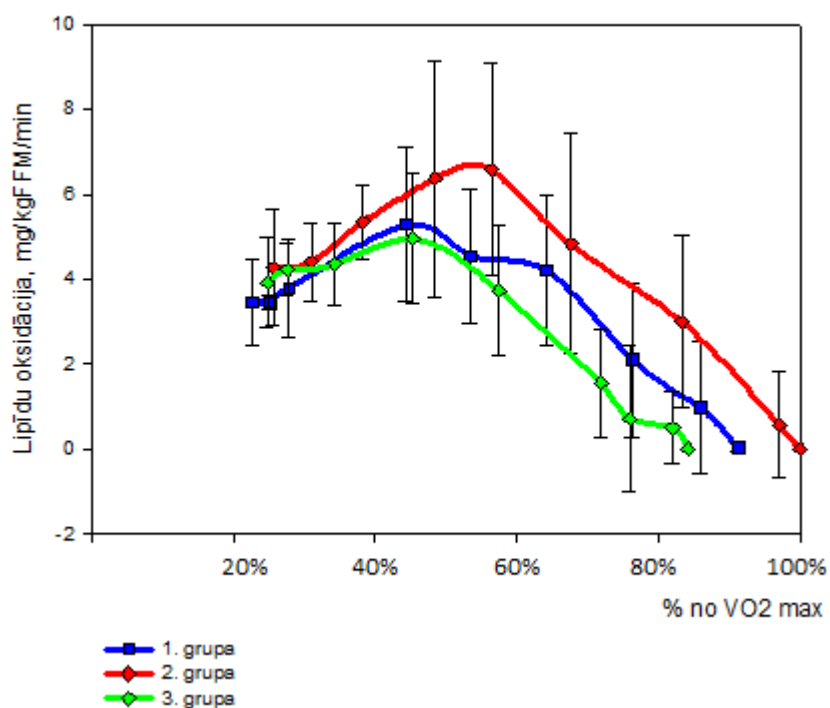
Figure 9. Resting carbohydrate oxidation.

Vielmaiņas intensitātes, enerģētiskā substrāta oksidācijas intensitātes un sirdsdarbības frekvences izmaiņas standartizētā augošā slodzē

Lipīdu oksidācijas intensitāte atkarībā no skābekļa patēriņa

Brūsa modificētais slodzes tests ir izstrādāts cilvēkiem ar mazkustīgu dzīvesveidu, kas nav spējīgi vai kuriem nav ieteicams veikt augstas intensitātes slodzes testu. Tā kā manā pētījumā piedalījās personas ar fiziski mazaktīvu dzīvesveidu, tad ne visiem pētījuma dalībniekiem šādā testā bija iespējams noteikt maksimālo skābekļa patēriņu. Tāpēc visiem pētījuma dalībniekiem maksimālā skābekļa patēriņa noteikšanai tika izmantots matemātisks aprēķins, izmantojot fon Dobelna (von Dobelna) formulu (skat. nodaļu “Materiāli un metodes”).

Izvērtējot lipīdu oksidācijas intensitātes atkarību no slodzes intensitātes, kas tiek vērtēta pēc skābekļa patēriņa (10. attēls), visās pētījuma dalībnieču grupās izdalās maksimālais lipīdu oksidācijas intensitātes diapazons, kas svārstās 20 līdz 35 procentu robežās.



10. attēls. Lipīdu oksidācijas izmaiņas atkarībā no skābekļa patēriņa.

Figure 10. Lipid oxidation depending on oxygen consumption

Attēlā ir iespējams novērot, ka otrajai grupai pie visplašākās skābekļa izmantojamības amplitūdas saglabājas maksimālā lipīdu oksidācijas intensitāte, proti, 40 līdz 75% no maksimālā skābekļa patēriņa, kas visas grupās tika sasniegts no 4. līdz 6. slodzes posmam.

