

Darba mehāniskās efektivitātes novērtēšana dažādas kvalifikācijas riteņbraucējiem

Inese Pontaga, *Latvian Academy of Sport Education*, Janis Lanka, *Latvian Academy of Sport Education*, Andris Konrads, *Latvian Academy of Sport Education*

Kopsavilkums. Darba mērķis ir salīdzināt riteņbraukšanas darba mehānisko efektivitāti un kustību ekonomiskumu 14 – 15 un 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem. Piedalījās 24 riteņbraucēji, kuri veica pakāpeniski pieaugošu slodzi uz mehāniskā veloergometra. Pēc gāzu maiņas rādītājiem aprēķinājām darba mehāniskās efektivitātes koeficientu (MEK) un kustību ekonomiskumu (EC) aerobās (AeS) un anaerobās (AnS) maiņas sliedņu slodzēs. AnS slodzē ir konstatēti ticami augstāks MEK un EC 16 – 17 gadu vecumā nekā 14 – 15 gadus veciem riteņbraucējiem, $p < 0,002$. Sakarība starp MEK un veloergometra jaudu nav konstatēta, $p > 0,05$. AeS slodzē, pieaugot darba jaudai, palielinās MEK un EC.

Atslēgas vārdi: darba mehāniskā efektivitāte, kustību ekonomija, izturība, riteņbraucēji, slodzes tests.

I. IEVADS

Cilvēka fiziskās darba spējas ir atkarīgas no trīs galvenajiem faktoriem: cilvēka enerģētiskā potenciāla, kustību ekonomiskuma un enerģētisko resursu izmantošanas pakāpes. Uzskata, ka iespējas paaugstināt galveno enerģētisko sistēmu ietilpību un jaudu mūsdienu elites līmeņa sportistiem ir praktiski izsmeltas. Šādos apstākļos pieaug kustību ekonomiskuma un enerģijas potenciāla efektīvas izmantošanas loma. Aprēķini, piemēram, rāda, ka paaugstinot skrējēja kustību ekonomiskumu par 2%, viņa rezultāts 10000 m skrējienā uzlabotos par 30 sekundēm, bet maratona skrējienā vairāk par 3 minūtēm [1, 2]. Skaitliski ekonomiskumu raksturo darbības rezultāta (mehāniskā darba) un enerģijas patēriņa attiecība – mehāniskās efektivitātes koeficients (MEK) [1], kas pēc savas būtības ir analogisks darba lietderības koeficientam (DLK). MEK galvenā atšķirība no DLK ir tā, ka tā aprēķināšanā tiek ņemts vērā ne tikai tas enerģijas daudzums, kas patērēts redzamā mehāniskā darba veikšanai, bet arī tā enerģija, kas patērēta dzīvības procesu uzturēšanai, termoregulācijai, kā arī to muskuļu darbības nodrošināšanai, kuri nav tieši piedalījušies mehāniskā darba paveikšanai – darba pozas noturēšanai, locītavu berzes un antagonistu pretestības pārvarēšanai u.c. Tāpēc tiek meklētas iespējas, kā precizēt MEK, atskaitot no kopējā enerģijas patēriņa to daļu, kura nav tieši saistīta ar padarīto mehānisko darbu.

Salīdzinot ar citām lokomocijām, īpaši daudz MEK pētīts riteņbraukšanā un pedalēšanā uz veloergometra. Riteņbraukšanā koeficienta vērtība variē no 18 % līdz 23 %, pedalēšanā uz veloergometra 21 % – 26 % robežās [2]. Tā uzlabojums ir saistīts ar spēju attīstīt lielāku mehānisko jaudu, patērējot mazāk enerģijas. Piemēram, patērējot vienādu kopējo enerģijas daudzumu, atlēts ar 23 % MEK attīstītu par 28 %

lielāku mehāniskā darba jaudu nekā riteņbraucējs ar 18 % MEK. Mehāniskās efektivitātes paaugstināšanas nozīmi ir uzsvēruši arī daudzi citi pētnieki. Izpildot vienas stundas slodzes testu uz veloergometra Horowitz u.c.[3] noteica, ka MEK vērtību atšķirība par 1,8 % nosaka mehāniskā darba jaudas atšķirību jau par 10 %. Paaugstinot MEK par 1 % riteņbraucējs nobrauktu 40 km distanci par 63 sekundēm ātrāk [4].

Kustību ekonomiskums raksturo veiktā darba apjomu, patērējot 1 litru skābekļa. Šis lielums ir atkarīgs gan no mehāniskā darba lietderības koeficienta vērtības, gan, iespējams, no atlēta aerobajām spējām. Pēc ārzemju autoru datiem, šis lielums aerobās slodzēs ir atkarīgs no I tipa (elpojošo) muskuļšķiedru īpatsvara noslogotajos skeleta muskuļos [2].

Dažādi faktori var ietekmēt MEK un kustību ekonomiskumu: sportistu vecums, trenētība, treniņi viduskaļnē, nogurums, muskuļu šķiedru sastāva atšķirības, pedalēšanas tehnika, velosipēda konstrukcijas īpatnības, pedalēšanas jauda, pedalēšanas temps u.c. Piemēram, tika novērota MEK paaugstināšanās pēc ilgstošas uzturēšanās un trenēšanās viduskaļnē [5]. Passfield un Doust [6] konstatēja pedalēšanas MEK samazināšanos noguruma ietekmē pēc intensīvas 30 sekunžu skriešanas slodzes un pēc piecu minūšu darbības pārbaudes testa veikšanas. McDaniel u.c. [7] pētīja MEK atkarību no pedalēšanas tempa un konstatēja darba mehāniskās efektivitātes paaugstināšanos, pedāļu griešanas ātrumam pieaugot. Atrasta pozitīva korelācija starp MEK un I tipa (elpojošo) muskuļšķiedru daudzumu nodarbinātajos muskuļos [2]. Muskuļu darba mehānisko efektivitāti ietekmē pasīva muskuļu temperatūras paaugstināšana, izmainot to kontrakcijas ātrumu [8].