Pirmajai grupai maksimālā lipīdu oksidācijas intensitāte tika sasniegta pie slodzes, kas atbilst 40 līdz 50% no VO2max. Trešajai grupai maksimālās lipīdu oksidācijas intensitātes diapazons bija visšaurākais, sasniedzot 35 līdz 55 % no VO2max. Šie rezultāti saskan ar zinātniskajā literatūrā minēto, ka netrenētiem cilvēkiem maksimālā lipīdu oksidācija tiek sasniegta starp 47 – 52% VO2max (Achten, Jeukendrup 2004). Turklāt, rēķinot uz liesās masas kilogramu, grupai ar palielināto tauku masu, maksimālā lipīdu oksidācijas intensitāte turpinājās ļoti neilgu brīdi pie nelielas slodzes intensitātes. Zināms, ka cilvēkiem ar aptaukošanos, lipīdu oksidācijas maksimums tiek sasniegts ātrāk, un ātrāk seko arī lipīdu oksidācijas kritums (Perez-Martin *et al* 2001).

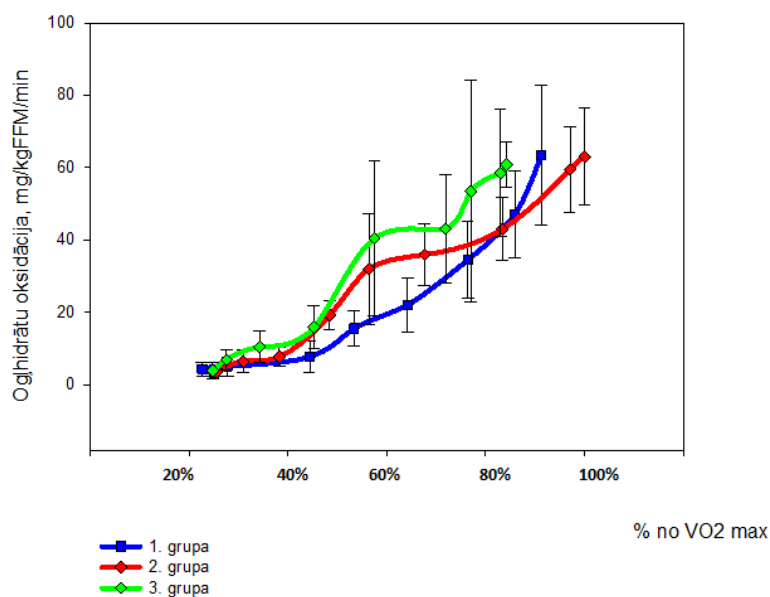
Jāatzīmē, ka, sākot no trešā slodzes posma līdz pat slodzes testa beigām, 3. grupai visos slodzes posmos ir viszemākā ogļhidrātu oksidācijas intensitāte trīs grupu

starpā. Kaut arī tendence iezīmējas visos slodzes posmos, statistiski būtiska atšķirība redzama tikai 5. un 6. slodzes posmā.

Visām grupām, pēc maksimālās lipīdu oksidācijas intensitātes sasniegšanas iestājas straujš lipīdu oksidācijas intensitātes kritums, atgriežoties miera oksidācijas līmenī. Savukārt, slodzes intensitātei turpinot pieaugt, kritums turpinās līdz pilnīgam lipīdu oksidācijas izsīkumam, kad enerģētiskais metabolisms pāriet uz anaerobu enerģijas ieguves veidu, kurā kā enerģētiskais substrāts tiek izmantoti ogļhidrāti.

Ogļhidrātu oksidācijas intensitāte atkarībā no skābekļa patēriņa

Līdzīgi kā lipīdu oksidācijas gadījumā, pētījuma rezultātu ieguvē tika aprēķināta ogļhidrātu oksidācijas dinamika slodzes testa laikā. Ogļhidrātu oksidācijas pieaugums novērojams visos augošas intensitātes slodzes posmos visa testa laikā visām grupām (11. attēls) Slodzes intensitātei atrodoties robežās, kas atbilst līdz aptuveni 40% noVO₂ max, ogļhidrātu oksidācijas pieaugums ir mērens un starp pētījuma dalībnieču grupām statistiski būtisku atšķirību nenovēro. Slodzei turpinot pieaugt, vērojams straujāks ogļhidrātu oksidācijas kāpums, un trešajā līdz sestajā posmā iespējams novērot statistiski būtisku atšķirību ogļhidrātu oksidācijas intensitātē starp visām grupām. Visstraujākais pieaugums ogļhidrātu izmantošanā vērojams 3. grupai, kurai pie slodzes, kas atbilst aptuveni 80% no VO₂max sasniedz tādu ogļhidrātu oksidācijas intensitāti, kuru pirmās un otrās grupas dalībnieces sasniedz slodzē, kas aptuveni atbilst 90% VO₂ max. Šādu rezultātu varētu izskaidrot fakts, ka personām ar lielāku tauku masu ir ierobežotas spējas oksidēt lipīdus, tādēļ šiem cilvēkiem enerģijas ieguve ir daudz lielākā mērā balstīta uz ogļhidrātu oksidāciju (Bernardoni *et al* 2014).



11. attēls. Ogļhidrātu oksidācijas izmaiņas atkarībā no skābekļa patēriņa

Figure 11. Carbohydrate oxidation depending on oxygen consumption

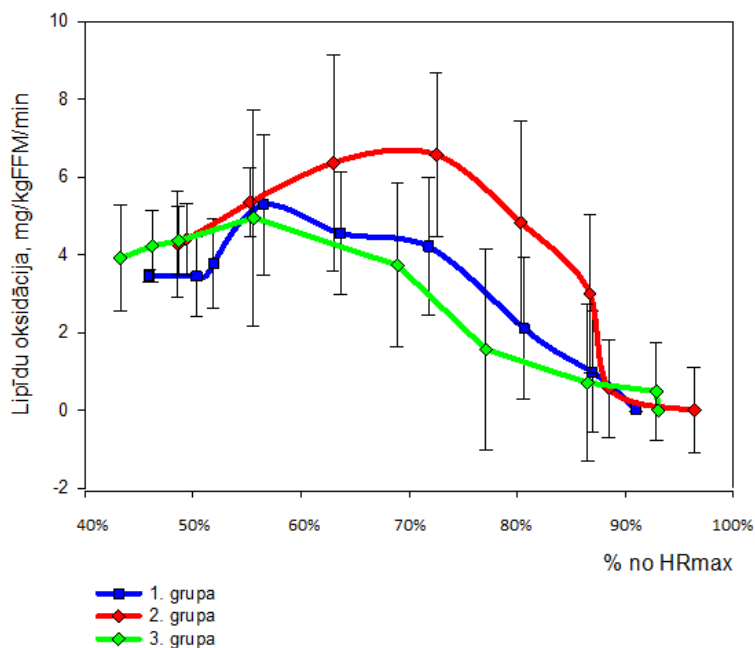
No rezultātiem, kas iegūti, analizējot lipīdu un ogļhidrātu oksidāciju, varam secināt, ka 3. grupai visātrāk notiek dominējošā enerģētiskā substrāta nomaiņa no lipīdiem uz ogļhidrātiem (Crossover point). Tomēr šādi nav iespējams noteikt, vai enerģētisko substrātu izmantojamības līdzsvara izmaiņas slodzes laikā ir aptaukošanās cēlonis, vai sekas (Perez-Marin *et al* 2001).

Lipīdu oksidācijas intensitāte atkarībā no sirdsdarbības frekvences

Tā kā viens no pētījuma uzdevumiem bija ar zināmu lietišķu ievirzi – noskaidrot sirdsdarbības frekvences diapazonu, pie kura tiek sasniegta visaugstākā lipīdu oksidācijas intensitāte, tad pētījuma gaitā tika meklēta saikne starp slodzes intensitāti un sirdsdarbības frekvences izmaiņu dinamiku. Sirdsdarbības frekvences diapazons, pie kura tiek sasniegta visaugstākā lipīdu un ogļhidrātu oksidācijas intensitāte tika izteikta procentos no maksimālās sirdsdarbības frekvences, kas tika aprēķināta katrai izmeklējamai personai (skat. nodaļu “Materiāls un metodes”).