Vairākos pētījumos [9, 10, 11, 12, 13] nav atrasta korelācija starp MEK un riteņbraucēju treniņu stāžu un aerobo darba spēju rādītājiem. Citos pētījumos iegūti pretēji rezultāti – aerobo spēju uzlabošanās un treniņu pieredze paaugstina darba mehānisko efektivitāti. Piemēram, Lucia u.c. [14] konstatēja, ka veicot 300 W lielu slodzi uz veloergometra elitārie riteņbraucēji patērē mazāk skābekļa (ml/ kg•min.) kā zemāka līmeņa profesionālie riteņbraucēji. Citā pētījumā Lucia u.c. [15] noteica negatīvu korelāciju starp skābekļa maksimālo patēriņu un riteņbraukšanas mehānisko efektivitāti „pasaules līmeņa” riteņbraucējiem. Šo datu patiesums tiek apšaubīts, jo iegūti pārāk augsti darba mehāniskās efektivitātes rādītāji [16]. Moseley u.c.[11] pētīja riteņbraucēju darba mehāniskās efektivitātes rādītājus profesionāla un amatieru līmeņa atlētiem, veicot pieaugošas intensitātes testus uz

veloergometra. Atkarībā no maksimālā skābekļa patēriņa rādītājiem riteņbraucēji tika iedalīti trijās grupās. Starp veloergometra darba mehānisko efektivitāti, kustību ekonomiskumu un aerobajām spējām korelācija netika konstatēta. Autori secināja, ka darba mehāniskās efektivitātes un kustību ekonomiskuma rādītāji profesionālā un amatieru līmeņa sportistiem praktiski neatšķiras. Vienlaikus tiek meklētas iespējas un diskutēts par to, kā paaugstināt riteņbraucēju mehāniskā darba efektivitāti. Teorētiski tas varētu notikt, treniņu procesā uzlabojot vadošo muskuļu iekšējo un starpmuskuļu koordināciju, izmainoties muskuļšķiedru tipam (IIB muskuļšķiedrām pārvēršoties par IIA šķiedrām), izmainoties kontraktīlo olbaltumvielu sintēzei un daudzumam muskuļšķiedrās, kā arī samazinot enerģijas daudzumu ārējo pretestības spēku (berzes, smaguma, vides) pārvarēšanai un enerģiju, kas nepieciešama kāju kustināšanai (tā sauktajam „iekšējām” darbam). Palielinot pedalēšanas biežumu enerģijas patēriņš kāju darbības nodrošināšanai strauji palielinās.

Mūsu pētījuma mērķis ir salīdzināt darba mehānisko

efektivitāti un kustību ekonomiskumu 14 – 15 un 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem. To varētu ietekmēt gan vienu līdz divus gadus lielāks treniņu stāžs vecākajā sportistu grupā, gan augšanas process pusaudžu un jauniešu vecumā.

II. METODIKA

Pētījumā brīvprātīgi piedalījās 24 Latvijas izlases tuvāko rezervju vīriešu dzimuma riteņbraucēji 14 – 15 gadu vecumā (11 cilvēki) un 16 – 17 gadu vecumā (13 cilvēki). Viņi piedalījās atkārtotās aerobo darbības pārbaudēs Latvijas Olimpiskās vienības laboratorijā, veicot kāpņveidīgi pieaugošas slodzes testu un veloergometra. Diviem riteņbraucējiem pārbaude tika veikta piecas reizes, trijiem – četras reizes, pieciem – trīs reizes, diviem – divas reizes, bet četriem – tikai vienu reizi.

Izmeklētā kontingenta antropometriskie rādītāji ir parādīti 1. tabulā.

1. TABULA

14-15 UN 16-17 GADUS VECU LATVIJAS RITEŅBRAUCĒJU VIDĒJIE ANTROPOMETRISKIE RĀDĪTĀJI

Vecums, gados	Izmeklēto cilvēku skaits	Augums, cm ± stand.nov.	Ķermeņa masa, kg ± stand.nov.	Ķermeņa masas indekss, kg/m ² ± stand.nov.
14 - 15	11	181 ± 6	65,8 ± 6,9	20.1 ± 1.7
16 - 17	13	183 ± 6	71,1 ± 5,6	21.2 ± 1.2
Atšķirības ticamība	-	nav ticama p>0,05	ir ticama p<0,007	nav ticama p>0,05

Katrs no riteņbraucējiem veica pakāpeniski pieaugošu slodzi uz mehāniskā veloergometra („Monark”, Zviedrija). Slodzes intensitāte sākotnēji bija 27 W, tad tā tika palielināta ik pa divām minūtēm par 12 W. Katrs riteņbraucējs veica testa uzdevumu līdz spēku izsīkumam. Skābekļa maksimālā patēriņa intensitātes slodze vairumam atlētu netika sasniegta. Veicot slodzi ar kardiopulmonālās diagnostikas iekārtu “Oxygen Mobile Via Sys” (Via Sys Healthcare GMBH, Vācija), tika reģistrēta elektrokardiogramma un gāzu maiņas vidējie rādītāji katras slodzes pakāpes pēdējās minūtes laikā (sirds darbības frekvence, patērētais skābekļa tilpums, izelpotās ogļskābās gāzes tilpums, plaušu ventilācija, elpošanas biežums, elpošanas koeficients). Pienskābes koncentrācija asins plazmā tika noteikta ar ekspresdiagnostikas metodi, izmantojot speciālus laktāta analizatorus “Biosen 5030” (EKF – diagnostic, Vācija). Pienskābes līmenis kapilārajās asinīs tika noteikts pēc katrām divām minūtēm.

Pēc gāzu maiņas rādītājiem (patērētā O₂ tilpuma un elpošanas koeficienta EK, izmantojot tabulu ar skābekļa enerģētisko ekvivalentu pie noteiktām EK vērtībām) [17], katram riteņbraucējam aprēķinājām enerģijas patēriņu pie noteiktas intensitātes (aerobās un anaerobās maiņas sliekšņu) veicamās slodzes (1):

$$E_{\min.} = VO_2 \text{ (l/min.)} \cdot O_2 \text{ En.ekv. (J/l); J/min.,} \quad (1)$$

kur $E_{\min.}$ – enerģijas patēriņš džoulos vienā minūtē (J/min.);

VO₂ – skābekļa patēriņš (l/min.);

O₂En.ek. – skābekļa enerģētiskais ekvivalents (J/l).