Likumsakarīgi, ka otrajai grupai, kurai tika konstatēts visplašākais lipīdu oksidācijas diapazons, slodzes intensitāti izvērtējot pēc procentiem no maksimālā skābekļa patēriņa, pētījumā tika novērots arī visplašākais sirdsdarbības frekvenču

diapazons, kurā vērojama augsta lipīdu oksidācijas intensitāte. Šāda likumsakarība bija sagaidāma, jo skābekļa patēriņa dinamika un sirdsdarbības frekvences izmaiņas slodzē saista lineāra sakarība. Otrajai grupai augstākais lipīdu oksidācijas intensitātes diapazons atbilst slodzei 60–75% no maksimālās sirdsdarbības frekvences (HRmax), kas 23 līdz 33 gadus vecām sievietēm atbilst 122-148 sirdsdarbības cikliem minūtē.



12. attēls. Lipīdu oksidācijas izmaiņas atkarībā no sirdsdarbības frekvences.

Figure 12. Lipid oxidation depending on heart rate.

Trešajai grupai maksimālās lipīdu oksidācijas intensitātes diapazons ir mazāks, un atbilst mazākām sirdsdarbības frekvenču vērtībām – 50 līdz 60% no HRmax, kas atbilst 94 – 118 sitieniem minūtē.

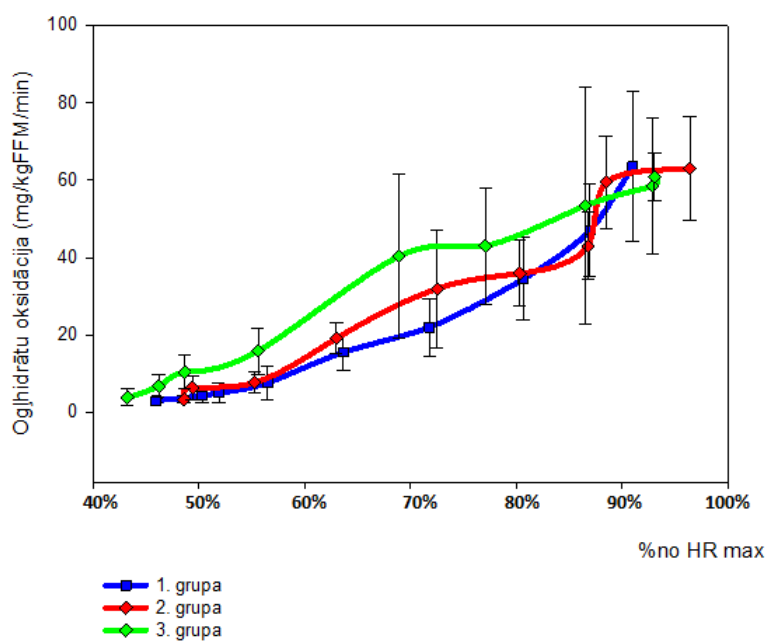
Pirmās grupas maksimālā lipīdu oksidācija atrodas, fiziskajai slodzei esot tādā intensitātē, lai tiktu sasniegti 50 – 65% no maksimālās sirdsdarbības frekvences, tātad 94 līdz 128 sitieniem minūtē.

Rezultāti nedaudz atšķiras no Vanga un kolēģu (Wang *et al* 2012.) veiktā pētījuma, kura rezultātā nonākts pie secinājuma, ka sievietēm, kas cieš no aptaukošanās, maksimālā tauku oksidācijas intensitāte notiek pie slodzes, kas atbilst vidēji 62% no HRmax. Tomēr, jāatzīmē, ka šis pētījums veikts ar citas rases

pārstāvēm, un šeit var izpausties hormon-sensitīvo lipāžu aktivitātes atšķirības, kas rezultātu interpretācijā var ieviest korekcijas.