Pārrēķinājām enerģijas patēriņu J vienā sekundē (t.i., vatos W) (2):

$$E_s = E_{\min.} / 60; \text{ J/s jeb W,} \quad (2)$$

kur E_s – enerģijas patēriņš J vienā sekundē (J/s = W).

Noteicām, cik procentus no kopējā enerģijas patēriņa riteņbraucējs izmanto mehāniskā darba veikšanai uz veloergometra, un aprēķinājām darba efektivitātes koeficientu (testā veicamā darba jauda ir zināma). Tas ir riteņbraucēja veiktā darba mehāniskās efektivitātes koeficients (3):

$$MEK = P \text{ (W)} \cdot 100 \text{ (\%)} / E_s \text{ (W); \%}, \quad (3)$$

kur MEK – darba mehāniskās efektivitātes koeficients (%);
P – darba jauda (W).

Izmantojot datus par skābekļa patēriņu un veloergometra mehāniskā darba jaudu, aprēķinājām šosejas riteņbraucēju kustību ekonomiskumu aerobās un anaerobās maiņas sliekšņu slodzēs [11] (4):

$$EC = P(W) \cdot 0,06 / \cdot VO_2 (l/min); kJ/l, \quad (4)$$

kur EC – kustību ekonomiskums kJ/l; P – uz veloergometra attīstītā darba jauda (W); VO₂ - skābekļa patēriņš (l/min.).

Aprēķinājām katra rādītāja vidējo aritmētisko vērtību un standartnovirzi. Abu riteņbraucēju vecuma grupu vidējo rādītāju salīdzināšanai izmantojām Stjudenta t – testu nesaisītām datu kopām. Atšķirības starp kopām uzskatījām par statistiski ticamām, ja p<0,05. Sakarību raksturošanai starp divu dažādu rādītāju kopām izmantojām lineāro regresiju.

III. REZULTĀTI

Aerobās maiņas sliekšņa intensitātes slodzē absolūtā VO₂ un relatīvā skābekļa patēriņa RelVO₂ rādītāji 14 – 15 un 16 – 17 gadus vecu riteņbraucēju grupās ticami neatšķiras (p>0,05) (sk. 2.tab.). Darba jaudai uz veloergometra P ir tendence paaugstināties līdz ar atlēta vecumu un treniņu stāžu, tomēr atšķirība starp vidējo veikto darba jaudu abās riteņbraucēju grupās nav statistiski ticama (p>0,05). Relatīvā darba jauda, t.i., veloergometra jauda dalīta ar ķermeņa masu Prel ir līdzīga abās riteņbraucēju grupās. Elpošanas koeficients EK abās vecumu grupās ir vienāds. Veloergometra slodzes darba mehāniskās efektivitātes koeficients MEK un kustību ekonomiskums EC abās riteņbraucēju grupās statistiski ticami neatšķiras (p>0,05).

Anaerobās maiņas sliekšņa intensitātes slodzē ir konstatētas ticamas atšķirības starp vairākiem 14 – 15 un 16 – 17 gadus vecu riteņbraucēju aerobo spēju rādītājiem: 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem ir ticami lielāks absolūtais skābekļa patēriņš (p<0,05) un lielāka veicamā darba jauda uz veloergometra (p<0,006) (sk. 3.tab.). Relatīvā skābekļa patēriņa rādītāji (ml uz 1 kg ķermeņa masas minūtē) ir līdzīgi

abās vecuma grupās (14 – 15 g.v.: 49 ± 4 ml/kg•min un 16 – 17 g.v.: 48 ± 3 ml/kg•min). Arī relatīvā darba jauda ticami neatšķiras abās riteņbraucēju grupās. Elpošanas koeficients abās vecuma grupās ir vienāds (attiecīgi: 0,99 ± 0,02 un 0,99 ± 0,03). Palielinoties jauno riteņbraucēju vecumam un treniņu stāžam, ticami pieaug uz veloergometra veicamā darba mehāniskās efektivitātes koeficients: 14 – 15 gadus veciem riteņbraucējiem tas ir 20,7 ± 0,7 %, bet 16 – 17 gadu vecumā – 21,6 ± 1,0 % (p<0,001). Parāli ticami palielinās arī kustību ekonomiskums uz veloergometra: 14 – 15 gadu vecumā tā vidējā vērtība ir 4.372 ± 0.164 kJ/ l O₂, bet 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem - 4.549 ± 0.204 kJ/ l O₂ (p<0,002).

Starp absolūto skābekļa patēriņu (l/min.) un uz veloergometra attīstīto darba jaudu ir konstatēta pozitīva lineāra korelācija: 1) aerobā sliekšņa intensitātes slodzē 14 – 15 gadus veciem riteņbraucējiem korelācijas koeficients r= 0,92; ticamība p < 0,0001; 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem - r = 0,87; ticamība p < 0,0001; 2) anaerobā sliekšņa intensitātes slodzē 14 – 15 gadus veciem riteņbraucējiem korelācijas koeficients r = 0,91; ticamība p < 0,0002; 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem - r = 0,86; ticamība p < 0.0001.

Starp relatīvo skābekļa patēriņu (ml/kg•min.) un veloergometra darba jaudu korelācija nav tik cieša kā ar absolūto skābekļa patēriņu un attīstīto darba jaudu. Aerobās maiņas sliekšņa slodzē korelācija starp šiem rādītājiem ir ticama: 14 – 15 gadus veciem riteņbraucējiem korelācijas koeficients r = 0,46; p < 0,0006; bet 16 – 17 gadus veciem atlētiem – r = 0,62; p < 0,0005. Anaerobās maiņas sliekšņa slodzē sakarība starp relatīvo skābekļa patēriņu (ml/kg•min.) un uz veloergometra attīstīto darba jaudu 14 – 15 un 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem nav ticama, p > 0,05.

2. TABULA

14-15 UN 16-17 GADUS VECU LATVIJAS RITEŅBRAUCĒJU IZTURĪBAS UN DARBA MEHĀNISKĀS EFEKTIVITĀTES RĀDĪTĀJI
AEROBĀS MAIŅAS SLIEKŠŅA SLODZĒ UZ VELOERGOMETRA

Vecums, gados	P, W	P _{rel} , W/kg	VO ₂ , l/min	RelVO ₂ , ml/kg•min	EK	MEK, %	EC, kJ/l
14 - 15	136 ± 27	2,07± 0,37	2,03± 0,30	31 ± 4	0,92± 0,05	19,3 ± 1,5	3,993±0,311
16 - 17	149 ± 38	2,08± 0,46	2,13± 0,41	30 ± 4	0,92± 0,04	20,0 ± 2,1	4,137±0,436
Atšķirīb. ticamība	nav tic., p>0,05	nav tic., p>0,05	nav tic., p>0,05	nav tic., p>0,05	nav tic., p>0,05	nav tic., p>0,05	nav tic., p>0,05

3. TABULA

14-15 UN 16-17 GADUS VECU LATVIJAS RITEŅBRAUCĒJU IZTURĪBAS UN DARBA MEHĀNISKĀS EFEKTIVITĀTES RĀDĪTĀJI
ANAEROBĀS MAIŅAS SLIEKŠŅA SLODZĒ UZ VELOERGOMETRA

Vecums, gados	P, W	P _{rel} , W/kg	VO ₂ , l/min	RelVO ₂ , ml/kg•min	EK	MEK, %	EC, kJ/l
14 - 15	234 ± 28	3,56 ± 0,24	3,19± 0,38	49 ± 4	0,99± 0,02	20,7 ± 0,7	4,372±0,164
16 - 17	260 ± 30	3,65 ± 0,28	3,43± 0,39	48 ± 3	0,99± 0,03	21,6 ± 1,0	4,549±0,204
Atšķirīb. ticamība	ir tic., p<0,006	nav tic., p>0,05	ir tic., p<0,05	nav tic., p>0,05	nav tic., p>0,05	ir ticama, p<0,001	ir ticama, p<0,002

Starp mehāniskā darba efektivitāti MEK jeb veloergometra darba lietderības koeficientu un attīstīto darba jaudu abās

riteņbraucēju vecuma grupās ir konstatēta ticama lineāra sakarība aerobās maiņas intensitātes slodzē. 14 – 15 gadus

veciem atlētiem tā ir (5), 1.att.:

$$P_{AE} = 15,17 \cdot \text{MEK} (\%) - 156,93; W, \quad (5)$$

kur P_{AE} attīstītā darba jauda uz veloergometra (W);
MEK darba mehāniskās efektivitātes koeficients (%);
regresijas vienādojuma standartkļūda $S_{xy} = 15,85$ W;
korelācijas koeficients $r = 0,66$; ticamība $p < 0,0009$.

Arī 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem ir konstatēta ticama lineāra sakarība starp veloergometra darba mehāniskās efektivitātes koeficientu un attīstīto darba jaudu aerobās maiņas intensitātes slodzē (6):

$$P_{AE} = 14,39 \cdot \text{MEK} (\%) - 139,35; W, \quad (6)$$

kur P_{AE} attīstītā darba jauda uz veloergometra (W);
MEK darba mehāniskās efektivitātes koeficients (%); $S_{xy} = 24,79$ W; $r = 0,58$; ticamība $p < 0,0004$.

Anaerobās maiņas intensitātes slodzē nav konstatēta ticama korelācija starp mehāniskā darba efektivitāti MEK un attīstīto darba jaudu ne 14 – 15 gadus veciem atlētiem ($p < 0,678$), ne 16 – 17 gadus vecu riteņbraucēju grupā ($p < 0,270$), 1.att.

Līdzīga aina ir novērojama, raksturojot sakarības starp kustību ekonomiskumu un veloergometra darba jaudu: aerobās

maiņas intensitātes slodzē sakarība ir ticama un to raksturo lineārs regresijas vienādojums - 14 – 15 gadus veciem atlētiem (7), 2.att.:

$$P_{AE} = 70,30 \cdot \text{EC} (\text{kJ/l}) - 144,81; W, \quad (7)$$

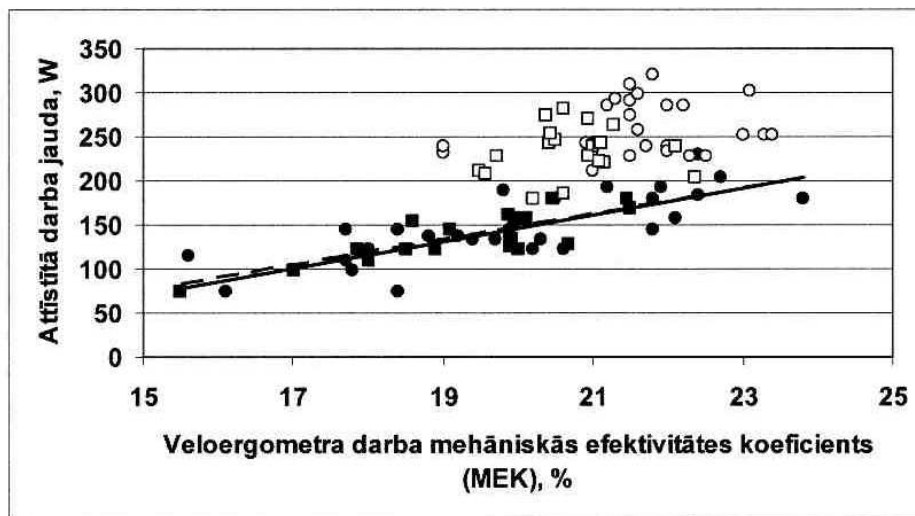
kur P_{AE} attīstītā darba jauda uz veloergometra (W);
EC – kustību ekonomiskums, braucot uz veloergometra (kJ/l); regresijas vienādojuma standartkļūda $S_{xy} = 16,35$ W;
korelācijas koeficients $r = 0,63$; ticamība $p < 0,0001$;

16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem (8):

$$P_{AE} = 68,90 \cdot \text{EC} (\text{kJ/l}) - 136,58; W, \quad (8)$$

kur P_{AE} attīstītā darba jauda uz veloergometra (W); EC – kustību ekonomiskums, braucot uz veloergometra (kJ/l); $S_{xy} = 24,31$ W; $r = 0,60$; ticamība $p < 0,0001$.