Ogļhidrātu oksidācijas intensitāte atkarībā no sirdsdarbības frekvences

Kā jau tika sagaidīts, arī ogļhidrātu oksidācijas intensitātē atklājās, ka trešās grupas sievietēm strauja ogļhidrātu oksidācijas palielināšanās sākās jau no trešā slodzes posma, kad tika sasniegti aptuveni 50% no maksimālās sirdsdarbības frekvences (13. attēls). Pirmajai un otrajai grupai straujš lipīdu oksidācijas kāpums sākās pie 60% no HRmax. Tam, ka cilvēkiem ar palielinātu tauku masu zemākās slodzes intensitātēs enerģētiskajā metabolismā sāk dominēt ogļhidrātu izmantošana, iespējami vairāki cēloņi – mitochondrialās disfunkcijas, beta oksidācijas reakciju nepilnības, kā arī hormonu ietekmes uz lipīdu oksidāciju īpatnības (piemēram, samazināts adipokīnu līmenis, palielināts leptīna daudzums, augsts insulīna līmenis).



13. attēls. Ogļhidrātu oksidācijas izmaiņas atkarībā no sirdsdarbības frekvences

Figure 13. Carbohydrate oxidation depending on heart rate

4. Secinājumi

1. Gāzu maiņas koeficienta vērtība, kā arī tauku oksidācijas intensitāte norāda, ka sievietēm ar normālu ķermeņa tauku masu miera apstākļos ir izteiktāka tendence kā enerģētisko substrātu izmantot taukus, salīdzinot ar cilvēkiem, kuriem relatīvā tauku masa ir samazināta vai paaugstināta.
2. Sievietēm ar pazeminātu un paaugstinātu ķermeņa tauku masu maksimālā lipīdu oksidācijas intensitāte, ir pie zemākas fiziskās slodzes intensitātes nekā personām ar normālu tauku masu.
3. Sievietēm ar paaugstinātu tauku masu fiziskas slodzes intensitāte, kas visefektīvāk stimulē lipīdu oksidāciju, ir zemas līdz vidējas intensitātes slodze, kas atbilst 35-55% no maksimālā skābekļa patēriņa vai 50-60% no maksimālās sirdsdarbības frekvences.

5. Pateicība

Izsaku pateicību savai maģistra darba vadītājai Līgai Ozoliņai Mollai par neizmērojamo palīdzību, darbu, atsaucību un ieinteresētību, kas ieguldīti mana darba tapšanā.

Izsaku pateicību visam Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultātes Cilvēka un dzīvnieku fizioloģijas katedras kolektīvam par līdzās būšanu, atbalstu, padomiem un palīdzību ar tehniskiem risinājumiem.

6. Literatūras saraksts

1. Achten J, Jeukendrup A.E. 2004. Optimizing fat oxidation through exercise and diet, *Nutrition*. Jul-Aug;20(7-8):716-2
2. Alexopoulos N., Katsiris D., Raggi P. 2014. Visceral adipose tissue as a source of inflammation and promoter of atherosclerosis, *Atherosclerosis* 233 104-112
3. Ali A.T., Hochfeld W. E., Myburgh R., Pepper M. S. 2013. Adipocyte and Adipogenesis, *European Journal of Cell Biology* 92, 229 – 236
4. Bays H.E., Jones P.H, Jacobson A.T., Cohen D.E., Orringer C.E., Kothari S., Azagury D.E., Morton J, Nguyen T.N., Westman E.C., Horn B.D., Scinta W., Primack C. 2016. Lipids and bariatric procedures , *Journal of Clinical Lipidology*, 10, 33–57
5. Bergouignan A., Kealey E.H., Schmidt S.L., Jackman M.R., Bessesen D.H. 2014. Twenty-four hour total and dietary fat oxidation in lean, obese and reduced- obese adults with and without a bout of exercise, *Plos|one*
6. Bernardoni B., Mitchell N., Hughes M.J., Clayto R.P Potteiger J. 2014. Effects of different meal compositions after exercise on fat and carbohydrate oxidation in women with different levels of body fat, *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. Vol. 39 Issue 5, p538, 6 p.
7. Brooks G.A., Mericier J. 1994. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercises: the „Crossover concept, *Medicine*, 1994
8. Brun J.F., Romain A.J., Mercier J. 2011. Maximal lipid oxidation during exercise ($Lipox_{max}$): From physiological measurements to clinical applications. Facts and uncertainties, *Science & Sports*, Volume 26, Issue 2, April 2011, Pages 57–71
9. Bruce A.R.; Pearson R.; Lovejoy F.W, Jr.; Paul N. G. Yu; Brothers G.B., 1949. Variability of respiratory and circulatory performance during standardized exercise, *J Clin Invest* 28 (6 Pt 2): 1431–1438.
10. Byrne N.M., Weinsier R.L., Hunter G.R., Desmond R., Patterson M.A., Darnell B.E., Zuckerman P.A. 2003. Influence of distribution of lean body mass on resting

metabolic rate after weight loss and weight regain: comparison of responses in white and black women, *Am J Clin Nutr.* 2003 Jun;77(6):1368-7

11. Djelic M, Mazic S.,Lazovic B., Zikic D., Sumarac D.M., Micic D. *et al* 2015. Carbohydrate and fatty acid metabolism responses to a graded maximal exercise test and recovery period in athletes and sedentary subjects, *Science&Sports*, Volume 30, Issue 9, Pages 231-327

12. Ferrannini E. 2004. The theoretical bases of indirect calorimetry: A review, *Metabolism*, 2004., 3:287-301

13. Fosbøl M. Ø, Zerahn B. 2015. Contemporary methods of body composition measurement, *Clinical Physiology and Functional Imaging*, Volume 35, Issue 2, pages 81–7

14. Fullmer S., Benson-Davies S., Earthman C.P., David C. Frankenfield, Gradwell E., Lee S.P., Piemonte T., Trabulsi J. , 2015, Review of Best Practices for Performing Indirect Calorimetry in Healthy and Non–Critically Ill Individuals , *Jornal Of the Academy of Nutrition and Dietetics* , Volume 115, Issue 9, Pages 1417-1462

15. Gallagher D., De-Lagge M 2011. Body composition (Sarcopenia) in obese patients: implications for care in the intensive care unit. *Journal of parenteral and enteral nutrition*, 35: 21s-28s.

16. [Gallagher D](#), [Heymsfield SB](#), [Heo M](#), [Jebb SA](#), [Murgatroyd PR](#), [Sakamoto Y](#) Healthy percentage body fat ranges: an approach for developing guidelines based on body mass index, *Am J Clin Nutr.* 2000 Sep;72(3):694-701.

17. Gavarry O, Aguer C., Delextrat A., Lentin G., Ayme K. & Boussuges A. 2015. Severely obese adolescent girls rely earlier on carbohydrates during walking than normal-weight matched girls, *Journal of Sports Sciences*, 33:18, 1871-1880

18. Guiraudou M., Fédou C., Romain A.J. , Sferlazza A., Calas E., Brun J.-F. Effects over one year of low-intensity endurance exercise targeted at the level of maximal lipid oxidation, September 2015

19. http://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/nhanes_07_08/manual_an.pdf

20. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>

21. Jeonghwan Lee, Hye Jin Kim, Belong Cho, Jin Ho Park, Ho Chun Choi, Cheol Min Lee, Seung Won Oh, Hyuktae Kwon, Nam Ju He. 2015. Abdominal Adipose Tissue was Associated with Glomerular Hyperfiltration among Non- Diabetic and