Anaerobās maiņas intensitātes slodzē nav konstatēta ticama korelācija starp kustību ekonomiskumu un attīstīto darba jaudu ne 14 – 15 gadus veciem atlētiem ($p > 0,05$), nedz 16 – 17 gadus vecu riteņbraucēju grupā ($p > 0,05$), 1.att.



1. att. Sakarības starp mehāniskā darba efektivitāti uz veloergometra un attīstīto darba jaudu:

- 1) aerobās maiņas sliekšņa intensitātes slodzē 14 – 15 gadus veciem riteņbraucējiem —■— un 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem —●—;
- 2) anaerobās maiņas sliekšņa intensitātes slodzē 14 – 15 gadus veciem riteņbraucējiem □ un 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem ○.

Līdzīga aina ir novērojama, raksturojot sakarības starp kustību ekonomiskumu un veloergometra darba jaudu: aerobās maiņas intensitātes slodzē sakarība ir ticama un to raksturo lineārs regresijas vienādojums - 14 – 15 gadus veciem atlētiem (7), 2.att.:

$$P_{AE} = 70,30 \cdot \text{EC} (\text{kJ/l}) - 144,81; W, \quad (7)$$

kur P_{AE} attīstītā darba jauda uz veloergometra (W); EC – kustību ekonomiskums, braucot uz veloergometra (kJ/l);

regresijas vienādojuma standartkļūda $S_{xy} = 16,35$ W;
korelācijas koeficients $r = 0,63$; ticamība $p < 0,0001$;

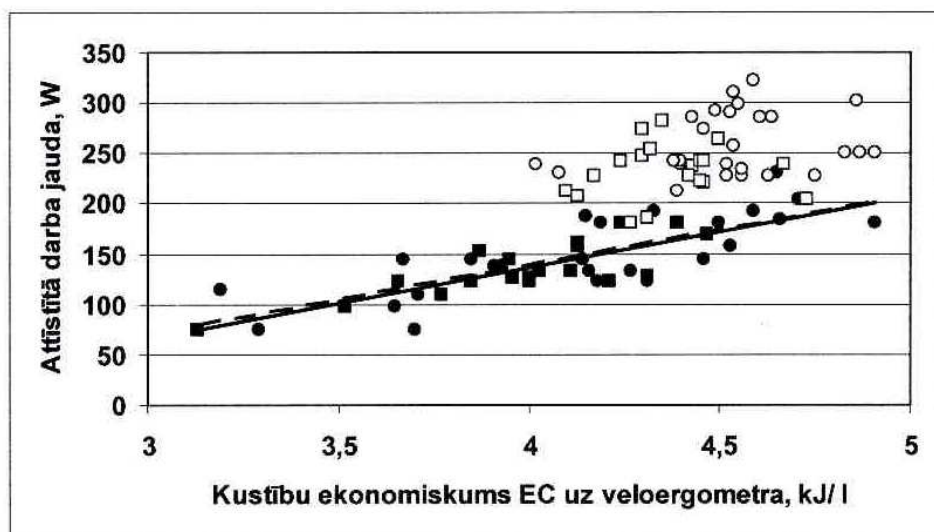
16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem (8):

$$P_{AE} = 68,90 \cdot \text{EC} (\text{kJ/l}) - 136,58; W, \quad (8)$$

kur P_{AE} attīstītā darba jauda uz veloergometra (W); EC – kustību ekonomiskums, braucot uz veloergometra (kJ/l); $S_{xy} = 24,31$ W; $r = 0,60$; ticamība $p < 0,0001$.

Anaerobās maiņas intensitātes slodzē nav konstatēta ticama korelācija starp kustību ekonomiskumu un attīstīto darba jaudu

ne 14 – 15 gadus veciem atlētiem ($p > 0,05$), nedz 16 – 17 gadus vecu riteņbraucēju grupā ($p > 0,05$), 2.att.



2. att. Sakarības starp kustību ekonomiskumu uz veloergometra un attīstīto darba jaudu:

- 1) aerobās maiņas sliekšņa intensitātes slodzē 14 – 15 gadus veciem riteņbraucējiem —■— un 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem —●—;
2) anaerobās maiņas sliekšņa intensitātes slodzē 14 – 15 gadus veciem riteņbraucējiem □ un 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem ○.

Starp aerobo spēju rādītājiem – absolūto vai relatīvo skābekļa patēriņu un veloergometra darba mehānisko efektivitāti nav noteikta ticama korelācija ne aerobās, ne anaerobās maiņas sliekšņu slodzēs ($p > 0,05$) abām riteņbraucēju vecuma grupām. Līdzīgi nav konstatētas ticamas sakarības starp absolūto vai relatīvo skābekļa patēriņu un kustību ekonomiskumu uz veloergometra ($p > 0,05$) ne aerobās, ne anaerobās maiņas sliekšņu intensitātes slodzēs.

IV. DISKUSIJA

Pusaudžu vecumā notiek jauno atlētu auguma un ķermeņa masas palielināšanās. Tāpēc ir grūti atšķirt, vai aerobo spēju pieaugums ir radies augšanas procesa vai treniņu ietekmē. Latvijas jauno riteņbraucēju vidējie auguma un ķermeņa masas indeksa rādītāji 14 – 15 un 16 – 17 gadus vecu atlētu grupās statistiski ticami neatšķiras ($p > 0,05$). Sešpadsmit līdz 17 gadus vecu riteņbraucēju vidējā ķermeņa masa ($71,1 \pm 5,6$ kg) ir ticami lielāka nekā 14 – 15 gadus vecu riteņbraucēju grupā ($65 \pm 6,9$ kg), $p < 0,007$. Ar lielāku ķermeņa masu var izskaidrot statistiski ticami lielāku skābekļa patēriņu anaerobās maiņas sliekšņa slodzē 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem ($3,43 \pm 0,39$ l/min), salīdzinot ar 14 – 15 gadus vecu atlētu vidējo skābekļa patēriņa rādītāju ($3,19 \pm 0,38$ l/min), $p < 0,05$. Tomēr relatīvais skābekļa patēriņš gan aerobās, gan anaerobās maiņas sliekšņa slodzē, kā arī absolūtais skābekļa patēriņš aerobās maiņas sliekšņa slodzē ticami neatšķiras abās riteņbraucēju vecuma grupās. Pēc amerikāņu autoru [18] datiem bērnu un pusaudžu vecumā skābekļa patēriņu un tā izmaiņas dinamikā nevar uzskatīt par izturības spēju rādītāju, jo skābekļa relatīvais maksimālais

patēriņš vecumā no sešiem līdz 16 gadiem zēniem saglabājas nemainīgs.

Pēc mūsu rezultātiem uz veloergometra attīstītā darba jauda ir tieši proporcionāla absolūtajam skābekļa patēriņam gan aerobās, gan anaerobās maiņas sliekšņu slodzēs. Tā kā anaerobās maiņas sliekšņa slodzē skābekļa patēriņš ir lielāks 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem nekā 14 – 15 gadus veciem atlētiem, tad arī vecākie riteņbraucēji attīsta ticami lielāku darba jaudu intensīvās aerobās slodzēs (skat.3.tab.). Starp veloergometra jaudu un relatīvo skābekļa patēriņu ir konstatēta ticama korelācija tikai aerobā sliekšņa slodzē, bet anaerobās maiņas sliekšņa slodzē sakarība starp šiem rādītājiem nav ticama. Tas apstiprina faktu, ka relatīvo skābekļa patēriņu nevar izmantot par aerobo spēju rādītāju pusaudžu vecuma atlētiem.

Pusaudžu vecumā notiek ekstremitāšu augšana garumā, treniņu ietekmē uzlabojas kustību precizitāte, tāpēc darba mehāniskajai efektivitātei jeb lietderības koeficientam būtu jāpalielinās. Pēc austrāliešu pētnieku datiem [19] darba lietderības koeficients visvairāk pieaug tieši tajā slodzes intensitātē, kura ir raksturīga attiecīgajam sporta veidam. Riteņbraucējiem tā ir anaerobās maiņas sliekšņa intensitātes slodze, kurā 16 – 17 gadu vecumā darba mehāniskās efektivitātes koeficients ($21,6 \pm 1,0$ %) ir ticami augstāks nekā 14 – 15 gadus veciem riteņbraucējiem ($20,7 \pm 0,7$ %), $p < 0,001$. Abās vecuma grupās MEK variē no 19 līdz 23 %, kas sakrīt ar Coyle u.c.[2] un Moseley u.c.[11] datiem (no 18 līdz 23 %).

Kustību ekonomiskums, braucot uz veloergometra anaerobās maiņas sliekšņa slodzē, arī ir ticami lielāks 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem ($4,549 \pm 0,204$ kJ/l), salīdzinot

ar 14 – 15 gadus veciem atlētiem (4.372 ± 0.164 kJ/ l), $p < 0,002$.

Aerobā sliekšņa intensitātes slodzē ticamas MEK un EC atšķirības starp abu vecuma riteņbraucēju grupu vidējiem rādītājiem nav konstatētas. Tomēr ir noteikta ticama sakarība starp veloergometra jaudu un, attiecīgi, MEK vai EC (skat.1.un 2.att.), $p < 0,05$. Tas nozīmē, ka nelielas intensitātes aerobā slodzē, pieaugot darba jaudai, palielinās arī darba mehāniskā efektivitāte un kustību ekonomija.

Anaerobās maiņas sliekšņa slodzē sakarība starp veloergometra jaudu un MEK vai EC nav konstatēta, $p > 0,05$ (skat.1.un 2.att.). MEK un EC vērtības ir augstākas nekā aerobās maiņas sliekšņa slodzē, to palielināšanos līdz ar darba jaudu vairs nenovēro. Var pieņemt, ka MEK intensīvās aerobās slodzēs ir jau tuvu maksimumam.

Pēc angļu autoru datiem [11] pieaugušajiem riteņbraucējiem vairs nenotiek darba mehāniskās efektivitātes koeficienta palielināšanās, un tas saglabājas 18 – 23 % līmenī.

Starp aerobo spēju rādītāju - skābekļa patēriņu un darba mehānisko efektivitāti vai kustību ekonomiskumu ticamas sakarības nav konstatētas. Mūsu dati sakrīt ar daudzu ārzemju autoru pētījumu rezultātiem [9, 10, 11, 12, 13]. Tas nozīmē, ka galvenais fizioloģiskais rādītājs, kas nosaka atlētu izturību - aerobās spējas, neietekmē riteņbraukšanas darba mehānisko efektivitāti un kustību ekonomiskumu. Ar mūsu un augstāk minēto autoru datiem pretrunā ir tikai Lucia u.c. [15] pētījums, kurš noteica negatīvu korelāciju starp skābekļa maksimālo patēriņu un riteņbraukšanas mehānisko efektivitāti profesionāliem riteņbraucējiem. Tomēr Jeukendrup u.c.[16] apšaubā šo datu ticamību, jo tiek uzrādīti ļoti augsti darba mehāniskās efektivitātes rādītāji.

V.SECINĀJUMI

1. Anaerobās maiņas sliekšņa intensitātes slodzē ir konstatēta statistiski ticami augstāka riteņbraucēju veloergometra darba mehāniskā efektivitāte 16 – 17 gadu vecumā ($21,6 \pm 1,0$ %) nekā 14 – 15 gadus veciem riteņbraucējiem ($20,7 \pm 0,7$ %), ($p < 0,001$). Sakarība starp darba mehānisko efektivitāti un veloergometra jaudu nav konstatēta ($p > 0,05$).
2. Anaerobās maiņas sliekšņa intensitātes slodzē kustību ekonomiskums, braucot uz veloergometra, ir ticami lielāks 16 – 17 gadus veciem riteņbraucējiem (4.549 ± 0.204 kJ/ l), salīdzinot ar 14 – 15 gadus veciem atlētiem (4.372 ± 0.164 kJ/ l), $p < 0,002$. Sakarība starp kustību ekonomiskumu un veloergometra jaudu nav noteikta ($p > 0,05$).
3. Aerobā sliekšņa intensitātes slodzē ticamas darba mehāniskās efektivitātes un kustību ekonomiskuma atšķirības starp abu vecumu riteņbraucēju grupu vidējiem rādītājiem nav konstatētas. Noteikta ticama sakarība starp veloergometra jaudu un, attiecīgi, darba mehānisko efektivitāti vai kustību ekonomiskumu, $p < 0,05$. Nelielas intensitātes aerobā slodzē, pieaugot darba jaudai, palielinās arī darba mehāniskā efektivitāte un kustību ekonomiskums.
4. Starp aerobo spēju rādītāju - skābekļa patēriņu un darba mehānisko efektivitāti vai kustību ekonomiskumu ticamas sakarības nav konstatētas.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. **Gaesser, G.A., Brooks, G.A.** Muscular efficiency during steady – state exercise: effects of speed and work rate. *J Appl Physiol*, 1975, vol.38, p.1132 – 1138.
2. **Coyle, E.F., Sidossis, L.S., Horowitz, J.F., Beltz, J.D.** Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibres. *Med Sci Sports Exerc*, 1992, vol.24, p.782 – 788.
3. **Horowitz, J.F., Sidossis, L.S., Coyle, E.F.** High efficiency of type I fibres improves performance. *Int J Sports Med*, 1994, vol.15, p.152 – 157.
4. **Jeukendrup, A.E., Martin, J.** Improving cycling performance how should we spend our time and money. *Sports Med*, 2001, vol.31, p.551 – 569.
5. **Hochachka, P.W., Stanley, C., Matheson, G.O., McKenzie, D.C., Allen, P.S., Parkhouse, W.S.** Metabolic and work efficiencies during exercise in Andean natives. *J Appl Physiol*, 1991, vol.70, p.1720 – 1730.
6. **Passfield, L., Doust, J.H.** Changes in cycling efficiency and performance after endurance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 2000, vol.32, p.1935 – 1941.
7. **McDaniel, J., Durstine, J.L., Hand, G.A., Martin, J.C.** Determinants of metabolic cost during submaximal cycling. *J Appl Physiol*, 2002, vol.93, p.823 – 828.
8. **Ferguson, R.A., Ball, D., Sargeant, A.J.** Effect of muscle temperature on rate of oxygen uptake during exercise in humans at different contraction frequencies. *J Exp Biol*, 2002, vol.205, p.981 – 987.
9. **Boning, D., Gonen, Y., Maassen, N.** Relationship between work load, pedal frequency, and physical fitness. *Int J Sports Med*, 1984, vol.5, p.92 – 97.
10. **Marsh, A.P., Martin, P.E., Foley, K.O.** Effect of cadence, cycling experience, and aerobic power on delta efficiency during cycling. *Med Sci Sports Exerc*, 2000, vol.32, p.1630 – 1634.
11. **Moseley, L., Achten, J., Martin, J.C., Jeukendrup, A.E.** No differences in cycling efficiency between world – class and recreational cyclists. *Int J Sports Med*, 2004, vol.25, p.374 – 379.
12. **Nickleberry, B.L., Brooks, G.A.** No effect of cycling experience on leg cycle ergometer efficiency. *Med Sci Sports Exerc*, 1996, vol.28, p.1396 – 1401.
13. **Stuart, M., Howley, E., Brude, A., Gladden, I., Cox, R.** Efficiency of trained subjects differing in maximal oxygen uptake and type of training. *J Appl Physiol*, 1981, vol.50, p.444 – 449.
14. **Lucia, A., Pardo, J., Durantez, A., Hoyos, J., Chicharro, J.L.** Physiological differences between professional and elite road cyclists. *Int J Sports Med*, 1998, vol.19, p.342 – 348.
15. **Lucia, A., Hoyos, J., Perez, M., Santalla, A., Chicharro, J.L.** Inverse relationship between VO2 max and economy/ efficiency in world – class cyclists. *Med Sci Sports Exerc*, 2002, vol.34, p.2079 – 2084.
16. **Jeukendrup, A.E., Martin, D.T., Gore, C.J.** Are world – class cyclists really more efficient? *Med Sci Sports Exerc*, 2003, vol.35, p.1238 – 1239.
17. **McArdle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L.** *Essentials of Exercise Physiology - Lippincott Williams and Wilkins*, 2000, printed in USA – 679 p.
18. **Krahenbuhl, G.S., Skinner, J.S., Kohrt, W.M.** Developmental aspects of maximal aerobic power in children. In: *Exercise and Sport Sciences Reviews*, vol.13 - Terjung R L (editor). New York: Macmillan, 1985. P. 503 – 538.
19. **Craig, N.P., Norton, K.I., Bourdon, P.C., Woolford, S.M., Stanef, T., Squires, B., Olds, T.S., Conyers, R.A.J., Walsh, C.B.V.** Aerobic and anaerobic indices contributing to track endurance cycling performance. *Eur J Appl Phys*, 1993, vol.67, p.150 – 158.



Inese Pontaga. Dr.med, PhD thesis defended in 1997 in The Institute of Experimental and Clinical Medicine of Latvian University, prof., Latvian Academy of Sports Education, Head of the Department of Anatomy, Physiology, Biochemistry and Hygiene.
Membership in professional organizations: European Society of Biomechanics, European College of Sport Sciences, Latvian Society of Physicians.
Address: Brivibas street 333, Riga, LV 1006, Latvia.
Phone: +371 67453449.
e-mail: inese.pontaga@lspa.lv



Janis Lanka. Dr.hab.paed., habilitation thesis defended in 1998 in Latvian University, prof., Latvian Academy of Sports Education, Head of the Department of Informatics.
Membership in professional organizations: International Society of Biomechanics, Baltic Society of Sport Sciences.
Address: Brivibas street 333, Riga, LV 1006, Latvia.
e-mail: janis.lanka@lspa.lv



Andris Konrads. Dr.biol., PhD thesis defended in 1979 in Tartu University, Estonia, prof., Latvian Academy of Sports Education, Department of Track and Field Athletics. Head of the Department of Science in Latvian Olympic Team.
Membership in professional organizations: General Ensemble of Latvian Olympic Comity.
Address: Brivibas street 333, Riga, LV 1006, Latvia.
e-mail andris@lov.lv

Inese Pontaga, Janis Lanka, Andris Konrads. Assessment of Work Mechanical Efficiency Road Cyclists of Different Qualification

The aim of our investigation is to compare the mechanical efficiency of work and economy of movements in 14 – 15 and 16 – 17 years old road cyclists. Two years longer training experience in the older group of cyclists, as well as, process of growth of adolescent and young athletes can influence these characteristics. Twenty-four Latvian young road cyclists participated in the investigation.

Every road cyclist performed an incremental load test on a mechanical bicycle ergometer (Monark, Sweden). An initial load intensity was 27 W, then it was increased step by step for 12 W every two minutes. A cardiopulmonary diagnostic equipment was used during the test to register an electrocardiogram and respiratory characteristics. An average value of the last load step minute of all characteristics is calculated. A lactic acid concentration in the capillary blood is detected by special lactate analysers. The lactic acid concentration in the capillary blood is determined every two minutes.

Using the respiratory characteristics (exchange of gases) of oxygen uptake volume and volume of carbon dioxide expiration per minute, the respiratory quotient was determined. Thermal equivalents of oxygen for certain respiratory quotients values were taken from the table. Then we calculated an energy expenditure for every road cyclist at a certain workload (aerobic and anaerobic threshold levels loads). We calculated the amount of energy expenditure in percents used for mechanical work production on the bicycle ergometer (the workload determined in the test) from all energy expenditure. It was a mechanical efficiency of every road cyclist. Using the data of oxygen uptake and mechanical workload on the bicycle ergometer, we calculated the economy of movements of road cyclists at the aerobic and anaerobic thresholds load intensities.

The average mechanical efficiency of bicycle ergometer work at the anaerobic threshold intensity load is significantly better in 16 – 17 years old athletes (21.6 ± 1.0 %) than in 14 – 15 years old cyclists (20.7 ± 0.7 %), $p < 0.001$. The relationship between the work mechanical efficiency on the bicycle ergometer and the power production is not determined, $p > 0.005$. The average economy of movements on bicycle ergometer is significantly greater in 16 – 17 years old cyclists (4.549 ± 0.204 kJ/l) in comparison with 14 – 15 years old group (4.372 ± 0.164 kJ/l), $p < 0.002$. The relationship between the economy of movements and the power production is not detected, $p > 0.05$.

The differences between the work mechanical efficiency and economy of movements on bicycle ergometer average values are not significant in both age groups of the cyclists at the aerobic threshold intensity load. The relationship between the power production on bicycle ergometer and the work mechanical efficiency or economy of movements, respectively, is significant, $p < 0.05$. If the power produced on bicycle ergometer increases, the growth of the work mechanical efficiency and economy of movements is determined at low intensity aerobic exercises.

The significant correlations between the aerobic capacity characteristic – oxygen uptake and the work mechanical efficiency or economy of movements are not determined, $p > 0.05$.

Инесе Понтага, Янис Ланка, Андрис Конрадс. Оценка эффективности механической работы у велогонщиков различной квалификации

Целью нашего исследования является сравнение эффективности механической работы и экономии движений у велогонщиков двух возрастных групп: 14 – 15 лет и 16 – 17 лет. Влияние на этом может оказать тренировочный стаж длительностью более двух лет в старшей группе спортсменов, а также процесс роста в подростковом и юношеском возрасте.

В исследовании участвовали 24 велогонщика мужского пола Латвийской сборной и ближайшего резерва.

Каждый велогонщик выполнял постепенно нарастающую нагрузку на механическом велоэргометре («Монарк», Швеция). Начальная интенсивность нагрузки была 27 W, потом ее постепенно увеличивали на 12 W каждые две минуты. Во время теста при помощи кардиопульмонального устройства регистрировали электрокардиограмму и средние показатели газового обмена последней минуты каждой степени нагрузки. Концентрацию молочной кислоты в плазме крови определяли методом экспрессдиагностики при помощи анализаторов лактата. Уровень молочной кислоты в капиллярной крови определяли каждые две минуты.

По данным газового обмена (объему потребленного O_2 и значению дыхательного коэффициента ДК, используя таблицу со значениями энергетического эквивалента кислорода при определенных значениях ДК), вычислили общие энергетические затраты каждого велогонщика при выполнении нагрузки определенной интенсивности (аэробного и анаэробного порога). Определили, сколько процентов из общих энергетических затрат каждый велогонщик использует для выполнения механической работы на велоэргометре, интенсивность выполняемой работы во время теста известна. Это коэффициент механической эффективности работы велогонщика на велоэргометре. Используя данные о потреблении кислорода и произведенной механической работы на велоэргометре, вычислили экономичность движений велогонщиков при нагрузках аэробного и анаэробного порога.

При интенсивности нагрузки анаэробного порога средняя эффективность механической работы достоверно выше у велогонщиков в возрасте 16 – 17 лет ($21,6 \pm 1,0$ %) по сравнению с возрастной группой 14 – 15 лет ($20,7 \pm 0,7$ %), $p < 0,001$. Корреляция между эффективностью механической работы и развитой мощностью работы на велоэргометре не найдена, $p > 0,05$. При интенсивности нагрузки анаэробного порога средняя экономичность движений на велоэргометре достоверно лучше у велогонщиков в возрасте 16 – 17 лет ($4,549 \pm 0,204$ kJ/l) чем у спортсменов 14 – 15 лет ($4,372 \pm 0,164$ kJ/l), $p < 0,002$. Корреляция между экономичностью движений и развитой мощностью работы на велоэргометре не констатирована, $p > 0,05$.

При интенсивности нагрузки аэробного порога достоверных различий средних значений эффективности механической работы и экономичности движений между велогонщиками двух возрастных групп не обнаружены. Найдена достоверная корреляция между развитой мощностью работы на велоэргометре и эффективностью механической работы или экономичностью движений, соответственно, $p < 0,05$. При повышении интенсивности работы при небольших аэробных нагрузках, улучшается эффективность механической работы и экономичность движений.

Между показателем аэробных способностей – потреблением кислорода и эффективностью механической работы или экономичностью движений достоверные корреляции не найдены, $p > 0,05$.