22. Kannieappan L.M., Deussen A.R. , Grivell R.M., Yelland L., Dodd J.M. Developing a tool for obtaining maternal skinfold thickness measurements and assessing inter-observer variability among pregnant women who are overweight and obese, *BMC Pregnancy and Childbirth* 2013, 13:42
23. Lafontan M. Adipose tissue and adipocyte dysregulation, *Diabetes Metab.* Feb 2014 ;40(1):16-28.
24. Lefterova M., Lazar M.A.. 2009. New developments in adipogenesis. *Trends EndocrinolMetab* 20: 107–114
25. Madden A.M., Smith S. Body composition and morphological assessment of nutritional status in adults: a review of anthropometric variables, *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, Volume 29, Issue 1, pages 7–25, February 2016
26. Mansell P.I., Macdonald I.A. 1990. Reappraisal of the Weir equation for calculation of metabolic rate, *Am. J. Physiol.*, 258 (6): 1347–1354.
27. Marcadenti A., Oliveira de Abreu-Silva E. 2015. Different adipose tissue depots: Metabolic implications and effects of surgical removal *Endocrinología y Nutrición* 62(1)
28. Martinez-Rodriguez A., Collado R.E .and Vicente-Salar N. Body composition assessment of paddle and tennis adult male players,. *Nutr Hosp.* 2015;31(3):1294-1301
29. Mazić S , Lazović B., Đelić M , Suzić J., Aćimović T Brkić P. 2014. Body Composition Assessment In Athletes: A Systematic Review, *Med Pregl; Lxvii* (7-8): 255-260
30. Mazzei M. 2015. Body composition, *Salem Press Encyclopedia of Health*, January 2015
31. Romijn J.A., Coyle E.F., Sidossis L.S., Rosenblatt J., R., Wolfe R.R. 2000. Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women, *Journal of Applied Physiology* Vol. 88 no. 5, 1707-1714
32. Rostami M., Yekta A.A.H, Noormohammadpour P., Farahbakhsh F., Kordi M., Kordi R. 2013. Relations Between Lateral Abdominal Muscles Thickness, Body Mass Index, Waist Circumference and Skin Fold Thickness, *Acta Medica Iranica* Vol. 51 Issue 2, p101-106. 6p.
33. Rubana I. M. 2009. *Uzturs fiziskā slodzē*, Rīga, Raka,
34. Kim Se- Hong, Ju- hye Chung, Sang- Wook Song, Won Sang Jung, Yun- Ah

Lee and Ha- Na Kim, 2016. Relationship between deep subcutaneous abdominal adipose tissue and metabolic syndrome: a case control study, Kim *et al* Diabetol Metab Syndr

35. Siervo M., Oggioni C., Lara J., Celis-Morales C., Mathers J.C., Battezzati A., Leone A., Tagliabue A., Spadafranca A., Bertoli S. 2015. Age-related changes in resting energy expenditure in normal weight, overweight and obese men and women, *Maturitas* 4: 406-413.

36. Sijie T., Wang X., Wang J. 2012. Effects of supervised exercise training at the intensity of maximal fat oxidation in overweight young women, *Journal of Exercise Science & Fitness*, 10

37. Wajchenberg B.L. 2000. Subcutaneous and visceral adipose tissue: their relation to the metabolic syndrome, *Endocr Rev.* 21(6):697-738.

38. Weir J.B.V. 1949. New Methods for Calculating Metabolic Rate with Special Reference to Protein Metabolism,– *J. Physiol.*, 109, 1–9

Dokumentārā lapa

Maģistra darbs „Lipīdu oksidācijas intensitātes, sirdsdarbības frekvences un organisma skābekļa patēriņa izvērtējums jaunām, pieaugušām sievietēm standartizētā augošā slodzē” 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: Zane Gustiņa

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: Dr.biol., Asoc.prof. Līga Ozoliņa Molla

Recenzents: Dr.biol., Asoc.prof. Līga Plakane

Darbs iesniegts Cilvēka un dzīvnieku fizioloģijas katedrā

06.06.2016. Metodīķe:

Darbs aizstāvēts maģistra gala pārbaudījuma komisijas sēdē

10.06.2016. prot. Nr. , vērtējums

Komisijas sekretāre: