

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

DIPLOMSKO DELO

NINA FERFILA

Ljubljana, 2014

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT
Športno treniranje
Kondicijsko treniranje

**VPLIV ENERGIJSKIH DELEŽEV NA USPEŠNOST V TEKU
NA 600 METROV PRI OTROCIH**

DIPLOMSKO DELO

MENTOR

prof .dr. Branko Škof, prof. šp. vzg.

RECENZENT

prof. dr. Anton Ušaj, prof. šp. vzg.

Avtorica dela

NINA FERFILA

KONZULTANT

strok. sod. Radoje Milić, dr. med

Ljubljana, 2014

ZAHVALA

Za strokovno vodenje, pomoč in usmerjanje pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju, dr. Branku Škofu.

Za lektoriranje se zahvaljujem svojemu stricu Danilu Počkarju.

Za angleški prevod se zahvaljujem Ariani Jurca.

Hvala družini za podporo v času študija.

Prijateljem in sošolkam hvala za nepozabna študentska leta.

Ključne besede: energijski deleži, tek na 600 metrov, otroci, mladostniki, aerobni, laktatni, alaktatni vir, aerobna vzdržljivost.

VPLIV ENERGIJSKIH DELEŽEV NA USPEŠNOST V TEKU NA 600 METROV PRI OTROCIH

IZVLEČEK

Namen diplomskega dela je spoznati energijski profil otrok v teku na 600 m, primerjati energijske deleže merjencev različnih starosti in različnih stopenj biološkega razvoja ter ugotoviti, kako različnost v energijski oskrbi vpliva na zmogljivost v teku na 600 m.

Vzorec je sestavljalo 12 otrok 3. oz. 4. razreda ter 16 otrok 7. oz. 8. razreda. Merjenci so opravili antropometrijske meritve, test maksimalne aerobne moči na tekoči preprogi, test maksimalne hitrosti in testni tek na 600 m. Na podlagi izmerjenih spremenljivk je bila v skladu z modelom Hill (1999), di Prampero (1981), Brastow idr. (1990) izračunana poraba iz posameznega energijskega sistema (E_{EXE} : poraba iz aerobnega transportnega sistema; E_{STOR} : poraba iz kisikovih zalog; E_{LA} : poraba iz anaerobnega laktatnega sistema; E_{AL} : poraba iz anaerobnega alaktatnega sistema) in celotna energijska poraba med tekom (E_{TOT}): $E_{TOT} = E_{EXE} + E_{STOR} + E_{LA} + E_{AL}$.

Diplomsko delo je z določanjem energijskih deležev pomemben prispevek k poznavanju energijskega in fiziološkega ozadja najpogostejšega testa aerobne vzdržljivosti pri otrocih. Ugotovili smo, da otroci pred puberteto v primerjavi s starejšimi porabijo večji del energije iz aerobnega vira ter da je poraba iz anaerobnega laktatnega vira značilno negativno povezana z rezultatom teka na 600 m. Večji aerobni delež pomeni slabši rezultat v teku na 600 m. Rezultati kažejo, da ima med parametri energijske porabe največji vpliv na rezultat v teku na 600m E_{LA} . S tem smo pokazali, da je testni tek na 600 m pokazatelj vzdržljivosti kot kompleksne sposobnosti in ne zgolj aerobnih sposobnosti, kot se večinoma intepretira.

Key words: energy pathways, 600m run, children, adolescents, aerobic, lactate, alactate source, aerobic endurance.

THE IMPACT OF ENERGY PATHWAYS ON THE SUCCESS IN THE 600m RUN IN CHILDREN

ABSTRACT

The purpose of the thesis is to discover the energy profile of children in the 600m run, compare energy pathways of the subjects of different ages and in different stages of biological development, and to determine how diversity in the energy supply affects the performance in the 600m run.

The sample consisted of 12 children in the 3rd or 4th grade and 16 children in the 7th or 8th grade. The subjects went through anthropometric measurements and the tests of maximal aerobic power on a treadmill, maximum speed and a 600m run test. On the basis of the measured variables in accordance with the model of Hill (1999), di Prampero (1981), Brastow et al. (1990), I calculated the consumption of each individual energy system (E_{EXE} : consumption from the aerobic transport system; E_{STOR} : consumption from the oxygen supply; E_{LA} : consumption from the of anaerobic lactate system; E_{AL} : consumption from the anaerobic alactate system) and the total energy consumption while running (E_{TOT}): $E_{TOT} = E_{EXE} + E_{STOR} + E_{LA} + E_{AL}$.

With the determination of energy pathways, the thesis is an important contribution to the understanding of the energetic and physiological background of the most common test of aerobic endurance in children. We found that prepubertal children compared to older children spend the greater part of energy from their aerobic source, and that the use of anaerobic lactate source is typically negatively correlated with the results of the 600m run. A larger aerobic share means a poorer result in the 600m run. The results show that among the parameters of energy consumption E_{LA} has the greatest impact on the outcome of the 600m run. With this we have shown that the 600m run test is an indicator of durability as a complex ability not only as an aerobic ability, as it is generally interpreted.

KAZALO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | UVOD | 7 |
| 2 | PREDMET | 10 |
| 2.1 | DEJAVNIKI USPEŠNOSTI V TEKU | 10 |
| 2.2 | FIZIOLOŠKA PODLAGA TEKA | 16 |
| 2.2.1 | Učinkovitost energijskih procesov | 16 |
| 2.2.2 | Odpravljanje stranskih produktov presnovnih procesov | 22 |
| 2.2.3 | Potek energijskih in ostalih fizioloških procesov pri teku | 24 |
| 2.3 | MERJENJE PORABE IN IZRAČUNI ENERGIJSKIH DELEŽEV | 25 |
| 2.4 | ENERGIJSKI DELEŽI MED TEKOM | 31 |
| 2.4.1 | Variabilnost energijskih deležev | 35 |
| 2.4.2 | Energijski deleži glede na spol | 36 |
| 2.4.3 | Energijski deleži glede na različne metode merjenja | 37 |
| 2.4.4 | Energijski deleži glede na različen protokol meritev: stalna ali spreminjajoča hitrost | 37 |
| 2.4.5 | Energijski deleži glede na metabolično specializacijo merjencev: sprinterji, srednjeprogaši, dolgoprogaši | 39 |
| 2.4.6 | Energijski deleži glede na starost merjencev: skupina otroci in mladostniki | 42 |
| 2.4.7 | Razvoj aerobnega sistema v obdobju otroštva in mladostništva | 43 |
| 2.4.8 | Razvoj anaerobnega sistema v obdobju otroštva in mladostništva | 45 |
| 3 | PROBLEM | 49 |
| 4 | CILJI | 51 |
| 5 | HIPOTEZE | 51 |
| 6 | METODE DELA | 52 |
| 6.1 | Vzorec merjencev | 52 |
| 6.2 | Opis merskih postopkov in spremenljivk | 52 |
| 6.3 | Vzorec spremenljivk | 55 |
| 6.4 | Metode obdelave podatkov | 56 |
| 7 | REZULTATI IN RAZPRAVA | 58 |
| 7.1 | Osnovne statistične značilnosti spremenljivk | 58 |
| 7.2 | Energijski profil pri teku na 600 m glede na starost | 63 |
| 7.3 | Korelacijska analiza | 68 |
| 7.4 | Regresijska analiza | 77 |
| 7.5 | Analiza hipotez | 80 |
| 8 | SKLEP | 81 |
| 9 | LITERATURA | 85 |
| | PRILOGA | 95 |

1 UVOD

Osnovni pogoj vsakega gibanja, je učinkovito zagotavljanje energije za mišično aktivnost. Ta poteka s presnovo različnih goriv po treh metabolnih poteh: aerobni vir, anaerobni laktatni vir in anaerobni alaktatni vir. Koliko energije prispeva posamezen sistem je v veliki meri odvisno od intenzivnosti in trajanja napora in se glede na aktivnost močno razlikuje. Ker je poznavanje deležev energijskih sistemov pri posamezni športni disciplini osnova za razumevanje napora in načrtovanja športne vadbe, je to postal pomemben vidik raziskovanja. V skladu z različnimi modeli za izračun deležev posameznega sistema raziskovalci merijo energijsko porabo v različnih športih, predvsem pa med odraslimi treniranimi tekači. Pri tem je najbolj očitna tendenca povečevanja aerobnega in zmanjševanja anaerobnega deleža s podaljševanjem trajanja napora. Pri daljših manj intenzivnih obremenitvah prevladuje aerobni transportni vir, pri krajših visoko intenzivnih pa anaerobni viri.

Energijski profil posameznika pri določeni aktivnosti sestavljajo deleži štirih energijskih sistemov, aerobnega transportnega, zaloge kisika v mišici, anaerobnega alaktatnega in anaerobnega laktatnega vira. Po podatkih iz literature se pokaže, da lahko ista obremenitev pri različnih posameznikih izzove zelo različen odziv v energijski oskrbi. Energijski deleži so namreč za isto obremenitev od raziskave do raziskave zelo različni. Tako se za aerobni delež med tekom na 800 m pojavljajo vrednosti od 52 % do 81 % (Weyand idr., 1993; Ward Smith, 1985), med tekom na 400 m pa od 17 % do 70 % (Weyand idr., 1993; van Ingen Schenau idr., 1991). Velika raznolikost v deležih je posledica različnih metod merjenja, različne starosti, spola in treniranosti merjencev. Zelo malo pa je znanega, kako in koliko različni metabolični, energijski odziv vpliva na uspešnost v teku. Ta je odvisna od več dejavnikov, funkcionalnih sposobnosti, morfologije, ekonomičnosti, psiholoških dejavnikov, dejavnikov okolja in nekaterih drugih motoričnih sposobnosti. Med funkcionalnimi faktorji so prav energijski sistemi zelo pomembni, zato ugotavljamo, kako parametri energijske oskrbe vplivajo na uspešnost v teku. Ali je v teku na 800 m uspešnejši tisti, ki ima aerobni delež zgolj 35 % ali tisti z izrazito višjim, npr. 81 %?

Uspešnost v teku na dolge razdalje se v literaturi najpogosteje povezuje s porabo kisika (VO_{2max}), intenzivnostjo teka pri anaerobnem pragu ($\% VO_{2max}$) in ekonomičnosti teka (Ramsbottom, 1987). Uspešnost v teku na kratke razdalje je povezana z visoko anaerobno

kapaciteto in največjo hitrostjo (v_{\max}). Rezultat v teku na srednje proge pa je odvisen tako od visoke aerobne kot anaerobne kapacitete (Brandon, 1995). Čeprav je učinkovitost energijskih sistemov eden pomembnejših faktorjev, v literaturi ne najdemo raziskave o odkrivanju vpliva energijskih sistemov na rezultat v teku. Se pa ta vpliv kaže skozi vrsto drugih parametrov. Redke raziskave skušajo v sklopu ugotavljanja energijskih deležev odkriti tudi povezanost posameznega sistema z uspešnostjo v teku. Največkrat se odkriva vpliv parametrov vsebnosti laktata v krvi ali kisikovega deficita na rezultat v teku in tako na posreden način prikažemo pomembnost anaerobnega energijskega sistema. Direktnih merjenj vpliva vseh energijskih sistemov ne poznamo, zato je malo znanega o tem, kakšen energijski profil z vidika energijskih virov imajo boljši tekači in kaj jih loči od slabših ter kakšen je vpliv posameznih energijskih sistemov ter relativnih deležev na uspešnost v teku.

Testni tek na 600 m, ki je bil uporabljen v raziskavi, je terenski test, ki ga vse slovenske osnovne in srednje šole uporabljajo v sklopu merjenj za športno vzgojni karton kot test za merjenje vzdržljivostnih sposobnosti. Uspešen tek na 600 m zahteva razvoj razmeroma visoke hitrosti in hkrati dobro vzdržljivostno sposobnost, ki ohranja hitrost na visokem nivoju do konca teka. Z energijskega vidika je tek na 600 m zahtevna disciplina, saj zahteva dobro razvite vse tri energijske sisteme. Odvisen je od hkratnega prispevka aerobne in anaerobne energije. Med pomembnimi dejavniki uspešnosti teka na 600 m so tudi nekateri drugi fiziološki parametri, ekonomičnost teka, morfološki dejavniki, psihološki dejavniki. Kljub veliki pestrosti vplivov na uspešnost teka test služi kot pokazatelj aerobne vzdržljivosti. Interpretacija temelji na močni povezanosti rezultata teka z največjo porabo kisika. Pogosto pa se nekateri anaerobni parametri izkažejo za močnejše prediktorje rezultata, zato se postavlja vprašanje o pravilnosti interpretaciji testnega teka na 600 m. Z določanjem energijskih deležev med tekom skušamo razložiti kompleksnost vplivov aerobnih in anaerobnih faktorjev, saj je to edini način, ki pokaže dejansko vključenost aerobnih in anaerobnih energijskih virov. Šele na podlagi kombinacije korelacijskih koeficientov različnih aerobnih in anaerobnih parametrov ter deležev energijskih virov lahko kritično presojamo o pravilnosti interpretacij teka na 600 m.

V raziskavi želimo ugotoviti energijski profil merjencev v teku na 600 m, kakšne so razlike v energijskih deležih med različno starimi merjenci in kako različnost v energijski oskrbi vpliva na uspešnost v teku na 600 m. Rezultati bodo nadgradili znanja o energijskem ozadju tekov,

morebitna povezanost pa bo razkrila, kaj znotraj fizioloških sposobnosti in energijskih sistemov pomeni rezultat nekega učenca. Ker so bili v vzorcu zbrani povprečno aktivni učenci 3. in 4. razreda ter 7. in 8. razreda, bodo rezultati tudi pomembni pri odkrivanju spoznanj o specifičnemu odzivu na napor pri starostno različnih skupinah otrok.

2 PREDMET

Naloga se bo torej ukvarjala z energijsko oskrbo in energijskimi deleži teka kot faktorji uspešnosti v teku na 600 m pri otrocih. Pri tem je za razumevanje energijskih profilov teka nujno poznavanje fizioloških osnov napora, značilnosti tekaških disciplin, metod merjenja energijske porabe, dejavnikov tekaške učinkovitosti, specifičnega odziva na napor pri otrocih in mladostnikih ter tudi podatkov dosedanjih raziskav na tem področju.

2.1 DEJAVNIKI ZMOGLJIVOSTI V TEKU

Zmogljivost v teku je odvisna od velikega števila dejavnikov, od funkcionalnih sposobnosti organizma (aerobni, anaerobni energijski procesi, delovanje srčno-žilnega in dihalnega sistema, termoregulacija, delovanje pufrskega sistema ...), ekonomičnosti gibanja, psiholoških dejavnikov (motivacija), taktike, morfoloških dejavnikov, dejavnikov okolja, nekaterih motoričnih sposobnosti (hitrost, moč ...). Med biološkimi dejavniki so najpomembnejši učinkovitost energijskih procesov, razpoložljivost in zaloge goriv za energijske procese, učinkovitost sistema za prenos kisika, sposobnost ohranjanja fiziološkega ravnovesja v organizmu, sposobnost prenašanja in odpravljanja stranskih produktov presnovnih procesov (učinkovitost termoregulacijskih procesov pri odpravljanju ustvarjene toplote pri teku, pufrskih mehanizmov pri nevtraliziranju nekaterih produktov anaerobnega metabolizma) in delovanje živčno mišičnega sistema (Ušaj, 1990; Škof, 2007).

Vloga teh dejavnikov pa se zelo razlikuje glede na dolžino tekaške discipline. Zato se tudi značilnosti uspešnih tekačev na srednje proge razlikujejo od uspešnih v šprintu ali na dolge razdalje.

Brandon in Boileau (1992), ki sta raziskovala najpomembnejše faktorje zmogljivosti v teku na 800, 1500 in 3000 m, sta kot najpomembnejše dejavnike uspešnosti v teku na daljše srednje razdalje (1500 in 3000 m) navedla največjo poraba kisika (VO_{2max}), dolžino koraka in anaerobno kapaciteto. Na rezultat v teku na 800 metrov pa najbolj vpliva največja hitrost (v_{max}), največja poraba kisika (VO_{2max}), delež maščobne mase in dolžina stegna. Po Brandon (1995) imajo največja aerobna moč (VO_{2max}), ekonomičnost teka in laktatni prag največji

vpliv na rezultat v teku na dolge proge, medtem ko so za uspešnost v šprintu odločilne anaerobne spremenljivke in največja hitrost.

Največja poraba kisika (VO_{2max}) velja za najmočnejši prediktor rezultatov na dolge proge, predvsem v skupinah kakovostno različnih tekačev. Največja aerobna moč (VO_{2max}) pojasnjuje sposobnost organizma za prenos kisika in njegovo porabo v mišicah. Največja poraba kisika je bila povezana z rezultati v teku na 800, 1500 in 5000 m, ne pa z uspešnostjo v teku na 100, 200 in 400 m (Weyand idr., 1994). Najvišjo aerobno moč imajo prav vzdržljivostno trenirani tekači, kolesarji in tekači na smučeh. Tako so pri šele 18-letnemu kolesarju Oskarju Svendsenu izmerili 97,5 mlO₂/kg/min; pri norveškem smučarskem tekaču Bjørn Dæhlie 96,0 mlO₂/kg/min in pri nekdanjemu rekorderju v teku na 10 km Davidu Bedfordu 85 mlO₂/kg/min (Bangsboo in Larsen, 2001). Navkljub pomembnosti aerobne moči pri tekaških preizkušnjah, pa se VO_{2max} ni izkazal kot dober pokazatelj uspešnosti v skupinah najbolj uspešnih tekačev. Pokaže se, da imajo posamezniki s podobim rezultatom v teku zelo različno maksimalno porabo kisika in po drugi strani, da so merjenci z enako VO_{2max} različno uspešni v teku na dolge razdalje. Kar hkrati pomeni, da tekač z večjo maksimalno porabo kisika ni nujno uspešnejši v teku na srednje in dolge proge. Pomemben parameter je tudi hitrost, pri kateri doseže VO_{2max} ($v_{VO_{2max}}$). Oba parametra povezuje eden pomembnejših pokazateljev tekaške uspešnosti, tj. ekonomičnost teka. Tekoč, ki doseže večjo maksimalno porabo kisika, vendar pri nižji maksimalni hitrosti, teče manj ekonomično. Raziskave pa so pokazale, da so najuspešnejši najbolj ekonomični tekači in ne tekači z najvišjo VO_{2max} (Bangsboo in Larsen, 2001).

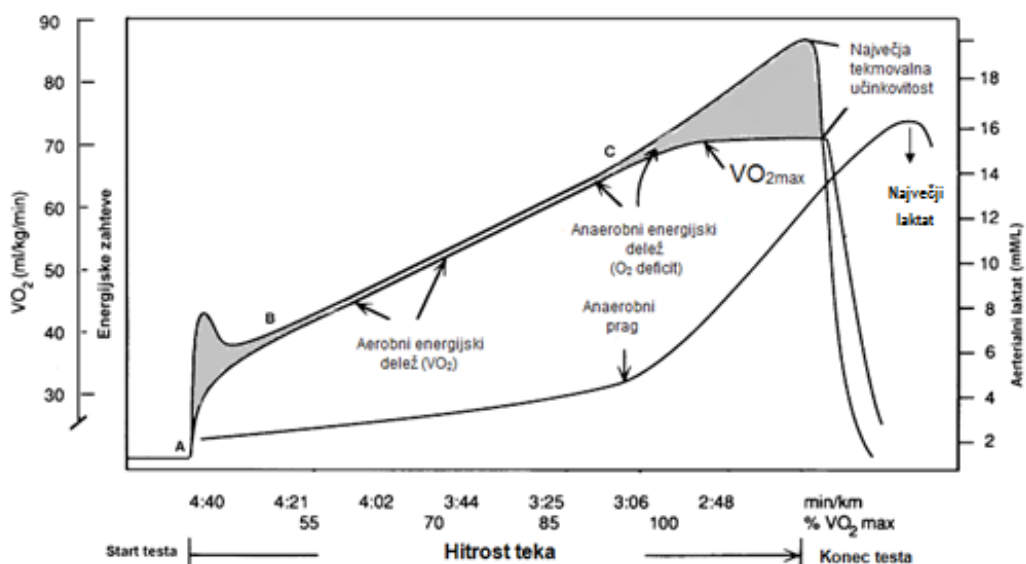
Ramsbottom idr. (1987) so raziskovali dejavnike, ki vplivajo na uspeh v teku na 5 km. Pokazala se je močna povezanost rezultata z največjo porabo kisika (moški, $r = -0,85$; ženske, $r = -0,80$) in srednja povezanost rezultata z ekonomičnostjo teka (moški, $r = 0,39$; ženske, $r = 0,34$).

Pomemben prediktor zmogljivosti je tudi intenzivnost teka izražena v odstotkih VO_{2max} (% VO_{2max}). Dolgoprogaši so sposobni vzdrževati intenzivnost teka na razdaljah daljših od 5 km pri višjem odstotku VO_{2max} kot srednjeprogaši in pri tem dosegajo boljše čase. Pri tem je intenzivnost neodvisna od VO_{2max} .

Za uspešnost na dolge, predvsem pa na srednje in kratke razdalje so odločilni tudi anaerobna kapaciteta in moč. Največji kisikov deficit se je pokazal kot močen pokazatelj uspešnosti v teku na srednje in kratke proge, ne pa tudi dolge (5 km). Korelacijski koeficient na razdalji 400 m je $-0,71$, na razdalji 1500 m $-0,52$ in na 5000 m $-0,40$, kar kaže tudi na manjšo vključenost anaerobnih virov pri teku na daljše razdalje. Na razdaljah do 400 metrov je z rezultatom povezan tudi parameter največji laktat v krvi (200 m $r = -0,51$; 400 m, $r = -0,48$), vendar kisikov deficit pojasnjuje dvakrat večji delež variance v teku kot največji laktat (Weyand, 1994).

Baumann idr. (2012) so raziskovali vpliv anaerobnih sposobnosti na rezultat v teku na 5 km pri treniranih tekačih. S hitrostjo teka na 5 km je bila visoko povezana največja poraba kisika (VO_{2max}) ($r = 0,80$) in največja hitrost med maksimalnim anaerobnim testom na tekaški preprogi (v_{MART}) – anaerobna kapaciteta ($r = 0,69$). VO_{2max} , v_{MART} in VE pojasnjujejo 81 % variance v v_{5km} . Anaerobni del energije torej pojasnjuje velik del variance v teku na 5 km.

Martin in Coe (1997) opisujeta tri najpomembnejše fiziološke faktorje tekaške uspešnosti, ki jih prikazuje slika 1. Poleg največje porabe kisika (VO_{2max}) in intenzivnosti na laktatnem pragu omenjata tudi parameter »največja tekmovalna učinkovitost« (slika 1). Definirata ga kot vsoto vplivov maksimalnega anaerobnega metabolizma nad največjimi vrednostmi aerobnega metabolizma.



Slika 1 Najpomembnejši fiziološki faktorji tekaške uspešnosti: anaerobni prag, VO_{2max} in največja tekmovalna učinkovitost (povzeto po Martin in Coe, 1997).

Omenjeni dejavniki so pomembni tudi pri populaciji otrok in mladostnikov. Zaradi skromnejšega števila raziskav ter spreminjajočih se značilnosti zaradi telesnega razvoja pa so povezave med nekaterimi parametri manj jasne kot pri odraslih merjencih. Največja poraba kisika na kilogram telesne teže se namreč skozi odraščanje bistveno ne spreminja, medtem ko se rezultati v vzdržljivostnih testih z leti bistveno izboljšujejo. Povprečen 14-letnik preteče 1 miljo skoraj dvakrat hitreje kot povprečen petletnik, pri tem pa imata podobne vrednosti VO_{2max}/kg (Rowland, 1989). Izboljšanje rezultata v vzdržljivostnih testih tako ne more biti posledica nespremenjenih relativnih vrednosti največje porabe kisika. Rowland (1989) opozarja, da je izboljšanje rezultatov v vzdržljivostnih testih z odraščanjem prej posledica izboljšanje ekonomičnost gibanja (enaka obremenitev za starejše otroke predstavlja manjši metabolični stres kot za mlajše) in anaerobnih sposobnosti (anaerobna kapaciteta, mišična moč, hitrost ...) kot pa aerobne moči.

Nekatere raziskave zato opozarjajo, da je povezanost VO_{2max} z uspešnostjo v teku pri otrocih šibkejša kot pri odraslih. Korelacijski koeficienti se pri odraslih gibajo med $-0,74$ in $-0,80$ za tek na 1 miljo, $0,90$ za pretečeno razdaljo v 12 minutah in $0,85$ za rezultat v teku na 2 milj (Burke, 1976; Costill, 1967; Johnson, 1971 v: Rowland, 1989). Korelacijski koeficient med rezultatom v cooperjevem testu (12 minut) in VO_{2max} pri 11 do 14-letnih otrocih je $0,65$. (Maskud in Coutts, 1971). Jackson in Coleman (1976) poročata, da je povezava med VO_{2max} in pretečeno razdaljo v devetih minutah $0,82$ za fante in $0,71$ za dekleta. Krahenbuhl in ostali (1977) so raziskovali populacijo starosti 8 let in odkrili korelacijo med tekom na 1 miljo (1609 m) in največjo porabo kisika $-0,71$ za fante in $-0,26$ za dekleta. Rowland idr. (1999) poročajo o $0,77$ povezanosti med VO_{2max} in hitrostjo teka na 1 miljo, kjer VO_{2max} pojasnjuje 28 % variance hitrosti v teku na eno miljo. Manjši odstotek pojasnjene variance tako kaže na pomemben vpliv drugih faktorjev uspešnosti v teku pri otrocih in mladostnikih.

Vzdržljivostna sposobnost otrok je omejena s slabšo ekonomičnostjo teka. Za isto hitrost gibanja otroci porabijo več kisika kot odrasli. Rowland (1989) navaja, da znaša poraba kisika pri teku s hitrostjo $9,6$ km/h pri otrocih (10–12 let) $35,8$ ml $kg^{-1}min^{-1}$, pri mladih odraslih pa $30,9$ ml $kg^{-1}min^{-1}$. Na vzorcu 28 dečkov je odkril značilno korelacijo med ekonomičnostjo in časom teka pri vzdržljivostnem testu ($r = -0,58$). Manjša ekonomičnost teka je pri otrocih posledica manj ugodnih razmerij telesnih dimenzij, krajših okončin, manjše mišične mase in manjše mehanske moči, večje bazalne energije, manj ugodnega razmerja telesna površina :

telesna masa, višje frekvence koraka, večjih nihanj težišča telesa, slabšega izkoristka elastične energije zaradi manjše mišične togosti, višjega ventilacijskega ekvivalenta za kisik (Rowland, 1989).

Precejšen vpliv na uspešnost v teku pri otrocih imajo zaradi burne rasti tudi nekateri morfološki dejavniki. Cureton idr. (1977) so raziskovali vpliv morfoloških dejavnikov, učinkovitosti srčno-žilnega in dihalnega sistema ter hitrosti teka na rezultat v teku na 600 jardov in 1 miljo med 7 do 12 let starimi otroci. Najpomembnejši pokazatelji rezultata v obeh testih so bili telesna višina, odstotek maščobne mase, največja poraba kisika ter rezultat na 50 jardov. Naštete spremenljivke so pojasnile 71 oz. 66 % variance rezultata v teku na 600 jardov oz. na 1 miljo.

Cisar (1986) je raziskoval, kateri faktorji določajo uspešnost v teku na dolge proge pri mladostnikih (8–21 let). V raziskavi je odkrival vpliv moči nog, anaerobne moči, anaerobne kapacitete, telesne teže, višine, dolžine nog, maščobne mase, ekonomičnosti, anaerobnega praga, VO_{2max} na rezultat v teku na 2 milji. VO_{2max} je pojasnjeval 52 % variance rezultata v teku na 2 milji, telesna teža dodatnih 20 %, 5 % ekonomičnost, 4 % delež maščobne mase. V najmlajših dveh skupinah (8–11 let, 12–14) sta bila najboljša pokazatelja ekonomičnost, delež maščobne mase, v skupini 15–17 let ekonomičnost teka, v najstarejši skupini (18–21) pa telesna teža, največja poraba kisika, ekonomičnost in anaerobni prag. Rezultati kažejo, da so za uspešnost v teku na dolge proge v posameznem obdobju otroštva, mladostništva pomembni različni parametri.

Mahon idr. (1996) so raziskali vpliv različnih faktorjev na rezultat v teku na 3 km med fanti v starosti 10 let. Izkazalo se je, da navpični skok in % VO_{2max} pri 8,04 km/h pojasnujeta 83 % variance rezultata. Zaključili so, da je rezultat v teku na 3–km med aktivnimi dečki odvisen od aerobnih in anaerobnih faktorjev.

Krahenbuhl in Pangrazi (1983) sta primerjala skupino uspešnejših in skupino manj uspešnih desetletnikov v teku na 1,6 km. Hitrejši tekači so imeli značilno višjo največjo porabo kisika (55,1 proti 48,6 ml/kg/min), manjšo kožno gubo (15,2 proti 22,7 mm), višjo maksimalno hitrost (359,7 m/min; 341,1 m/min), višji odstotek največje hitrosti pri 9-minutnem teku (58%; 51,6%), večjo porabo kisika pri tej hitrosti (48,5; 40,8 ml/min/kg) in večjo vsebnost

laktata po 9-minutnem teku (9,1; 6,7 mM/l). Uspešnejši v 9 minut trajajočem teku so tudi boljši šprinterji in dosegajo večjo vsebnost laktata v krvi, kar potrjuje povezanost akumulacije laktata in odstotka hitrih mišičnih vlaken (tip II).

Palgi idr. (1984) so odkrivali povezanost nekaterih fizioloških faktorjev ter antropometrije na rezultat v teku na 2 kilometra pri 10 do 14 leta starih otrocih. Korelacijski koeficienti za VO_{2max} , anaerobni prag absolutno in relativno, anaerobna kapaciteta in odstotek maščobne mase so bili $-0,73$, $-0,73$, $-0,50$, $-0,77$ in $0,55$. Regresijska analiza je pokazala, da anaerobna kapaciteta pojasnjuje 59,5 % variance rezultata v teku na 2 km, VO_{2max} pa za še dodatnih 6,9 %.

Mayers in Gutin (1979) sta primerjala nekatere fiziološke in morfološke parametre med dobro treniranimi mladimi tekači in normalno aktivnimi dečki starosti 9–11 let. Skupini se nista razlikovali v telesni višini, teži in odstotku maščobe. Skupina treniranih dečkov je imela značilno višjo največjo porabo kisika (trenirani 56,6 ml/kg/min; običajno aktivni 46,0 ml/kg/min), nižji RER (večjo porabo maščobe) ter boljšo ekonomičnost teka. Povezanost parametrov z rezultatom v teku na eno miljo je bila zelo različna, ko so primerjali vse merjence in pa le znotraj skupine tekačev. VO_{2max} je bila močno negativno povezana z rezultatom ($r = -0,88$), vendar povezanosti znotraj bolj homogene skupine tekačev ni bilo. Znotraj skupine tekačev je bila najmočnejša povezanost z rezultatom v teku na 1 miljo pri anaerobni kapaciteti ($r = -0,89$), % VO_{2max} pri 213m/min ($r = 0,87$) in starosti ($r = -0,85$).

Malison in sodelavci (2004) so raziskovali vpliv nekaterih aerobnih in anaerobnih faktorjev na čas teka na 3 kilometre ($13,27 \pm 0,97$ min) pri 13,4-letnih tekačih. Poraba kisika (VO_2) je znašala $61,7 \pm 4,4$ ml/kg/min in je predstavljala $90,1 \pm 7,2$ % VO_{2max} , ki je bila negativno povezana z rezultatom teka ($r = -0,56$, $p = 0,12$). Vsebnost laktata v krvi po teku je znašala $8,3 \pm 3,2$ mmol/l in je bila povezana s časom teka ($r = -0,73$, $p = 0,02$). Izkazalo se je, da sta za uspešnost v teku na 3 kilometre najpomembnejša faktorja sposobnost teči pri visokem deležu največje porabe kisika (% VO_{2max}) in hkrati odpornost na visoko vsebnost laktata v krvi.

Škof idr. (2002) so ugotavljali, kako mere telesne sestave in telesna višina vplivajo na rezultat v teku na 600 m in 2400 m pri otrocih v obdobju med 10 in 14 leti. Rezultati so

pokazali, da dimenzije telesne sestave in telesna višina pojasnjujejo 76 % oziroma 77 % variance rezultata v teku na 2400 m oz. 600 m. Pri tem imata na rezultat v teku na 600 m največji vpliv telesna višina in delež maščobnega tkiva, saj samo ti dve dimenziji pojasnita 76 % variabilnosti rezultata. 73 % variabilnosti rezultata na 2400 m pojasnjujejo maščobna masa, telesna višina in mišična masa. V krajšem teku dosegajo boljše rezultate višji otroci z več mišične mase, v daljšem teku pa predvsem višji otroci z malo maščobne in mišične mase. Kar nekaj raziskav skuša skozi metabolične parametre (največji kisikov deficit, največji laktat v krvi, največja poraba kisika) prikazati pomembnost posameznega energijskega vira v teku na različne razdalje. Ti podatki kažejo, da je velika anaerobna laktatna kapaciteta prednost v teku, predvsem na srednje razdalje. Tako so Lacour idr. (1990) raziskovali povezanost med anaerobno glikolizo in hitrostjo pri teku na 400 m (moški $r = 0,89$, ženske $r = 0,77$) in 800 m (moški $r = 0,71$). Na razdalji 1500 m ni povezanosti. Po Zouhal idr. (2010) je povezanost kisikovega deficita, z rezultatom v teku na 400 m močno negativna ($r = -0,88$).

2.2 FIZIOLOŠKA PODLAGA TEKA

2.2.1 Učinkovitost energijskih procesov

Tek je sestavljen iz več ponavljajočih enostavnih gibov, zato ga opredeljujemo kot monostrukturno ciklično gibanje. Gibanje in držo telesa s ponavljajočimi ritmičnimi kontrakcijami omogočijo skeletne mišice. Te pretvarjajo kemično energijo v mehansko in s tem opravljajo delo ter sproščajo toplotno energijo. Mišica je pri tem odvisna od kisika in energije, ki je zagotovljena v kemični obliki in pride do nje s cirkulacijo krvi, potem ko se v procesih presnove hrana razgradi na elementarne dele (Astrand in Rodahl, 1986). Bistvo metabolizma skeletnih mišičnih celic je pretvorba goriv v končne produkte s skladiščenjem energije v za celično funkcijo uporabni obliki – adenzin trifosfat (ATP). Neposredna energija, potrebna za mišično delo, se tvori s cepitvijo energijsko bogatih kovalentnih vezi, ki povezujejo atome te visoko energetske spojine. ATP se razgradi na ADP (adenzin difosfat) in P (neorganski fosfat): $ATP \rightarrow ADP + \text{energija} + P$.

Del energije se porabi za delo (mišično kontrakcijo), del pa se pretvori v toplotno energijo. Zaloge ATP v celici so zelo majhne, le 80 do 100 g ATP ali 2,4 mmol ATP na vsak kilogram mišične mase in zadostujejo le za 1 do 2 sekundi intenzivne mišične dejavnosti (Škof, 2007).

Zato morajo mišične celice zalogo ATP stalno obnavljati v istem tempu, kot se porablja. Nivo ATP je vseskozi uravnavan, razmerje ATP : ADP in povečana koncentracija P je kontrolirana. Vsaka sprememba razmerja sproži energijske procese, katerih namen je, da vzpostavijo porušeno ravnovesje v normalne vrednosti. Obnova ATP poteka s presnovo različnih goriv po različnih poteh. Poznamo tri glavne procese resinteze ATP:

1. aerobna pot resinteze ATP (aerobni ali oksidativni presnovni proces, celično dihanje),
2. anaerobna laktatna pot (glikolitični presnovni proces),
3. anaerobna alaktatna pot (fosfagenski ali kreatinfosfatni presnovni proces).

2.2.1.1 AEROBNI PRESNOVNI PROCES

V aerobnem energijskem procesu se ob prisotnosti kisika razgrajujejo glikogen (glukoza) in/ali maščobe ter razpadejo na ogljikov dioksid in vodo. Pri tem se sprosti energija, ki se porablja za sintezo ATP. Celično dihanje je najkompleksnejši metabolni proces, poteka v več fazah ob prisotnosti različnih encimov, ki uravnavajo ustrezne kemične reakcije. Zaradi kompleksnosti je resinteza ATP po tej poti najpočasnejša. Hitrost biokemijskih reakcij omejuje predvsem največja hitrost transporta kisika, ki jo določamo z največjo porabo kisika (VO_{2max}). Polni razvoj aerobni energijski procesi tako dosežejo po nekaj minutah aktivnosti, vendar pa časovno ti procesi nimajo omejitve, saj so zaloge glikogena, predvsem pa maščobne zaloge, dovolj velike za dolgotrajno mišično delo pri zmerni intenzivnosti. Sistem proizvede 36 molekul ATP iz ene molekule glukoze (Willmore and Costill, 2004).

Aerobni energijski procesi potekajo v začetni fazi po dveh različnih poteh, odvisno od goriva, ki se uporablja v energijskih procesih. V drugi fazi poteka v biokemijskih reakcijah Krebsovega cikla, v tretji fazi pa v procesih respiratorne verige.

Ogljikovi hidrati se izkoriščajo pri višji intenzivnosti aerobnega napora kot maščobe. Razgradnja glikogena v mišici in glukoze iz krvi se prične s procesom glikogenolize (glikolize), kjer nastaneta piruvat in vodikovi ioni, vezani na nikotin-adenin-dinukleotid (NAD). Ob zadostni oskrbi mišice s kisikom piruvat vstopa v Krebsov cikel preko acetil koencim A. Vodikovi ioni, nastali ob glikogenolizi, in vodikovi ioni iz Krebsovega ciklusa vstopajo v respiratorno verigo, kjer se v procesih dehidrogenacije vežejo s kisikom. Stranska produkta aerobnega metabolizma sta tako ogljikov dioksid in voda (Astrand in Rodahl, 1986).

glikogen + kisik + ADP → ogljikov dioksid + ATP + voda

Proces razgradnje maščob se imenuje oksidacija maščob ali aerobna lipoliza. Maščobe najprej transformirajo v maščobne kisline in glicerol ter nato v procesu beta oksidacije in preko acetil koencima A vstopajo v Krebsov cikel in nato v dihalno verigo. Da proces razgradnje maščob poteka učinkovito je potrebna zadostna količina kisika ter dobro delovanje uravnalnih mehanizmov znotraj mišice. Na presnovo vplivajo kateholamini (adrenalin in noradrenalin), ki so pomemben element pri sproščanju glicerola in maščobnih kislin iz maščevja (Astrand in Rodahl, 1986).

maščobne kisline + kisik + ADP → ogljikov dioksid + ATP + voda

Aerobni energijski procesi lahko kot gorivo porabljajo tudi laktat, ki je nastal pri anaerobnem laktatnem metabolizmu:

laktat + kisik + ADP → ogljikov dioksid + ATP + voda

Športniki z visoko razvito aerobno sposobnostjo (»maščobno močjo«) porabljajo na tekmovanju (v dolgotrajnih aktivnostih) več maščob kot slabše trenirani. Sposobni so prenašati napor dlje časa in varčevati ogljikove hidrate za kasnejši intenzivnejši napor (Ušaj, 2003).

2.2.1.2 ANAEROBNI LAKTATNI PRESNOVNI PROCES

Anaerobni laktatni energijski procesi potekajo hitreje od aerobnih, vendar imajo manjšo kapaciteto. Ti procesi pokrivajo energijske potrebe pri največjih intenzivnostih, ki trajajo maksimalno 60 do 90 sekund največjega mišičnega naprežanja. Za obnavljanje ATP-ja se v anaerobnih laktatnih energijskih procesih (proces glikogenolize in glikolize) porabljajo ogljikovi hidrati (glikogen in glukoza). Zaloge glikogena v mišici so dovolj velike za trajanje do 90 sekund visoko intenzivnega napora (Ušaj in Starc, 1990). Produkt te reakcije je mlečna kislina, ki pa v območju fizioloških vrednosti disocira na laktatne in vodikove ione. Glavni dejavnik, ki preprečuje daljše trajanje intenzivnega napora, je hitro in zelo izraženo povečevanje acidoze v mišicah in celotnem organizmu, zaradi kopičenja vodikovih ionov. Prenehanje takšnega napora zaradi utrujenosti se pojavi pred izčrpanjem zalog mišičnega glikogena. Ta proces prikazuje spodnja enačba:

glikogen + ADP → laktat + ATP

Glikoliza se uravnava preko uravnavanja aktivnosti encima fosforilaze (njegovo aktivnost povečata hormona glukagon in adrenalin) in z uravnavanjem encima fosfofruktokinaze; njegova aktivnost se poveča, ko se zmanjša količnik ATP/AMP in ko se zmanjša koncentracija limonske kisline. Povečanje koncentracije mlečne kisline pa inhibira aktivnost encima fosfofruktokinaze.

V mirovanju je vsebnost laktata v krvi 1–2 mmol/l, ki ostane na tej ravni tudi med aktivnostmi nizke intenzivnosti (Billat, 1996). Če metabolične zahteve presežejo aerobno kapaciteto, vzporedno poteka anaerobna glikoliza, zato vsebnost laktata v krvi naraste.

2.2.1.3 ANAEROBNI ALAKTATNI PRESNOVNI PROCES

Najhitrejša sinteza ATP poteka z anaerobnimi alaktatnimi procesi ob razgradnji kreatin fosfata (CrP): $ADP + CrP \rightarrow ATP + Cr$. Ti procesi se vključujejo pri najvišjih intenzivnostih, ki trajajo približno 8–10 sekund. Kljub majhni količini CP v mišici, pa se zaloge hitro obnovijo. Čas, ki je potreben za regeneracijo 50 % porabljenega Cp, znaša le 25 sekund. Po 3 minutah pa se ga nadomesti kar 90 %. Sproščanje energije je po tej poti najhitrejše in največje.

2.2.1.4 DINAMIKA ENERGIJSKIH SISTEMOV

Vloga posameznega energijskega sistema je pri različnih telesnih dejavnostih različna, vendar je tekmovalna učinkovitost v večini športov sinteza učinkovitosti vseh treh (Škof, 2007). Učinkovito delovanje aerobnih in anaerobnih procesov omogoča tekaču, da ohranja visoko hitrost skozi celotno razdaljo. Delovanje in učinkovitost posameznega sistema pa je pogojena z vrsto drugih fizioloških faktorjev: srčno-žilnega, dihalnega sistema, mišičnih dejavnikov (prevladujoči tip mišičnih vlaken, encimi, velikost in število mitohondrijev, kapilarizacija, zaloge CP, glikogena), hormonskega sistema, sistema termoregulacije.

Glede na lastnosti, moč in kapaciteto vsakega od energijskih procesov (preglednica 1), se viri medsebojno dopolnjujejo, da zadostijo energijskim zahtevam napora. Pri tem naj bi trajanje napora bil ključni faktor spreminjajočih energijskih deležev (preglednica 2). S podaljševanjem časa telesne aktivnosti se namreč spreminja procentualni odnos deleža anaerobnih energijskih virov (ATP, CP/glikoliza), prav tako pa tudi odstotkovni odnos med deležem anaerobne in

oksidacijske energije. Ti odnosi so posledica različnih energijskih tempov posameznih kemičnih procesov (Lasan, 2004). Oksidacijski procesi imajo najpočasnejši tempo (najmanjša količina razpoložljive energije na časovno enoto), vendar pa imajo z velikimi zalogami glikogena in maščobnih kislin skoraj neomejeno kapaciteto. Laktatna moč je omejena z aktivnostjo glikolitičnih encimov, predvsem fosfofruktokinaze (PFK), ter s kopičenjem hidrogenih ionov, ki zmanjšujejo aktivnost PFK. Laktatna kapaciteta je v prvi vrsti omejena z največjo acidozo, ki jo posameznik še tolerira. Alaktatna kapaciteta je omejena z majhnimi zalogami kreatin fosfata v mišici (Heck idr., 2003).

Preglednica 1 Moč in kapaciteta energijskih procesov (Fox in Mathews, 1981). Največjo moč imajo anaerobni alaktatni energijski sistem, nato anaerobni laktatni sistem. Največjo kapaciteto ima aerobni energijski sistem.

| Energijski proces | Največja moč (mol ATP/min) | Največja kapaciteta (razpoložljivih mol ATP) |
|------------------------------------|----------------------------|--|
| Anaerobni alaktatni (ATP+CP) | 3,6 | 0,7 |
| Anaerobni laktatni (glikogenoliza) | 1,6 | 1,2 |
| Aerobni procesi | 1,0 | 90,0 |

Preglednica 2 Delež aerobne in anaerobne energije glede na trajanje telesnega napora (Lasan, 2004)

| Energijski viri | Trajanje telesnega napora | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------------|----|----|--------|----|----|----|----|-----|
| | sekunde | | | minute | | | | | |
| | 10 | 30 | 60 | 2 | 4 | 10 | 30 | 60 | 120 |
| % anaerobne energije | 90 | 80 | 60 | 50 | 35 | 15 | 5 | 2 | 1 |
| % oksidacijske energije | 10 | 20 | 30 | 50 | 65 | 85 | 95 | 98 | 99 |

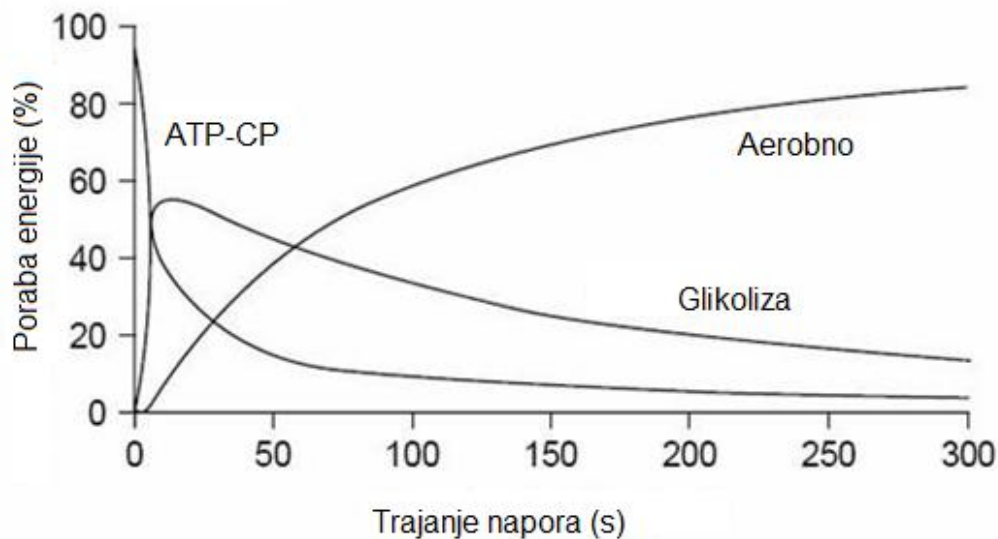
Goriva za začetne energijske procese predstavljajo kreatinfosfat, zaloga ATP in kisik vezan na mioglobin. CP sistem doseže maksimum pri 1,3 sekunde (Gastin, 2001). Anaerobna glikoliza (s produkcijo laktata) je naslednji energijski proces, saj zaloge goriv znašajo le okrog 20 KJ energije. Istočasno se vključijo tudi oksidacijski procesi, vendar se njihov delež zaradi zapletenega procesa začne povečevati šele po nekaj sekundah aktivnosti. Zato je zmotno prepričanje, da so kratkotrajne aktivnosti anaerobne, dolgotrajne pa aerobne. Vključevanje energijskih procesov ni zaporedno, kot je včasih veljalo, temveč se v proizvodnjo ATP ob začetku vsake aktivnosti vključijo vsi energijski sistemi hkrati in je tako praktično vsaka športna aktivnost odvisna od vseh treh energijskih procesov. Posledično se pokaže, da ima aerobni energijski sistem večji pomen tudi med kratkimi visokointenzivnimi napori. Podcenjevanje aerobnega deleža med kratkimi visokointenzivnimi aktivnostmi je posledica

uporabe napačnih metod merjenja (Spencer idr., 1996). Pokazalo se je, da metoda določanja energijskih deležev na podlagi kisikovega dolga precenjuje anaerobni delež, zato so zaključki nekaterih raziskav napačni. Novejši podatki kažejo, da je v začetku teka prevladujoči energijski vir resda anaerobni (Lacour idr., 1990), vendar delež aerobne energije s časom vztrajno raste. Medtem ko starejši viri navajajo, da se deleža aerobne in anaerobne energije izenačita šele po dveh minutah napora (Astrand in Rodahl, 1986), pa je Gustin (2001) v svoji raziskavi odkril, da se točka izenačenja energijskih sistemov pojavi po 75. s aktivnosti. Po nekaterih podatkih, naj bi se to zgodilo še prej, pri 60. sekundi. Spencer idr. (1996) so v raziskavi teka na 400, 800 in 1500 m odkrili, da se je točka preloma pojavila že med 15. in 30. sekundo. Pojavila se je tudi med tekom na 400 m, čeprav je v celoti anaerobni delež večji. Pri Duffield in Dawson (2003) se je točka pojavila nekoliko pozneje (40.–55. s), vendar še vedno pred eno minuto. Brandon (1995) navaja, da se aerobni delež občutno poveča po približno 45 sekundah, saj se poraba kisika znatno poveča blizu najvišjim vrednostim (Brandon, 1995). Tekalci na 400 metrov v prvih 30-sekundah teka dosežejo tudi do 94 % največje porabe kisika (Spencer idr., 1996).

S podaljševanjem trajanja aktivnosti se torej aerobni delež povečuje, anaerobni pa zmanjšuje. Absolutna poraba iz anaerobnega vira sicer s podaljševanjem napora raste, vendar pri intenzivnostih nad največjo porabo kisika le do maksimalne kapacitete anaerobnega sistema, pri intenzivnostih pod njo pa dokler aerobni sistem ne prevzame celotne oskrbe. Pokaže se, da se absolutne vrednosti anaerobnega vira med tekom na 400, 800 in 1500 m ne razlikujejo (Spencer idr., 1996), kar pomeni, da so bile anaerobne kapacitete izčrpane že v teku na 400 m. Po Spencer in Gustin (2001) pa se je kisikov deficit povečeval od 30,4 ml/kg v teku na 200 m, 41,3 ml/kg pri teku na 400 metrov do 48,8 ml/kg pri teku na 800 m. V teku na 1500 m je znašal 47,1 ml/kg. Očitno je, da mora tekač optimalno in ekonomično razpolagati z omejenimi anaerobnimi viri. Če na 800–metrski preizkušnji teče z največjo intenzivnostjo teka prvih 400 metrov, bo moral v drugem delu občutno upočasniti zaradi izčrpanja anaerobnih kapacitet oz. kopičenja produktov anaerobnega metabolizma.

Grafični prikaz (slika 2) prikazuje relativne energijske deleže k celotni energijski oskrbi za različna trajanja med maksimalnim naporom. V začetku napora prevladuje anaerobni laktatni energijski vir, ki je največji v prvi sekundi, nato pa v prvih desetih sekundah upade za 75 do 85 %. Tudi aerobni energijski sistem se odzove presenetljivo hitro in neodvisno od

intenzivnosti, vendar v samem začetku navora zaradi zahtevnega procesa ne sledi velikim energijskim zahtevam v primerjavi z enostavno obnovo ATP-ja po anaerobni energijski poti.



Slika 2 Časovni potek energijskih procesov pri naporu (ATP-PCr alaktatni energijski vir) (Gastin, 2001).

2.2.2 Odpravljanje stranskih produktov presnovnih procesov

Poleg učinkovitosti presnovnih procesov je za uspešno premagovanje naporov pomembna tudi hitrost odpravljanja stranskih produktov. Ti namreč ovirajo nadaljnji potek presnovnih procesov, znižujejo aktivnost centralnega živčnega sistema, zmanjšujejo kontraktilno funkcijo skeletnih mišic in povzročajo živčno-mišično utrujenost (Škof, 2007).

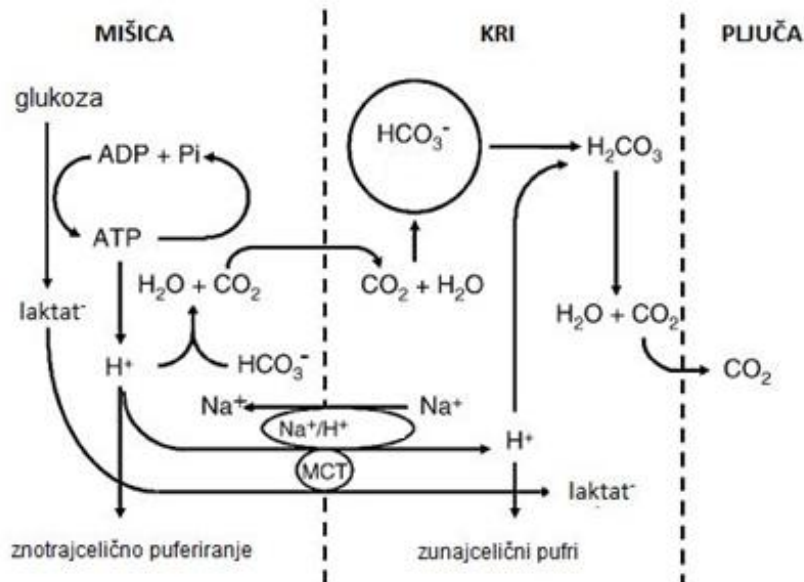
- Ohranjanje stalne telesne temperature

Stalna telesna temperatura je poleg acidobaznega ravnotežja življenjsko pomemben homeostatski dejavnik. Hipotalamus se na informacijo o zvišani temperaturi iz receptorjev odzove z učinkovitimi termoregulacijskimi mehanizmi: stimulira se znojenje in razširitev površinskih žil, s čimer se pospeši transport metabolične toplote na periferijo in njeno oddajanje (Škof, 2007).

- Ohranjanje acidobaznega ravnotežja

Visokointenziven tek zahteva veliko aktivnost anaerobnega energijskega metabolizma, katerega stranski produkti rušijo homeostazo organizma. Ko postane produkcija vodikovih

ionov in laktata večja od porabe v mišicah, srcu, ledvicah in jetrih, se metaboliti začno kopičiti v mišicah in krvi in rušijo acidobazno ravnotežje. Nizek pH zmanjšuje aktivnost nekaterih presnovnih encimov, prevelika kislost pa bi celo popolnoma preprečila delovanje encimov in celice bi začele odmirati. Organizem se zato zaščiti in se odzove z utrujenostjo, ki zniža intenzivnost ter potek anaerobnih energijskih procesov in na ta način tudi proizvodnjo laktata. Najpomembnejšo vlogo pri ohranjanju acidobaznega ravnotežja pa imajo pufri. Pufri zmanjšujejo kislost v organizmu tako, da močno kislino spremenijo v zmes šibke kisline in nevtralne soli. Vodikovi in laktatni ioni reagirajo že z znotrajceličnimi pufri, del pa jih prehaja v kri, kjer reagirajo predvsem z bikarbonatnim pufrom. Moč bikarbonatnega puferskega sistema je v fiziološkem uravnavanju njegove moči s pljučno ventilacijo (Ušaj in Starc, 1990): $H^+ + HCO_3^- \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H_2O + CO_2$. H^+ reagirajo z bikarbonatnim pufrom, kar se kaže v zmanjšanju njegove vsebnosti v plazmi ($< 24 \text{ mol/l}$). Reakcija se pomakne v desno. To povzroči zvišanje P_{CO_2} v krvi. Nizek pH in zvišan P_{CO_2} prek receptorjev vzdražita dihalne centre, ki povečajo pljučno ventilacijo. Rezultat tega je povečano izločanje ogljikovega dioksida, ki povzroči znižanje P_{CO_2} . Pojav se imenuje respiratorna kompenzacija presnovne acidoze (slika 3).



Slika 3 Delovanje pufrov v mišicah in krvi, vzdrževanje acidobaznega ravnotežja in izločanje ogljikovega dioksida (povzeto po Peronnet in Aguilaniu, 2005).

2.2.3 Potek energijskih in ostalih fizioloških procesov pri teku

Potek fizioloških procesov in vključenost energijskih procesov pri teku je v največji meri odvisna od trajanja – dolžine tekmovalne razdalje oziroma od intenzivnosti (hitrosti) teka. Intenzivnost tekmovalnega nastopa je vedno maksimalna, kot jo posameznik zmore na določeni razdalji.

Maratonsko razdaljo ter druge teke daljše od 60 minut tekači premagujejo pri intenzivnostih, ki ne presegajo najvišjega stacionarnega stanja vsebnosti laktata v krvi. Pri intenzivnostih teka do 80 % hitrosti pri VO_{2max} so aktivna predvsem počasna mišična vlakna, s povečevanjem intenzivnosti se povečuje njihov delež, delno pa se aktivirajo tudi hitra vlakna. V počasnih mišičnih vlaknih je povečana aktivnost aerobnih energijskih procesov, kar pomeni vse večjo porabo kisika in posledično njegovo manjšo razpoložljivost. V takih pogojih vsa piruvična kislina ne vstopa v Krebsov cikel, temveč del reagira do mlečne kisline, ki disocira na laktatne in vodikove ione. Po določenem času se pretok krvi običajno stabilizira na vrednostih, ki omogočajo zadovoljevanje potreb po kisiku. Zaradi povečane aktivnosti hitrih mišičnih vlaken ter povečane koncentracije kateholaminov je povečana tudi aktivnost glikogenolize v mišici. Nivo laktata začne naraščati nad vrednostjo v mirovanju pri intenzivnosti med 50 in 90 % VO_{2max} . Pri posameznikih s slabo telesno zmogljivostjo začne naraščati že pri 50 %, pri treniranih tekačih pa pri 90 %. Vsebnost laktata v krvi po daljših tekaških preizkušnjah je le malo nad vrednostmi v mirovanju, vzpostavi se namreč ravnotežje v tvorbi in porabi laktata. Stacionarno stanje pa ne odraža sprememb, ki se nenehno dogajajo v mišici (Ušaj in Starc, 1990).

Intenzivnost teka tik pod nivojem največje aerobne moči je značilna za tek na razdaljah od 5000 do 10000 m (92 do 97 % hitrosti pri VO_{2max}) (Martin in Coe, 1997). Taka intenzivnost že zahteva izdatno vključevanje hitrih motoričnih enot, najprej hitrih oksidacijskih in nato tudi hitrih glikolitičnih vlaken. Glavno gorivo je mišični glikogen, manj se porablja glukoza iz krvi. Poraba kisika narašča premosorazmerno z intenzivnostjo obremenitve (Astrand in Rodahl, 1985). Hkrati se izraženo povečuje ventilacija pljuč, ki uravnava spremembe v acidobaznem ravnovesju. Laktat se porablja kot energijska substanca v bližnjih oksidativnih mišičnih vlaknih in drugih tkivih.

Intenzivnost tekmovalnega nastopa na 800 metrov je približno 135 % hitrosti pri VO_{2max} , na 1500 m 112 % in na 3000 m 102 % (Martin in Coe, 1997). Po Spencer in Gastin (2001) so bile intenzivnosti za teke na 400, 800 in 1500 metrov 151, 113, 103 % VO_{2max} . V začetnem delu visoko intenzivnega napora se pojavi deficit kisika zaradi zakasnitve začetnega povečanja pretoka krvi skozi mišice. Posledica je izrazitejša aktivnost anaerobnih laktatnih energijskih procesov in začetno kopičenje laktata v mišici in krvi. Ker pa gre za napor, ki presega nivo največje porabe kisika, je presežena največja moč aerobnih energijskih procesov, zato se tudi kasneje v produkcijo energije izrazito vključujejo glikolitični procesi. Tvorba laktata in vodikovih ionov je večja od porabe, zato vsebnost laktata narašča premosorazmerno s trajanjem obremenitve, čeprav je hitrost konstantna (Astrand in Rodahl, 1986). Hkrati je značilna nesposobnost respiracijskega sistema, da bi kompenziral metabolično acidozo. Srčno-žilni in dihalni sistem ter pufrske kapacitete so polno obremenjene. Tek pri takšni intenzivnosti zahteva aktivacijo tako počasnih oksidativnih, kot hitrih glikolitičnih mišičnih vlaken. Slednja zagotavljajo potrebno energijo za vzdrževanje aktivnosti na tej intenzivnosti. Uravnavanje energijskih procesov med tako intenzivnim naporom mora potekati zelo hitro, zato so eksogena goriva, ki zahtevajo prezahtevno in prepočasno uravnavanje, neprimerna (Ušaj in Starc, 1990).

2.3 MERJENJE PORABE IN IZRAČUNI ENERGIJSKIH DELEŽEV

Pomembnost določanja energijskih deležev pri načrtovanju treningov za izboljšanje tekmovalne uspešnosti se kaže tudi skozi razvoj metod določanja energijskih deležev, od preprostejših regresijskih ocen, matematičnih modelov, terenskih in laboratorijskih merjenj različnih parametrov ter izračunov energijskih ekvivalentov.

Pogosto se na podlagi porabe kisika ocenjuje energijsko porabo ter tudi pomembnost določenega energijskega sistema, vendar pa sam parameter porabe kisika ne da podatka o resnični vlogi aerobnih in anaerobnih dejavnikov pri naporu. V ta namen so raziskovalci začeli meriti porabo posameznega energijskega procesa med samo aktivnostjo. Dobljene podatke za vsakega od energijskih virov nato pretvorimo, da so vsi viri izraženi z isto mero – z ekvivalentom kisika.

Aerobni metabolizem izmerimo enostavno z merjenjem porabe kisika med aktivnostjo. Merjenje porabe kisika je ena najbolj razširjenih metod pri proučevanju fiziologije športa. Po drugi strani pa je anaerobne energijske vire težko izmeriti, saj je anaerobna proizvodnja ATP znotrajcelični proces, ki nima direktne povezave s centralnimi procesi. Za določanje anaerobnih virov tako ne obstaja nobena splošno sprejeta metoda. Uporablja se več različnih postopkov. Načina direktnega merjenja anaerobnega metabolizma, ki natančno izmerita koncentracijo ATP in CP v mišici, sta igelna biopsija in NMR – nuklearna magnetna resonanca (Hermann idr., 2003; Gastin, 2001). Raziskave z metodo igelne biopsije med odraslimi so pokazale, da lahko direktno izmeri zmanjšanje CP in ATP v mišici, kot tudi nalaganje metabolitov (laktat, piruvat) v mišici. Tako je metoda omogočila določanje anaerobnih energijskih virov v mišici, vendar pa je uporaba igelne biopsije zaradi svoje invazivnosti pogosto manj primerna in etično vprašljiva. Poleg tega z igelno biopsijo ne moremo dostopati do vseh mišic in mišičnih vlaken. Zato pa veliko obljublja neinvazivna metoda nuklearne magnetne resonance. Njena slabost je, da zaenkrat ne omogoča meritev za gibanje celotnega telesa (Gastin, 2001).

Indirektne metode določanja anaerobne kapacitete temeljijo na merjenju kisikovega dolga, vsebnosti laktata v krvi ali določanja kisikovega deficita. Vsaka od metod ima svoje prednosti in slabosti, nobena pa ni splošno sprejeta kot metoda merjenja anaerobne porabe. Uporaba različnih metod je tudi eden glavnih razlogov za veliko raznolikost rezultatov o energijskih deležih med različnimi raziskavami.

- **Merjenje aerobne porabe – merjenje porabe kisika**

Merjenje porabe kisika je ena najbolj razširjenih metod pri proučevanju fiziologije športa. Poznavanje porabe O_2 v organizmu omogoča natančno določanje porabe aerobne energije in s tem oceno velikosti fiziološkega stresa, ki ga povzroča telesni napor.

Za merjenje maksimalne porabe kisika (VO_{2max}) obstaja tudi nekaj indirektnih metod, ki temeljijo na informaciji o intenzivnosti submaksimalnih obremenitev na tekoči preprogi in pulzu pri teh obremenitvah. Zaradi medsebojne povezanosti med porabo kisika, pulzom in intenzivnostjo submaksimalnih obremenitev, je možno oceniti VO_{2max} posameznika na podlagi srčnega utripa pri določeni submaksimalni obremenitvi.

Pri direktnih metodah merjenja porabe kisika uporabljajo zaprto in odprto metodo. Zaprta metoda temelji na merjenju količine toplote, ki jo telo producira. Ker je za meritve potreben dolgotrajen, zapleten in drag testni protokol, se metoda v fiziologiji ne uporablja pogosto. Veliko bolj primerna je metoda odprte spirometrije, kjer merjenec izdihuje zrak v Douglasovo vrečo ali v elektronsko aparaturo in se tako enostavno spremlja kinetiko porabe kisika med naporom (Lasan, 2004).

- **Merjenje anaerobne glikolitične porabe – merjenje laktata v krvi**

Razlika med največjo vsebnostjo laktata v krvi po naporu in vsebnostjo laktata v mirovanju se uporablja kot mera za obseg glikolize oziroma vključenosti anaerobnega laktatnega vira v zagotavljanje energije za napor. Največja vrednost laktata v krvi je dosežena 5–9 minut po končanem naporu (Billat, 1996), zato meritev laktata v krvi opravimo v tem intervalu. Iz vzorca krvi po naporu se določi vsebnost laktata po naporu, od katere se odšteje vrednosti laktata v krvi v mirovanju. Dobljeno razliko množimo s kisikovim ekvivalentom kapacitete glikolitičnega sistema, ki znaša 3,0 ml O₂/kg (di Prampero, 1981; Hill, 1999), saj 1 mmol La/l predstavlja 3 ml O₂/kg telesne mase.

Dvom v ustreznost metode se pojavlja, ker izmerjene vrednosti laktata v krvi ne predstavljajo čiste tvorbe laktata. Ta ni le odraz glikolize v mišičnih celicah, temveč je poleg produkcije laktata v mišici odvisna tudi od splavljenja v kri, transporta laktata po telesu in njegove porabe v mišicah, srcu in jetrih. Vendar pa predpostavljamo, da je poraba laktata zanemarljiva v primerjavi z izmerjenimi vrednosti, posebej pri visokih intenzivnostih.

Uporabnost metode laktata v krvi kot mere anaerobne kapacitete potrjujejo močna povezanost med največjim laktatom v krvi in uspešnostjo v naporih kratkega trajanja, ki so tudi sicer odvisni od anaerobne kapacitete. Poleg tega so najvišje vrednosti laktata izmerjene pri sprinterjih, ti pa imajo tudi sicer najvišje vrednosti anaerobne kapacitete, v primerjavi z vzdržljivostno treniranimi ali netreniranimi (Green in Dawson, 1993).

Ker nam meritve laktata dajo le podatek o anaerobnem laktatnem energijskem viru, je potrebno določiti še anaerobni alaktatni vir. Preprost način izračuna je produkt kisikovega ekvivalenta zalog kreatinfosfata, ki znaša 36,8 mlO₂/kg (di Prampero, 1981) ter kvocienta mišične mase in telesne mase.

- **Merjenje anaerobne porabe – merjenje kisikovega dolga**

Kisikov dolg je količina kisika porabljena v času po telesnem naporu nad vrednostmi v mirovanju. Deli se na alaktatno komponento (energija za obnavljanje zalog ATP in CP), ki predstavlja eno tretjino dolga in laktatno komponento (energija za odstranjevanje mlečne kisline iz mišic in krvi – oksidacija, pretvarjanja v glukozo in aminokisline v jetrih), ki predstavlja ostali del kisikovega dolga (Lasan, 2004). Kisikov dolg nastaja med naporom, ko organizem energijske potrebe ne more zadovoljiti z aerobnimi energijskimi procesi. To se zgodi zaradi počasnega prehajanja aerobnih procesov ob začetku napora in (ali) kasneje, če napor presega največjo moč aerobnih energijskih procesov (VO_{2max}). Ta delež se krije iz anaerobnih energijskih procesov in ga imenujemo kisikov deficit (Ušaj, 2003).

Za izračun kisikovega dolga je potrebno izmeriti porabo kisika v mirovanju, porabo kisika po obremenitvi ter čas, ki je potreben, da se poraba vrne na vrednosti v mirovanju.

Kisikov dolg je na ta način povezan z anaerobnim metabolizmom, vendar veliko avtorjev opozarja, da na povečano porabo kisika po naporu vpliva še vrsta drugih dejavnikov: poleg resinteze kreatin fosfata in odstranjevanja laktata se kisik porablja tudi za obnovitev zalog kisika na mioglobinu, za povečano delovanje srca in ventilacije ter za vračanje ostalih sistemov (termoregulacijski mehanizmi, hormonski sistem ...) v stacionarno stanje (Gastin, 2001), zato metoda ne da informacije o resnični vključenosti anaerobnih energijskih virov.

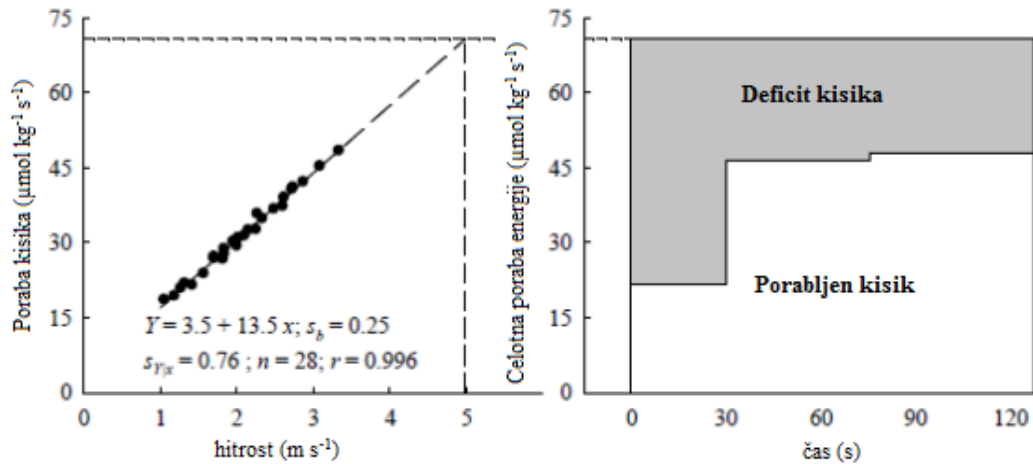
- **Merjenje anaerobne porabe – določanje kisikovega deficita**

Meritve kisikovega deficita omogočajo neinvazivno določanje celotnega anaerobnega energijskega vira (alaktatni in laktatni vir).

Metodo določanja anaerobnih energijskih sistemov na podlagi kisikovega deficita sta prvič predstavila Krogh in Lindhard leta 1920. V zadnjem času je postala najpogosteje uporabljena neinvazivna metoda za določanje anaerobnega energijskega deleža (Medbø idr., 1988; Scott idr., 1991).

Kisikov deficit je razlika med celotno energijsko porabo ali ocenjeno količino kisika, ki bi bila porabljena, če bi bilo možno vso porabljeno energijo tvoriti z oksidacijsko energijo, in

količino dejansko porabljenega kisika med naporom. Kisikov deficit sestavljajo tri komponente: zaloge kisika v mišici, porabe CP in ATP ter energije iz glikolitičnega procesa. Medbo idr. (1988) so opisali testni protokol, ki omogoča uporabo kisikovega deficita kot mere anaerobne kapacitete (slika 4).



Slika 4 Grafični prikaz določanja kisikovega deficita med supramaksimalnim naporom. Levo: merjenec je izvedel več 10-minutnih naporov konstantne intenzivnosti (hitrosti) v več zaporednih dnevih. Poraba kisika je bila določena na podlagi merjenja zadnjih dveh minut napora. Iz izmerjenih podatkov je bil z linearno regresijo določen model porabe kisika v odvisnosti od intenzivnosti napora ($Y=3,5+13,5x$). Merjenec je nato bil podvržen naporu pri intenzivnosti 4,98 m/s in trajanju 127,8 s. Izračunana poraba energije je tako znašala 70,7 $\mu\text{mol/kg/s}$ (95,0 ml/kg/min). Desno: shematični prikaz porabe kisika in kisikovega deficita za omenjen napor. Kisikov deficit je znašal 3,76 mmol kg⁻¹ (sivi del) (Medbø, 2010).

Kisikov deficit izračunamo kot razliko med izračunano količino energije potrebno za določen napor in dejansko porabo kisika pri tem naporu. Celotno porabo pri naporu dobimo iz posameznikovega razmerja intenzivnost – poraba kisika (VO_2). V ta namen se izmeri $\text{VO}_{2\text{max}}$ in porabo kisika pri seriji submaksimalnih naporov. Z izmerjenimi vrednostmi določimo regresijsko premico, na podlagi katere lahko določamo energijske zahteve napora za katerokoli intenzivnost ($>\text{VO}_{2\text{max}}$). Kisikov deficit pri supramaksimalnem naporu tako enostavno izračunamo, če od predvidene celotne porabe energije za določeno intenzivnost napora odštejemo dejansko količino porabljenega kisika (Medbø, 1988).

Uporabnost metode za določanje anaerobnega energijskega vira podpira močna povezanost meritev anaerobne kapacitete na podlagi hkratnih meritev anaerobnih metabolitov v mišici in krvi ter na podlagi merjenj kisikovega deficita. Meritve pokažejo pričakovano višje vrednosti deficita pri sprinterji kot pri vzdržljivostno treniranih ali netreniranih merjencih ter višji

kisikov deficit po visoko intenzivnem treningu, ki povečuje anaerobno kapaciteto (Green in Dawson, 1993).

Čeprav je metoda opisana kot najprimernejša za določanje anaerobne kapacitete, pa se tudi v njeno uporabnost pojavlja nekaj dvomov. Bangsboo (1993) je s svojo raziskavo dokazal, da se poraba kisika ne povečuje vedno linearno glede na povečevanje intenzivnosti, kot to predvideva model določanja kisikovega deficita. Vprašljiva je tudi ekstrapolacija odnosa submaksimalna intenzivnost – poraba kisika k supramaksimalnim intenzivnostim zaradi spremenjene ekonomičnosti pri višjih intenzivnostih. Poleg tega za določanje deficita kisika ne obstaja enoten univerzalni postopek, ki bi omogočal zanesljivo primerjavo med raziskavami (Green in Dawson, 1993)

- **Izračuni energijskih deležev**

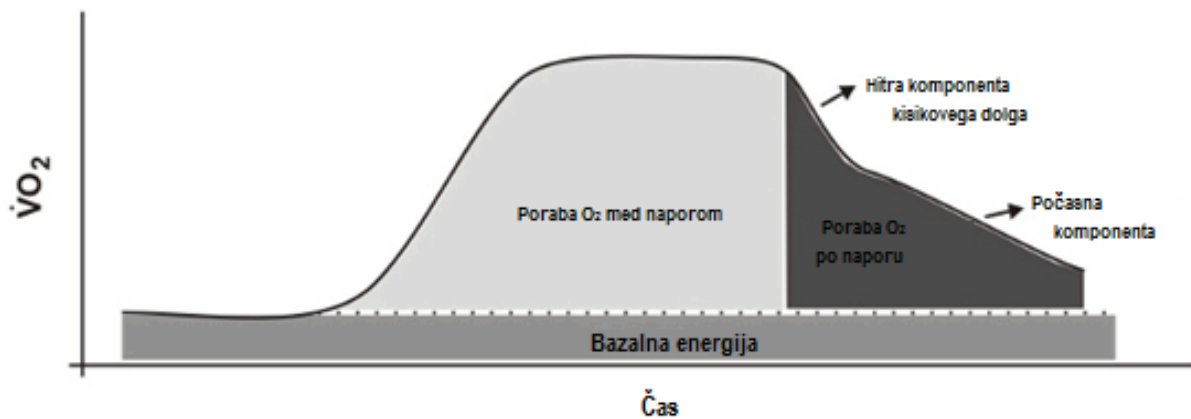
Večina avtorjev določa energijske deleže z meritvami porabe kisika (aerobni delež) in določanjem kisikovega deficita (anaerobni delež).

Artioli idr. (2012) opisujejo metodo, ki razločuje vse tri energijske sisteme in ne le aerobni in anaerobni delež. Metoda je primerna za določanje energijskih virov pri različnih športnih aktivnostih in na različnih športnih terenih. Protokol meritev v mirovanju pred naporom obsega merjenje telesne mase in odvzem vzorca krvi za določanje vsebnosti laktata v krvi v mirovanju. Sledi še merjenje porabe kisika v mirovanju. Meritev se izvaja 5 minut v položaju, ki je odvisen od položaja kasnejše aktivnosti. Med samo aktivnostjo se s spirometrom vseskozi spremlja poraba kisika. Po koncu napora nadaljujemo z merjenjem porabe kisika še deset minut. Poleg tega merjencu odvzamemo vzorec krvi takoj po zaključenem naporu, ter nato še po treh, petih in sedmih minutah.

Na podlagi meritev dobimo naslednje spremenljivke, ki jih potrebujemo za izračun energijskih deležev: poraba kisika v mirovanju, poraba kisika med naporom, poraba kisika po naporu, vsebnost laktata v krvi v mirovanju, najvišja vsebnost laktata v krvi po naporu.

Delež aerobnega metabolizma določimo tako, da od porabe kisika med naporom odštejemo porabo kisika v mirovanju za časovni interval trajanja napora. Delež anaerobnega alaktatnega vira ustreza alaktatnemu delu kisikovega dolga. V ta namen je potrebno na diagramu porabe

kisika po naporu prirediti eksponentni krivulji za prvi strmejši del kisikovega dolga in drugi položnejši del. Presečišče obeh krivulj določa ločnico med alaktatni in laktatnim kisikovim dolgom. Po integriranju prvega dela kisikovega dolga dobimo delež anaerobnega alaktatnega vira v mlO_2/kg (slika 5). Laktatni energijski vir dobimo, če razliko vsebnosti laktata po in pred naporom množimo s 3 (kisikov ekvivalent kapacitete glikolitičnega sistema je $3,0 \text{ mlO}_2/\text{kg}$).



Slika 5 Osnova za določanje porabe iz energijskih virov je grafični prikaz porabe kisika v odvisnosti od časa (pred, med in po naporu) (Artioli, 2012).

Podobno je tudi Hill (1999) določil aerobni ter anaerobni laktatni vir, za anaerobni alaktatni vir pa je uporabil kisikov ekvivalent zalog kreatin fosfata, ki znaša $37 \text{ ml O}_2/\text{kg}$ mišične mase (di Prampero, 1981). Aerobni delež je razdelil na aerobni transportni vir ter aerobne zaloge v mišici. Energijsko porabo med tekom ($\text{VO}_{2\text{TOT}}$) je definiral kot vsoto deležev aerobnega sistema (poraba kisika iz transportnega sistema med tekom ($\Delta\text{VO}_{2\text{EXE}}$) in kisikove zaloge v mišici ($\text{VO}_{2\text{STOR}}$)), glikolize ($\Delta\text{VO}_{2\text{LA}}$) in kreatinfosfatnih zalog ($\text{VO}_{2\text{AL}}$):

$$\text{VO}_{2\text{TOT}} = \Delta\text{VO}_{2\text{EXE}} + \text{VO}_{2\text{STOR}} + \Delta\text{VO}_{2\text{LA}} + \text{VO}_{2\text{AL}}$$

2.4 ENERGIJSKI DELEŽI MED TEKOM

Obstajajo številne raziskave o energijskih deležih med tekom. Pridobljeni rezultati so zelo pomembni za razumevanje energijskih zahtev posamezne tekaške discipline, pri načrtovanju vadbenih programov, za optimizacijo metabolizma glede na energijske zahteve in s tem doseganje vrhunškega rezultata.

Preglednica 3 vsebuje pregled raziskav o energijskih deležih med tekom v razdaljah od 100 do 5000 m. Najbolj opazna je strukturna tendenca povečevanja aerobnega deleža s podaljševanjem tekaške preizkušnje. Vendar pa so precejšnje razlike v energijskih deležih tudi znotraj iste razdalje. Pri primerjavi rezultatov različnih raziskav je zato potrebna previdnost, saj se meritve izvajajo v različnih pogojih (na terenu, v laboratoriju), na zelo različno treniranih merjencih (vzdržljivostno trenirani, sprinterji, rekreativci, vrhunski tekmovalci ...), pri različnih obremenitvah (vnaprej določena konstantna hitrost, spreminjanje ritma teka) ter z različnimi metodami merjenja (laktat, kisikov deficit, ocenjevanje deležev z matematičnimi modeli ...).

Večina avtorjev (Weyand idr., 1993; Nummela in Rusko, 1995; Craig in Morgan, 1998; Spencer in Gatin, 2001) se je za izračun anaerobnega deleža posluževala metode kisikovega deficita, ki so jo zastavili Medbo, Mohn, Tabata, Bahr in Vaage (1988). Le Lacour idr. (1990) in Hill (1999) so anaerobni delež dobili na podlagi direktnega merjenja laktata po modelu di Prampero (1981). Pri tem pa Lacour idr. niso merili porabe kisika, ampak so za določanje aerobnega vira ter anaerobnega alaktatnega vira uporabili predpostavke drugih raziskav. Peronnet in Thibault (1989), di Prampero (1993), Ward Smith (1985) in van Ingen Schenau idr. (1991) so deleže določili na podlagi različnih matematičnih modelov.

Večina raziskav (Weyand idr., 1993; Hill, 1999; Nummela in Rusko, 1995) meri energijske deleže med simulirano tekaško preizkušnjo na trenažerju (v laboratorijskih pogojih), kjer je hitrost konstantna (simulacija trajanja tekaške preizkušnje), redke merijo porabo kisika in druge metabolične parametre med terenskimi testi. Duffield in Dawson (2003), Reis idr., (2004), Zouhal idr. (2010) merijo metabolizem med realnim tekaškim nastopom, kjer hitrost ni konstantna in določena vnaprej. Reis idr. (2004) so pokazali, da je kisikov deficit večji pri realnem tekaškem nastopu kot pa pri simulaciji nastopa pri konstantni hitrosti v laboratorijskih pogojih.

Preglednica 3 Pregled raziskav o energijskih deležih med tekom prikazuje deleže aerobne in anaerobne energije za različne tekaške preizkušnje, različne merjence in z različnimi metodami določanja energijskih sistemov. (m – moški, ž – ženske, DP – dolgoprogaši, SP – srednjeprogaši, Š – sprinterji, mat. model – določanje energijskih virov z matematičnimi modeli)

| Dis. | Vir | Sp | merjenci | t | Metoda | Ae | An |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------|----------|-----------------|--------------------------------|---------|---------|
| 100 m | Duffield in Dawson (2003) | m | 9 | 11,5 | Kisikov deficit (laktat/PC) | 21 (9) | 79 (91) |
| | | ž | 6 | 13,3 | | 25 (11) | 75 (89) |
| | Peronnet in Thibault (1989) | m | Š | 9,8 | Mat. model | 8 | 92 |
| | Ward Smith (1985) | m | Š | 10,0 | Mat. model | 7 | 93 |
| | van Ingen Schenau idr. (1991) | m | Š | 9,8 | Mat. model | 4 | 96 |
| 200 m | Spencer in Gastin (2001) | m | 3 Š | 22,3 | Kisikov deficit | 29 | 71 |
| | Duffield in Dawson (2003) | m | 8 | 23,8 | Kisikov deficit (laktat/CP) | 28(21) | 72(79) |
| | | ž | 5 | 26,8 | | 33(22) | 67(78) |
| | Ward Smith (1985) | m | Š | 20,4 | Mat. model | 14 | 86 |
| | Peronnet in Thibault (1989) | m | SP | 19,8 | Mat. model | 14 | 86 |
| van Ingen Schenau idr. (1991) | m | Š | 20,0 | Mat. model | 8 | 92 | |
| 400 m | Spencer in Gastin (2001) | m | 6 SP | 49,3 | Kisikov deficit | 43 | 57 |
| | Duffield in Dawson (2003) | m | 11 | 52,2 | Kisikov deficit (laktat/CP) | 41(35) | 59(64) |
| | | ž | 5 | 60,2 | | 45(37) | 56(63) |
| | Weyand idr. (1993) | m | 9 Š | 50,5 | Kisikov deficit | 64 | 36 |
| | | | ž | 7 Š | | 57,9 | 66 |
| | | m | 13 DP | 58,5 | | 67 | 33 |
| | | | 12 DP | 70,6 | | 70 | 30 |
| | Hill (1999) | m | 6 SP | 49,3 | Laktat | 37 | 63 |
| | | ž | 7 SP | 61,2 | | 38 | 62 |
| | Nummela in Rusko (1995) | m | 8 Š | 50 | Kisikov deficit | 37 | 63 |
| | | | 8 DP | 49 | | 46 | 54 |
| | Peronnet in Thibault (1989) | m | SP | 44,1 | Mat. model | 30 | 70 |
| Lacour idr. (1990) | m | 11 SP | 45,4 | Laktat | 28 | 72 | |
| Ward Smith (1985) | m | SP | 44,9 | Mat. model | 28 | 72 | |
| van Ingen Schenau idr. (1991) | m | | 44,4 | Mat. model | 17 | 83 | |
| Reis idr. (2004) | m | 10 | 53,9 | Kisikov deficit | 24 | 76 | |
| Zouhal idr. (2010) | m | 6 | 55,0 | Kisikov deficit | 37 | 63 | |
| 400 m ovire | Zouhal idr. (2010) | m | 6 | 61,71 | Kisikov deficit | 43 | 57 |
| 800 m | Weyand (1993) | m | 13 DP | 126,9 | Kisikov deficit | 76 | 24 |
| | | ž | 12 DP | 156,3 | | 81 | 19 |
| | | m | 9 Š | 121,6 | | 71 | 29 |
| | | ž | 7 Š | 151,9 | | 76 | 24 |
| | Spencer in Gastin (2001) | m | 5 SP | 113 | Kisikov deficit | 66 | 34 |
| | di Prampero (1993) | m | SP | 102 | Mat.model | 62 | 38 |
| | Craig in Morgan (1998) | m | | 115 | Kisikov deficit | 61 | 39 |
| Lacour idr. (1990) | m | 11 SP | 104 | Laktat | 59 | 41 | |

| | | | | | | | |
|---------------|------------------------------------|------|-------|--------|--------------------------------|---------|---------|
| | Hill (1999) | m | 5 SP | 120 | Laktat | 58 | 42 |
| | | ž | 9 SP | 145 | | 62 | 38 |
| | Duffield in Dawson (2003) | m | 9 | 126 | Kisikov deficit | 60 (63) | 40 (37) |
| | | ž | 2 | 152 | (laktat/CP) | 70 (69) | 30 (31) |
| | Peronnet in Thibault (1989) | m | SP | 102 | Mat. model | 57 | 43 |
| | Ward Smith (1985) | m | SP | 105 | Mat. model | 52 | 48 |
| 1500 m | Weyand idr. (1993) | m | 9 Š | 271,4 | Kisikov deficit | 84 | 16 |
| | | ž | 7 Š | 340,0 | | 87 | 13 |
| | | m | 13 DP | 257,9 | | 87 | 13 |
| | | ž | 12 DP | 319,3 | | 90 | 10 |
| | Spencer in Gastin (2001) | m | 6 SP | 235 | Kisikov deficit | 84 | 16 |
| | Hill (1999) | m | | 245 | Laktat | 80 | 20 |
| | | ž | 8 SP | 308 | | 83 | 17 |
| | di Prampero idr. (1993) | m | 16 SP | 209 | Mat. model | 78 | 22 |
| | Peronnet in Thibault (1989) | m | SP | 209 | Mat. model | 76 | 24 |
| | Ward Smith (1985) | m | SP | 218 | Mat.model | 72 | 28 |
| | Bangsbo idr. (1993) | m | 14 DP | 180 | Kisikov deficit | 78 | 22 |
| | Duffield in Dawson (2003) | m | 10 | 263 | Kisikov deficit (laktat/CP) | 77 | 23 |
| ž | | 4 | 317 | 86 | | 15 | |
| 3000 m | Di Prampero (1993) | m | DP | 452 | Mat. model | 89 | 11 |
| | Peronnet in Thibault (1989) | m | DP | 452 | Mat. model | 88 | 12 |
| | Duffield in Dawson (2003) | m | 8 SP | 577 | Kisikov deficit | 86 | 14 |
| ž | | 2 SP | 695 | 94 | | 6 | |
| 5000 m | Weyand idr. (1993) | m | 13 DP | 932,2 | Kisikov deficit | 96 | 4 |
| | | ž | 12 DP | 1137,9 | | 97 | 3 |

Legenda: Dis. – disciplina, Sp. – spol, t – čas teka, Metoda – metoda določanja energijskih virov, Ae – aerobni delež, An – anaerobni delež

Hill (1999) se je za določanje energijskih virov med tekom na 400, 800 in 1500 metrov poslužil merjenj na tekoči preprogi pri stalni hitrosti. Predpostavljal je, da je poraba kisika (aerobni delež) med simulacijo tekaškega nastopa na tekoči preprogi enaka porabi med realnim tekom na atletski stezi. Poleg laboratorijskega merjenja porabe kisika je po nastopu meril tudi vsebnost laktata v krvi. Za vsako razdaljo je bila izračunana energijska poraba v ekvivalentu kisika. Aerobni delež predstavlja vsota kisikovih zalog (2,3 ml O₂/kg telesne mase) in skupne porabe kisika (merjenje na tekoči preprogi). Anaerobni delež je vsota energije, ki je na voljo iz kreatin fosfatnih zalog (37 ml O₂/kg mišične mase) in energije iz glikolize (3,0 ml O₂/kg telesne mase za vsak mmol/l povečanja laktata v krvi). Anaerobni delež je pri ženskah na razdaljah 400 m, 800 m and 1500 m znašal 62 %, 33 % in 17 %. Za moške so bile vrednosti le nekoliko višje 63 %, 39 % in 20 %.

Spencer and Gatin (2001), ki sta raziskovala energijske deleže v teku na 200, 400, 800 in 1500 m, sta meritve izvajala na tekoči preprogi. Hitrosti simuliranega nastopa so bile določene na podlagi najboljšega nastopa v preteklih tednih. Anaerobni energijski delež je bil določen na podlagi kisikovega deficita. Aerobni delež pri treniranih atletih na 200 m je znašal 29 %, na 400 m 43 %, na 800 m 66 % in na 1500 m 84 %. Po pričakovanjih je torej aerobni delež najmanjši (29 %) na najkrajši razdalji (200 m) in največji (84 %) na najdaljši razdalji (1500 m). Spencer in Gatin (2001) sta tako dokazala, da je delež aerobnih virov v teku na kratke in srednje razdalje veliko večji, kot so mislili včasih. Aerobni sistem namreč prispeva skoraj tretjino celotne energije že na razdalji 200 m. V 49 sekund trajajočem teku na 400 metrov pa je delež že skoraj 50 %. Deleža aerobne in anaerobne energije se izenačita med 50. in 75. sekundo. S povečevanjem razdalje se je povečeval tudi kisikov deficit, vendar le do razdalje 800 m (48,8 ml/kg), nadaljnje povečevanje razdalje ni povečalo kisikovega deficita (47,1 ml/kg).

Raziskave so pokazale razmeroma visok aerobni delež v teku na kratke razdalje. Kljub veliki intenzivnosti in maksimalni vključenosti anaerobnega glikolitičnega in kreatinfosfatnega sistema, se energija za tovrstne visoko intenzivne napore ustvarja tudi v aerobnem sistemu. Za tek na srednje razdalje (trajanje napora 45 sekund do 5 minut – odvisno od sposobnosti) je najbolj izrazita vključenost vseh treh presnovnih procesov.

2.4.1 Variabilnost energijskih deležev

Pregled energijskih deležev pri različnih tekaških obremenitvah nam pokaže pričakovano večanje aerobnega in zmanjševanje anaerobnega deleža z večanje razdalje tekaške preizkušnje. Anaerobni delež pri teku na 100 m tako znaša več kot 90 %, na razdalji 5000 m pa le še 3 %. Večji aerobni delež pri daljših razdaljah in večji anaerobni delež pri krajših razdaljah je pričakovana posledica, ki izhaja iz temeljnih fizioloških dejstev. Struktura vključenosti energijskih mehanizmov v končnem rezultatu je tako najbolj odvisna od trajanja preizkušnje in s tem povezano intenzivnostjo. Velika intenzivnost, ki jo dopuščajo kratke razdalje, zahteva veliko energije, ki jih lahko zagotovijo le anaerobni viri.

Variabilnost energijskih deležev pa se je pokazala tudi znotraj iste tekaške preizkušnje. Raziskave energijske oskrbe v teku na 400 m so dale zelo različne deleže (Spencer in Gatin, 2001; Duffield in Dawson, 2003; Weyand idr., 1993; Hill, 1999; Nummela in Rusko, 1995;

Peronnet in Thibault, 1989; Lacour idr., 1990; Ward Smith, 1985; van Ingen Schenau idr., 1991; Reis idr., 2004; Zouhal idr., 2010). Najnižji delež aerobne energije je v raziskavi van Ingen Schenau idr. (1991) po matematičnem modelu znašal 17 %, najvišji delež je izmeril Weyand (1993) po metodi kisikovega deficita. Ta je znašal 64 % za moške merjence in 66 % za ženske. Sicer pa je najpogosteje izmerjen aerobni delež znašal okoli 40 % (Spencer in Gatin, 2001; Duffield in Dawson, 2003; Hill, 1999; Nummela in Rusko, 1995; Zouhal idr., 2010).

Razlike v energijskih deležih na razdalji 800 m so nekoliko manjše. Aerobni viri zagotavljajo od 55 do 62 % potrebne energije za tek na 800 m (di Prampero, 1993; Craig in Morgan, 1998; Lacour idr., 1990; Hill, 1999; Duffield in Dawson, 2003; Peronnet in Thibault, 1989). Kljub temu je Weyand (1993) izmeril kar 76 % aerobni delež za moške in 81 % delež za ženske. Na razdalji 1500 m je aerobni delež pričakovano izrazito višji. Ta znaša od 77 do 87 % (Duffield in Dawson, 2003; Weyand idr., 1993; Spencer in Gatin, 2001; Hill, 1999) po matematičnih modelih pa 72 do 78 % (di Prampero idr., 1993; Peronnet in Thibault, 1989; Ward Smith, 1985). Aerobni delež je na razdalji 3000 m od 86 do 94 % (di Prampero, 1993; Peronnet in Thibault, 1989; Duffield in Dawson, 2003), na 5000 m pa znaša 96 % (Weyand, 1993).

Očitno je, da trajanje aktivnosti ni edini pomemben faktor energijskih deležev. Variabilnost je prisotna na vseh razdaljah, največja pa je v teku na srednje proge, kjer je velika vključenost vseh treh energijskih sistemov.

2.4.2 Energijski deleži glede na spol

Raziskave, ki so primerjale deleže energijskih sistemov med moškimi in ženskami (Duffield in Dawson, 2003; Weyand, 1993; Hill, 1999) poročajo o višjem aerobnem deležu pri ženskah na vseh razdaljah. V teku na 100 m je tako aerobni delež pri moških 20 %, pri ženskah 25 %, na 200 m 28 % oz. 33 % (Duffield in Dawson, 2003). Na razdalji 400 m so razlike manjše; Hill (1999) je zabeležil 37 % aerobni delež za moške in 38 % za ženske, aerobni deleži po Weyand (1999) pa so znašali 66 % za moške in 64 % za ženske. Aerobni delež po Duffield in Dawson (2003) pri moških znaša 41 %, pri ženskah pa 45 %. Veliko razliko v deležih med spoloma sta zabeležila Duffield in Dawson (2003) na razdalji 800 m (aerobni delež moški 60 %, ženske 70 %), na razdalji 1500 m, kjer je aerobni delež pri ženskah znašal kar 86 %, pri

moških 77 % ter na razdalji 3000 m, kjer je bil aerobni delež pri ženskah že 94 %, pri moških 86 %. Pomemben vpliv na višji aerobni delež pri ženskah ima verjetno daljši čas teka in s tem nižja dosežena hitrost pri ženskah. Ženske so po Duffield idr. (2003) za tek na 400 m porabile 15 % več časa, na 800 m razdalji pa so bile počasnejše kar za 25 sekund (20 %).

2.4.3 Energijski deleži glede na različne metode merjenja

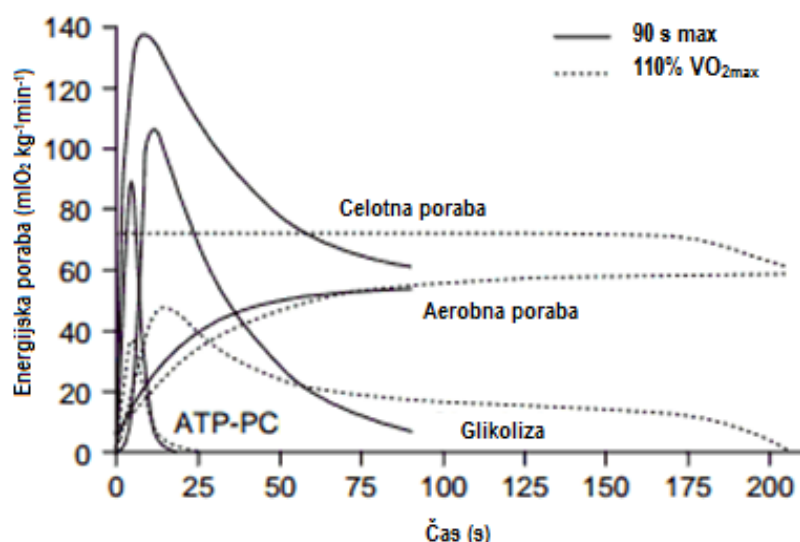
Duffield in Dawson (2005) sta primerjala energijske deleže na razdaljah od 100 do 1500 m glede na različni metodi določanja anaerobnega vira. Na razdalji 200 m je anaerobni delež pri moških znašal 72 % za metodo kisikovega deficita in 79 % za metodo laktat/Cp, pri ženskah je bila razlika še večja; anaerobni delež po metodi kisikovega deficita je znašal 67 %, po metodi laktat/CP pa kar 78 %. Na razdalji 100 m je anaerobni delež pri moških po metodi kisikovega deficita znašal 79 % in 91 % po metodi laktat/CP. Na daljših razdaljah so bile razlike med deleži za različni metodi manjše in statistično nepomembne. Po Duffield idr. (2003) je anaerobni delež v teku na 400 m z metodo kisikovega deficita 59 %, po metodi Laktat/Cp pa 65 %. Zanimivo je na razdalji 800 m anaerobni delež z metodo kisikovega deficita višji (39,7 %) kot z metodo Laktat/Cp (36,6 %). Zapisane deleže potrjuje literatura, ki navaja, da določanje energijskih deležev na podlagi kisikovega deficita pri kratkih visokointenzivnih naporih podceni anaerobni delež. Odnos intenzivnost – poraba (ekonomičnost) pri zelo visokih intenzivnostih namreč ni več linearen, kot predvideva metoda določanja kisikovega deficita. Ekonomičnost je pri najvišjih intenzivnostih slabša, zato odstopa od linearne zveze določene na podlagi submaksimalnih intenzivnosti. To pomeni manjšo porabo, kot je v resnici in s tem manjši kisikov deficit (Bangsbo, 1998). Prav tako pa je vprašljiva metoda določanja obsega glikolize z metodo laktata.

2.4.4 Energijski deleži glede na različen protokol meritev: stalna ali spreminjajoča hitrost

Naštete raziskave se razlikujejo tudi po protokolu meritev porabe kisika. V večini starejših raziskav, ki meri porabo kisika v laboratorijskih pogojih, je hitrost teka na tekaški preprogi konstantna in določena vnaprej. Le nekaj novejših študij spremlja realni tekmovalni nastop športnika na terenu, kjer tekač lahko spreminja hitrost glede na taktiko nastopa, počutje,

razmere itd. V tem primeru se je pokazalo, da je prvih 100 m značilno najhitrejši del teka na 1500 m (Hanon idr., 2007), v teku na 800 m pa se maksimalna hitrost doseže 75 do 100 m od starta (Thomas idr., 2004). Velika hitrost na začetku teka je lahko vzrok za visok anaerobni delež. Reis idr. (2004) so izmerili 76 % anaerobni delež med tekmovalnim nastopom na 400 m na atletski stezi, medtem ko so anaerobni deleži v teku pri konstantni hitrosti le 36 % do 54 % (Weyand, 1993; Spencer idr., 1996). Reis (2004) trdi, da je anaerobni delež v njegovi raziskavi višji, ker so meritve opravili med tekmovalnim nastopom na atletski stezi. Intenzivnost takega teka je v začetnih 20 – 30 sekundah višja, kot je intenzivnost pri meritvah konstantne hitrosti. To pomeni večjo vključenost hitrih mišičnih vlaken in večjo dejavnost anaerobnih energijskih procesov (višji anaerobni delež). Reis (2004) navaja, da so merjenci v 30 sekundah dosegli le 52 % največje porabe kisika, po Spencer (1996) pa kar 94 % VO_{2max} .

Da na deleže energijskih sistemov vpliva izbira taktike nastopa, predvsem intenzivnosti v začetku nastopa je dokazal Gatin (2001), ki je opravil primerjavo kinetike energijske porabe med naporom stalne intenzivnosti 110 % VO_{2max} do utrujenosti in 90 sekund trajajočim maksimalnim kolesarjenjem (slika 6). Največja poraba iz CP in glikolitičnega vira je bila v primeru 90-sekundnega maksimalnega napora več kot dvakrat večja od napora stalne intenzivnosti. Vendar se pokaže, da je poleg večje porabe iz alaktatnega vira značilen tudi hitrejši odziv aerobnega energijskega sistema in ne počasnejši, kot je predvideval Reis idr. (2004). Deleži aerobne in anaerobne produkcije v prvih 30 sekundah so bili tako povezani z izbiro protokola in s tem z intenzivnostjo na začetku teka. Po koncu obeh testov pa je bil kisikov deficit celo višji v primeru teka konstantne intenzivnosti, delež anaerobnega vira pa je zaradi večje skupne porabe pri testu stalne intenzivnosti manjši. Pojav utrujenosti pri testu stalne intenzivnosti sovпада z upadom anaerobne glikolize zaradi acidoze (Gatin, 2001).



Slika 6 Relativna vključenost treh energijskih sistemov pri zagotavljanju energije pri 90-sekundnem maksimalnem kolesarjenju in pri kolesarjenju stalne intenzivnosti 110 % $\text{VO}_{2\text{max}}$ do izčrpanja (kisikov deficit za maksimalno kolesarjenje 65,8 ml/kg; za kolesarjenje pri stalni intenzivnosti 69,2ml/kg) (Gastin idr. 1995).

Raziskave so pokazale, da lahko s hitrim startom teka povečamo hitrost kinetike porabe kisika na začetku navora ter tudi celotno porabo iz aerobnega vira (Gastin idr. 1995, Hanon idr., 2007, Thomas idr., 2005). Večja intenzivnost na začetku teka je povezana s hitrejšim izčrpanjem CP zalog in posledično hitrejšo stimulacijo obnove ATP po oksidacijski poti.

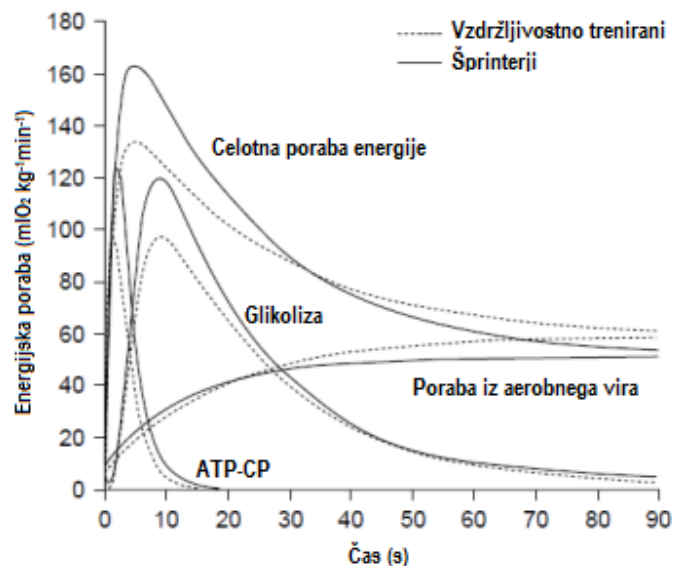
2.4.5 Energijski deleži glede na metabolično specializacijo merjencev: sprinterji, srednjeprogaši, dolgoprogaši

Poleg trajanja in intenzivnosti navora je treniranost posameznika pomemben faktor energijskih deležev. Dolgoprogaši so zaradi prevladujočih dolgotrajnih treningov bolje prilagojeni na napore daljšega trajanja, imajo bolj razvito aerobno funkcijo (višji $\text{VO}_{2\text{max}}$, višji laktatni prag, višji delež počasnih mišičnih vlaken ...), medtem ko sprinterji več časa posvečajo treningu moči, hitrosti in anaerobnih energijskih virov. Specializacija v visoko intenziven kratkotrajen napor pomeni boljše razvite anaerobne sposobnosti (večji delež hitrih mišičnih vlaken), hkrati pa slabše aerobne sposobnosti (nižji $\text{VO}_{2\text{max}}$, nižji laktatni prag). Zaradi dobre aerobne funkcije so dolgoprogaši sposobni ohranjati intenzivnost aktivnosti na 75 % do 90 % $\text{VO}_{2\text{max}}$ več kot dve uri (Brandon, 1995), hkrati pa tudi krajše, visoko intenzivne napore rešujejo bolj aerobno kot sprinterji. Slednji tudi pri nižjih intenzivnostih

presežejo laktatni prag, vendar z dobro anaerobno močjo in kapaciteto lahko rešujejo tudi nekoliko daljše napore.

Nummela in Rusko (1995) sta pri sprinterjih izmerila višji kisikov deficit, višji maksimalni laktat in višji kisikov dolg (EPOC) ter manjšo porabo kisika kot pri vzdržljivostno trenirani skupini, čeprav je bil čas teka enak za obe skupini (50 sekund). Delež aerobne energije v drugem delu teka je bil značilno višji pri vzdržljivostno treniranih merjencih (54–63 %) v primerjavi s sprinterji (43–47 %). Energijski deleži v prvem delu teka so bili podobni pri obeh skupinah, v drugem delu pa so sprinterji večji del energije zagotavljali iz anaerobnih, vzdržljivostno trenirani pa iz aerobnih virov.

Granier idr. (1995) so primerjali energijske deleže pri Wingate testu za srednjeprogaše in sprinterje. Za sprinterje je bila značilna višja vsebnost laktata v krvi po testu ter višji delež anaerobne energije v primerjavi s srednjeprogaši (Š 72 %, SP 55 %). Pri srednjeprogaših so zabeležili večjo porabo kisika (VO_2) in zato višji aerobni delež (45 %) kot pri sprinterjih (28%).



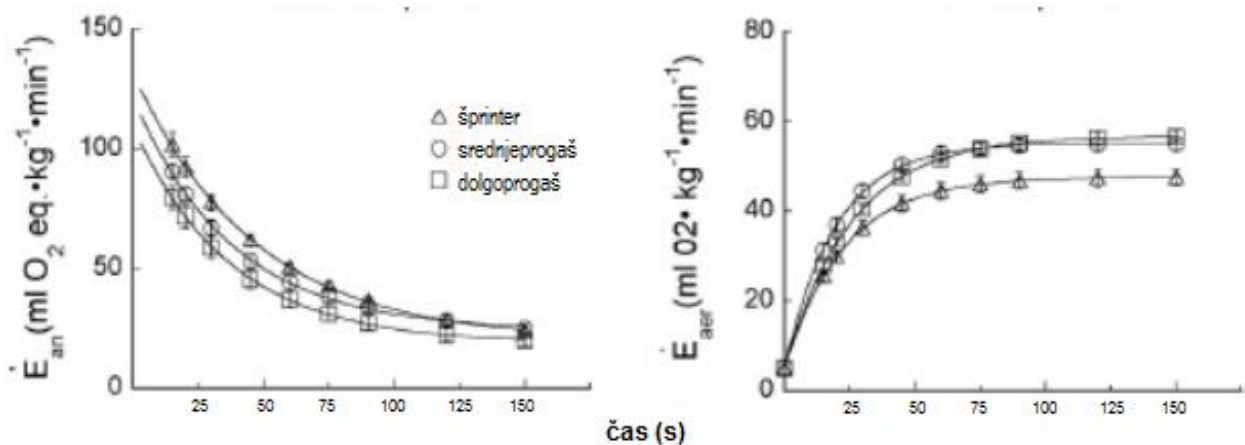
Slika 7 Kinetika energijske porabe iz treh energijskih sistemov pri 90-sekundnem maksimalnem kolesarjenju. Grafikon prikazuje razlike med kolesarji sprinterji ($VO_{2max} = 58 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) in vzdržljivostno treniranimi triatlonci ($VO_{2max} = 65 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) (Gastin in Lawson, 1994).

Podobno se je izkazalo tudi med kolesarji. Gastin in Lawson (1994) sta primerjala deleže treh glavnih energijskih sistemov med 90-sekundnim maksimalnim kolesarjenjem za vzdržljivostnega kolesarja in kolesarja sprinterja (slika 7). Sprinter je imel značilno večjo

največjo moč, porabo energije ter porabo iz anaerobnega laktatnega in kreatinfoskatnega vira. Poraba kisika iz aerobnega vira (VO_2) ter največja poraba kisika ($\text{VO}_{2\text{max}}$) sta bila večja pri vzdržljivostno treniranem merjencu, čeprav je bila kinetika porabe kisika hitrejša pri sprinterju. Energijska poraba na koncu testa skoraj sovpadajo s porabo iz aerobnega vira.

Scott idr. (1991) je odkril večji aerobni delež med supramaksimalnim testom (2–3 min 125–140 % $\text{VO}_{2\text{max}}$) med dolgoprogaši (70 %) v primerjavi s sprinterji (61 %), srednjeprogaši (63 %) in kontrolno skupino (66 %).

Weyand in Bundle (2005) sta določala energijske vire pri maksimalnem teku v trajanju do 150 sekund (15, 20, 30, 45, 60, 75, 90, 120 in 150 sekund). Poraba kisika iz aerobnega vira je podobna za dolgo- in srednjeprogaše, medtem ko so za sprinterje značilne nižje vrednosti aerobne energije v teku daljšem od 30 sekund (slika 8, desno). Kisikov deficit, ki predstavlja porabo energije iz anaerobnega vira, se je med skupinami merjencev razlikoval pri vseh merjenjih, razen pri teku v trajanju 120 in 150 sekund. Najvišji kisikov deficit pri vseh merjenjih je imela skupina sprinterjev, najnižji pa dolgoprogaši (slika 8, levo).



Slika 8 Primerjava porabe iz anaerobnega vira – kisikov deficit (levo) in aerobnega vira – poraba kisika (desno) v času od 15 do 120 sekund za skupine merjencev: sprinterji, tekači na srednje proge, tekači na dolge proge (Weyand in Bundle, 2005).

Calbert idr. (2003) so primerjali energijske deleže med kolesarji sprinterji in vzdržljivostno treniranimi kolesarji pri Wingate testu. Pokazalo se je, da imajo vzdržljivostno trenirani manjšo porabo energije, večjo porabo kisika in manjši kisikov deficit v primerjavi s sprinterji, kar pomeni večji aerobni in manjši anaerobni delež pri pokrivanju energijskih zahtev Wingate

testa. Vzdržljivostno trenirani so zaradi boljše aerobne moči (višji VO_{2max}) porabili 26 % več kisika na kilogram telesne mase, medtem ko je bila poraba kisika glede na VO_{2max} (VO_2/VO_{2max}) enaka za obe skupini. Pri sprinterjih so izmerili 33 % višji kisikov deficit ter 8 % večjo maksimalno moč v primerjavi z vzdržljivostno treniranih merjenci. Večji anaerobni delež pri sprinterjih naj bi bil povezan z večjim deležem hitrih mišičnih vlaken (tip 2), ugodnejšo encimsko strukturo in večjo pufersko kapaciteto. Uspešen maratonec ima v mišici vastus lateralis kar 70 – 90 % počasnih mišičnih vlaken, najboljši šprinterji pa 60 – 80 % hitrih mišičnih vlaken. Počasna mišična vlakna imajo več in večje mitohondrije ter večjo aktivnost oksidacijskih encimov.

Seveda so sprinterji uspešnejši od dolgoprogašev na krajših razdaljah, dolgoprogaši na dolgih, medtem ko so na srednjih progah precej enakovredni. Po Weyandu (1994) so bili na 800 m le malo uspešnejši sprinterji (121,9 s) kot dolgoprogaši (126,6 s) – sprinterji imajo torej za tek na krajše srednje razdalje (800 m) boljši energijski profil: večji kisikov deficit, največji laktat v krvi, manjšo največjo porabo kisika in nižji laktatni prag. Pokaže se, da je dobra anaerobna funkcija zelo pomembna za tek na srednje razdalje.

Omenjene raziskave kažejo, da so energijski deleži odvisni od specializacije merjencev. Večji del energije črpajo iz tistega energijskega sistema, ki je zaradi usmerjenosti v kratke oziroma srednje proge prevladujoč, boljše razvit. Pri sprinterjih je opazen večji anaerobni delež zaradi boljše razvitega anaerobnega metabolizma, pri srednje- in dolgoprogaših je v primerjavi s sprinterji višji aerobni delež zaradi dobro razvitih aerobnih energijskih procesov.

2.4.6 Energijski deleži glede na starost merjencev: skupina otroci in mladostniki

Raziskav, ki bi primerjale energijske deleže za različno stare merjence, ni. Prav tako so skromne raziskave o energijskih deležih pri otrocih in mladostnikih. Kljub temu pa nekatera spoznanja o različnem odzivu otrok in mladostnikov na napor nakazujejo na manjšo vlogo anaerobnih in večji vpliv aerobnih energijskih procesov pri zagotavljanju energije pri fizični aktivnosti. Ocene slonijo na znanju o razvoju energijskih sistemov, aerobnih in anaerobnih sposobnosti pri otrocih. Vendar pa Škof in Milič (2002) v svoji raziskavi o energijskih deležih na 600 in 2400 m med otroki nista potrdila hipoteze o nižjem anaerobnem deležu pri otrocih v primerjavi z odraslo populacijo.

Zaradi etičnih in metodoloških omejitev je metabolični in hormonski odziv na napor med otroki in mladostniki slabše raziskan. Medtem ko je merjenje največje porabe kisika (VO_{2max}), ki predstavlja splošno sprejeto mero aerobnih sposobnosti, dobro raziskan problem tako med odraslimi kot tudi med mlajšo populacijo, pa za merjenje anaerobne kapacitete ne obstaja standardizirano testiranje. Večina raziskav anaerobnih sposobnosti otrok obravnava kratkotrajne (6 – 30 sekund) teste na ergometru: sila – hitrost, Wingate test, ki kažejo na manjšo moč v primerjavi z odraslo populacijo. Kljub temu pa danes vemo, da se otroci odzivajo na napor nekoliko drugače kot odrasli. Ker se spremembe hormonskega sistema in metabolizma dogajajo vzporedno z rastjo in razvojem, je različen tudi odziv različno starih otrok. Ker pa ima vsak posameznik svoj lasten tempo rasti in zorenja, so pojavlja velika variabilnost tudi med enako starimi posamezniki.

2.4.7 Razvoj aerobnega sistema v obdobju otroštva in mladostništva

Aerobne sposobnosti so odvisne od učinkovitosti centralnih in perifernih aerobnih mehanizmov. Centralni mehanizem predstavlja transportni sistem, ki mišicam dostavlja kisik. Znotraj tega procesa so številni mehanizmi, ki vplivajo na končno aerobno sposobnost. Posebej pomembni so utripni volumen srca ter količina in sestava krvi. Učinkovita izraba kisika v mišicah je stvar perifernih mehanizmov (razvitost kapilarne mreže, število mitohondrijev, encimska struktura ...).

Relativne vrednosti porabe kisika znašajo okrog 50 ml O_2 /kg/min pri fantih in 42 ml O_2 /kg/min pri dekletih pred puberteto, kar je najvišja relativna vrednost aerobne funkcije v človeškem življenju sploh (Škof, 2007). Otroci za odraslimi zaostajajo v razvitosti centralnih aerobnih mehanizmov, visoko aerobno relativno učinkovitost pa jim zato zagotavljajo periferni mehanizmi. Otroci imajo tako večji delež počasnih mišičnih vlaken (Boisseau in Dalmarche, 2000). Armstrong in Barker (2012) trdita, da imajo otroci večjo rekrutacijo počasnih mišičnih vlaken. Prav tako imajo otroci večjo gostoto kapilarne mreže, kar omogoča mišicam večji privzem kisika.

Več raziskav kaže, da imajo otroci tudi večji delež počasnih mišičnih vlaken in več oksidativnih encimov (sukcinatna dehidrogenaza, citokrom oksidaza, citratna sintetaza). Po Berg idr. (1986) obstaja med aktivnostjo oksidativnih encimov in starostjo (6 – 17 let)

negativna korelacija. Heralambie (1982) je raziskoval razlike v aktivnosti encimov Krebsovega cikla in dihalne verige v mišici vastus lateralis med adolescenti (13 – 15 let) in odraslimi (22 – 42 let). Aktivnost oksidativnih encimov (razen CS) je bila značilno večja pri adolescentih: lipoamid dehidrogenaza (+40 %), ICDH izocitratna dehidrogenaza (+44 %), fumaraza (+24,5 %), malat dehidrogenaza (+42,2 %) in NADH-dehidrogenaza (+39 %).

Otroci imajo hitrejšo dinamiko vključevanja aerobne presnove v začetni fazi telesne dejavnosti (Morcelin in Gilden, 1999 v Škof, 2007). Armon idr. (1991) opisujejo razlike v kinetiki porabe kisika med otroki in odraslimi. Poraba kisika med visoko intenzivnim naporom je višja pri otrocih. Ti so bili tudi sposobni hitrejšega odziva na povečane zahteve po kisiku, kar pomeni manjšo tvorbo laktata in manjši kisikov deficit.

Nekatere raziskave kažejo, da imajo otroci aktivnejši maščobni metabolizem. Martinez in Haymes (1992) sta pri dekletih pred puberteto (8 – 10 let) v 30-minutni obremenitvi pri 70 % VO_{2max} izmerila nižji respiratorni ekvivalent (RQ) kot pri odraslih ženskah (20 – 32 let). Rezultati so pokazali, da dekleta za produkcijo energije v večji meri rabijo maščobne kisline in glicerol. Tudi Asano in Hirakoba (1984) sta pri dečkih izmerila nižji RQ kot pri fantih v adolescenci in pri mladih odraslih. Meritve potrjuje tudi teorija, ki pri otrocih predvideva večjo mobilizacijo maščobnih kislin in glicerola zaradi višje vrednosti ravnega hormona v začetku adolescence (RH je pomemben mobilizator maščobnih kislin iz depojev) (Škof, 2007).

Anaerobni prag, če ga izražamo z odstotki od največje vrednosti VO_{2max} imajo otroci na značilno višjem %. Koncentracija laktata 4 mmol/l je pri 11-letnih dečkih na okoli 80% VO_{2max} , pri odraslih pa na okoli 70 % VO_{2max} (Mocellin idr., 1991). Višji anaerobni prag pri otrocih pomeni večji delež oksidativne presnove tudi pri relativno visoki intenzivnosti oziroma, da so otroci sposobni vzdrževati napor pri intenzivnostih blizu VO_{2max} in pri tem bistveno ne povečajo vsebnosti laktata v krvi. Zato pogosto pravimo, da otroci različne obremenitve rešujejo bolj aerobno kot odrasli.

Povečano delovanje endokrinega sistema v puberteti povzroči številne spremembe, tudi razvoj centralnih aerobnih mehanizmov. Volumen in teža srca se od 8. do 18. leta starosti tako povečata za 2,5-krat (Malina in Bouchard, 1991 v Škof, 2007). S tem se povečuje tudi utripni

volumen, zmanjšuje pa se največja frekvenca srca. Otrok v puberteti ima lahko največjo frekvenco srca 215 utripov/min ali več, 20-letniki pa le še 195 – 200 utripov/min (Young idr., 1995). Absolutna vrednost srčnega dela se pri največjem naporu med 10. in 20. letom skoraj podvoji (od 12,5 l/min do 22 l/min). Povečajo se pljuča in njihova funkcija. Največja ventilacija se poveča od 40 l/min pri petih letih na več kot 110 l/min pri odraslih (Wilmore in Costill, 1994). Vrednost ventilacijskega ekvivalenta (VE/VO_2), ki je pokazatelj učinkovitosti ventilacije, pri 8 let staremu otroku znaša 40, pri 18-ih letih pa se zmanjša na 28. V puberteti se povečuje absolutni volumen krvi ter hematokrit. 8-letnik ima približno 12,9 mg hemoglobina na dl krvi, odrasli moški 16,0 ter ženske 14,0 mg/dl. Relativna količina krvi na kilogram telesne mase pa ostaja enaka in znaša približno 75 do 80 ml/kg telesne mase tako za otroke kot odrasle. Povečan hemoglobin na isto količino krvi poveča prenos kisika in izboljša vzdržljivostno sposobnost (Rowland, 1989).

Zaradi povečanja srčno-žilne in pljučne kapacitete se poveča aerobna zmogljivost (VO_{2max}), vendar samo absolutne vrednosti. VO_{2max} (l/min) se povečuje od 6. do 18. leta pri fantih in od 6. do 14. leta pri dekletih. Z odraščanjem pa se relativne vrednosti VO_{2max} (l/min/kg) ne spreminjajo bistveno.

2.4.8 Razvoj anaerobnega sistema v obdobju otroštva in mladostništva

Anaerobne sposobnosti (anaerobna kapaciteta in moč) človeka ocenjujemo na osnovi količine adenozin trifosfata, ki se lahko proizvede v anaerobnih procesih med visoko intenzivno dejavnostjo. Anaerobne sposobnosti se z odraščanjem povečujejo skladno s telesno rastjo (Škof, 2007).

Kratkotrajna anaerobna učinkovitost je pri otrocih nizka in pri fantih narašča ves čas biološkega razvoja, pri dekletih pa svoj vrh doseže okoli 14. leta (Škof, 2007). Šele v puberteti se s spremembami delovanja hormonskega sistema sprožijo tisti biološki mehanizmi, ki pomenijo podlago za razvoj tudi mišičnih dejavnikov moči. Testosteron, ki se močno poveča v času pubertetnega zagona rasti, vpliva na povečanje mišične mase, povzroči povečano sproščanje acetilholina in drugih nevrotansmitorjev v motoričnih ploščicah in s tem

večjo in učinkovitejšo aktivacijo mišic (Škof, 2007). Izredno pomembna je tudi posredna vloga testosterona na izločanje ravnega hormona, ki vodi k povečani sintezi somatomedijanov (zlasti IGF I) v jetrih. Ti pa neposredno stimulirajo mišično in kostno rast (Škof, 2007). Poveča se tudi izločanje kateholaminov, ki stimulirajo izločanje testosterona.

Tudi anaerobne laktatne sposobnosti otrok so manjše od sposobnosti odraslih ljudi. Anaerobni laktatni energijski sistem namreč svoj pravi razvoj doseže šele v pubertetnem obdobju. Zanconato idr. (1993) in Kuno idr. (1995) so pokazali, da imajo otroci pred puberteto (7 – 10 let) in mladostniki (12 – 15 let), manjšo sposobnost refosforilacije ATP preko anaerobnega metaboličnega sistema. Nižja anaerobna (glikolitična) kapaciteta med otroki pri visoko intenzivnem naporu je posledica manjše aktivnosti anaerobnih encimov, kot so laktat dehidrogenaza (LDH), piruvat kinaza in fosfofruktokinaza (PFK) ter manjših zalog glikogena. Eriksson idr. (1974) navajajo, da imajo 11 – 13-letni otroci za 50 % nižjo vrednost PFK kot odrasli. Pri 11-letnikih je koncentracija FK 8 $\mu\text{mol/g}$, pri 16-letnikih pa 29 $\mu\text{mol/g}$ (van Praagh, 1998).

Merjenja zalog adenozin trifosfata (ATP) in kreatin fosfata (CP) ter primerjave med otroki in odraslimi so dala različne rezultate, vendar večinoma velja, da se zaloge pri otrocih bistveno ne razlikujejo od odraslih (Boisseau in Delamarche, 2000). Imajo pa otroci bistveno manjše zaloge jetrnega in mišičnega glikogena. Raziskave so pri otrocih z 54 mmol/kg glikogena pokazale le 50 do 60 % zaloge odraslih. Z odraščanjem pa se povečujejo in 15,5-letni fantje imajo z 87 mmol/kg mišice glikogena podobno količino zalog kot neaktivni odrasli (Eriksson in Saltin, 1974).

Zelo očitni znaki manjše anaerobne sposobnosti otrok so nižje vrednosti kisikovega deficita, kisikovega dolga, laktata v krvi ter višje vrednosti pH krvi po naporu (Boisseau in Delamarche, 2000). V preglednici 4 so zbrane študije, ki so primerjale najvišji laktat po obremenitvi med različno starimi otroci. Večina je izmerila značilno nižje vrednosti laktata pri otrocih pred puberteto v primerjavi z mladostniki in odraslimi. Vsebnost laktata v krvi pri obremenitvi $\text{VO}_{2\text{max}}$ znaša pri 11,6-letnikih 7,9 mmol/l, pri 15,5-letnikih pa že 10,5 mmol/l (Eriksson in Saltin, 1974).

Preglednica 4 Vsebnost laktata v krvi pri obremenitvi VO_{2max} pri otrocih.

| Raziskava | Starost | Največja koncentracija laktata (mmol/l) | |
|-------------------------------------|---------|---|-----------|
| | | dečki | deklince |
| Ericksson in Saltin (1974) | 11,6 | 7,9 ± 0,5 | |
| | 12,6 | 9,6 ± 0,6 | |
| | 13,5 | 9,2 ± 0,3 | |
| | 15,5 | 10,5 ± 0,9 | |
| Paterson idr. (1987) | 11 | 7,0 ± 1,4 | |
| | 12 | 7,7 ± 1,7 | |
| | 13 | 9,0 ± 1,9 | |
| | 14 | 9,0 ± 1,7 | |
| | 15 | 10,1 ± 1,5 | |
| Williams in Armstrong (1991) | Tanner | dečki | deklince |
| | 1 | 5,3 ± 1,2 | |
| | 2 | 5,0 ± 2,4 | 5,8 ± 1,3 |
| | 3 | 4,7 ± 1,1 | 5,7 ± 1,9 |
| | 4 | 5,8 ± 1,2 | 6,6 ± 1,9 |
| | 5 | 5,8 ± 1,7 | 5,7 ± 1,2 |
| Cumming (1980) | 4 – 5 | 8,1 | 8,4 |
| | 6 – 7 | 8,9 | 9,4 |
| | 8 – 9 | 9,0 | 10,5 |
| | 10 – 12 | 9,5 | 10,7 |
| | 13 – 15 | 10,8 | 11,5 |
| | 16 – 20 | 13,7 | 11,5 |

Otroci pred puberteto imajo tudi manjše puferske (tako bikarbonatne kot proteinske) sposobnosti. Pubertetna rast pa povzroči povečanje kostne mase in s tem povečanje zalog bikarbonata. Povečana puferska kapaciteta za mladostnike pomeni, da lahko dlje vzdržujejo znižan pH v mišici in krvi med intenzivnim naporom (Boisseau in Delmarche, 2000).

Otroci imajo tudi nižje vrednosti kisikovega deficita ter kisikovega dolga. Po van Praagh (1998) znaša kisikov dolg po enominutni obremenitvi 35 do 37 mlO₂/kg pri 10-letnikih, pri deklicah 32 do 40, pri odraslih pa 52 do 90 mlO₂/kg. V preglednici 5 so zbrani podatki za kisikov deficit za otroško populacijo.

Preglednica 5 Vrednosti kisikovega deficita pri različnih aktivnostih otrok.

| Raziskava | Starost merjencev | Vrsta aktivnosti | Intenzivnost | Kisikov deficit (ml/kg) |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| Carlson in Naughton (1998) | Dečki pred puberteto | Pedaliranje na cikel ergometru | 110 % | 35,3 |
| | | | 130 % | 37,1 |
| | | | 150 % | 36,8 |
| Buttifant idr. (1996) | Dečki pred puberteto | Tek na tekoči preprogi | 110 % | 51,5 |
| | | | 130 % | 47,0 |
| Naughton idr. (1997) | Dečki med puberteto | Tek na tekoči preprogi | 120 % | 71,5 |
| | | | 130 % | 67,6 |
| Meldrum (2004) | 11,2 ± 0,4 | Tek na tekoči preprogi | 120 % | 41,3 |
| | 13,7 ± 0,4 | | | 63,4 |
| | 16,9 ± 0,2 | | | 54,4 |

Nižje vrednosti parametrov anaerobne presnove pri otrocih so posledica manjše mišične mase in predvsem hitrejše in učinkovitejše aerobne presnove v primerjavi z odraslimi. Otroci v prvih 30-ih sekundah dejavnosti dosežejo znatno višji % svoje aerobne kapacitete (% VO_{2max}) kot odrasli.

Znano je tudi, da je obnova kreatin fosfata odvisna od oksidativne sposobnosti mišice. Ratel idr. (2002) so izmerili, da je bila hitrost obnove CP pri 6- do 12-letnih otrocih 63 mmol/min, pri mladih odraslih pa 34 mmol/min. Hitrejša obnova CP pa tako pomeni manjšo glikolitično dejavnost in nižjo koncentracijo laktata v mišici po obremenitvi.

3 PROBLEM

Testni tek na 600 m se od leta 1990 izvaja na vseh slovenskih osnovnih in srednjih šolah v sklopu merjenj za športno vzgojni karton in je tako najbolj pogost test za merjenje splošne (aerobne ali kardio-vaskularne) vzdržljivosti na slovenskih šolah. Interpretacija rezultatov teka na 600 m kot pokazatelja aerobne učinkovitosti otrok temelji na korelaciji med rezultatom v tekaškem testu in maksimalno porabo kisika (VO_{2max}). Korelacijski koeficienti za različne tekaške teste se od raziskave do raziskave močno razlikujejo, od šibke povezanosti – 0,26 (Krahenbuhl idr., 1977), ki postavlja dvom v ustreznost testnega teka kot pokazatelja aerobne vzdržljivosti, do zelo močne 0,82 (Jackson in Coleman, 1976). Po drugi strani so rezultati v teku na srednje razdalje večinoma močno povezani tudi z anaerobno kapaciteto (kisikov deficit, Lamax). Ugotavljanje resnične vloge oz. vključenost aerobnih in anaerobnih energijskih virov pri zagotavljanju energijskih potreb teka pa je mogoče le preko merjenja energijskih procesov neposredno med tekaškim testom. Kombinacija energijskih deležev med tekom in koeficientov povezanosti aerobnih ter anaerobnih parametrov z rezultatom teka nam omogoči presojo ustreznosti testnega teka na 600 m kot testa aerobne vzdržljivosti.

Razvoj rezultatov v teku je pri otrocih pod močnim vplivom kvalitativnih in kvantitativnih sprememb rasti in razvoja. Znano je, da imajo otroci že pred puberteto dobro razvito aerobno sposobnost, medtem ko se razvoj laktatnih sposobnosti začne šele v puberteti. Otroci v predpubertetnem obdobju imajo v primerjavi s starejšimi večjo aktivnost oksidacijskih encimov, višji delež počasnih mišičnih vlaken in s tem več mitohondrijev in večjo kapilarizacijo. S povečevanjem aktivnosti anaerobnih encimov, izboljšanjem puferskih sposobnosti in povečanim izločanjem kateholaminov starejši otroci dosegajo večjo vsebnost laktata v krvi po naporu, imajo večji kisikov deficit in kisikov dolg. Zaradi razlik v razvitosti energijskih sistemov dveh starostno različnih skupin nas zanimajo razlike v njihovih energijskih profilih med tekom na 600 m. Zanima nas tudi, kateri od parametrov energijskih procesov izmerjenih neposredno med tekom vpliva na rezultat teka na 600 m. Energijske sisteme obravnavamo kot dejavnik uspešnosti v teku pri otrocih različne starosti.

Namen naloge je ugotoviti energijsko strukturo (deleže posameznih energijskih virov) v testnem teku na 600 m pri otrocih. Na podlagi podatkov o deležih energijskih sistemov pri zagotavljanju energije v teku na 600 m želimo ugotoviti, ali se energijska struktura razlikuje

med merjenci različne starosti in različne stopnje biološkega razvoja. Hkrati pa skušamo ugotoviti, kako morebitne razlike v energijskem profilu vplivajo na uspešnost v testnem teku. Ker natančnih analiz energijske strukture pri različnih testnih vzdržljivosti opravljenih na populaciji šolske mladine ni, bodo spoznanja te študije pripomogla k natančnejšemu vpogledu in razumevanju merskih značilnosti posameznih testov vzdržljivosti.

4 CILJI

1. Ugotoviti, kakšen je energijski profil (delež aerobnega energijskega vira iz transportnega sistema, kisikovih zalog v mišici, anaerobnega alaktatnega energijskega vira in anaerobnega laktatnega energijskega vira) pri teku na 600 m pri otrocih.
2. Ugotoviti ali na energijski profil vpliva starost merjencev. Ugotoviti želimo ali imajo otroci v predpubertetnem obdobju enak ali drugačen energijski profil testnega teka na 600 m kot otroci v pubertetnem obdobju.
3. Ugotoviti vpliv posameznih energijskih virov na uspešnost v teku na 600 m pri otrocih.
4. Ugotoviti povezanost parametra $CO_{2\text{presežek}}$ (integral površine med funkcijama VCO_2 in VO_2 na grafu VO_2/VCO_2 v odvisnosti od časa teka na intervalu, kjer je RQ večji od 1 do konca testa) z rezultatom v tekaškem testu.

5 HIPOTEZE

H₀1: Med mlajšo in starejšo skupino merjencev ni razlik v tekaški uspešnosti in energijskem profilu v teku na 600 m.

H₀2: Parametri energijskega profila niso povezani z rezultatom v teku na 600 m.

H₀3: Energijski deleži med tekom na 600 m nimajo napovedne moči na rezultat teka ($H_0: b_0 = b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = 0$). Z energijskimi deleži med tekom na 600 m ne uspemo pojasniti variance rezultata v teku na 600 m ($R^2 = 0$). Parametri enerjske porabe niso pomembni pokazatelji rezultata v teku na 600 m.

H₀4: Parameter presežek CO_2 ni povezan z rezultatom teka na 600 m.

6 METODE DELA

6.1 Vzorec merjencev

Vzorec merjencev sestavlja 28 otrok (14 deklet in 14 fantov), od tega 12 otrok 3. in 4. razreda (povprečna starost $10,6 \pm 0,6$) in 16 otrok 7. in 8. razreda (povprečna starost $14,2 \pm 0,6$ let). Povprečna starost merjencev je bila $12,7 \pm 1,8$ leta.

Merjenci in njihovi starši so bili seznanjeni z namenom raziskave in protokolom meritev, obveznostmi in morebitnimi posledicami meritev. Pisno privoljenje k sodelovanju so dali otroci in njihovi starši. Soglasje k raziskavi je dala tudi Medicinska etična komisija.

6.2 Opis merskih postopkov in spremenljivk

Eksperimentalni postopek je obsegal antropometrijske meritve, test maksimalne aerobne moči v laboratoriju na tekoči preprogi, test maksimalne hitrosti in testni tek na 600 m na atletski stezi.

Merjenci so najprej opravili antropometrijske meritve v laboratoriju in test maksimalne aerobne moči na tekoči preprogi. Sedem do deset dni po testu na tekoči preprogi so opravili še test maksimalne hitrosti in testni tek na 600 m.

Antropometrijske meritve

V sklopu testiranj so bile izvedene naslednje antropometrijske meritve:

- Telesna masa (kg) (TM) je bila izmerjena z 0,1 kg natančnosti.
- Delež mišične mase (AMIS) je bil določen na osnovi obsegov stegen, meč in nadlahti in izmerjenih kožnih gub (KG) na stegnu, mečih in nadlahti po protokolu, ki ga opisuje Matiegka (1921).
- Delež maščobne mase (AMAS).

Test maksimalne aerobne moči

Največjo aerobno moč (VO_{2max}) merjencev so izmerili s stopnjevanim testom na tekoči preprogi pri 5 % naklona (Bunc idr., 1987). Začetna hitrost teka je bila 8 km/h in se je

povečevala vsako minuto za 1 km/h do hitrosti, ki jo je merjenec še zmoget. Pred testom je vsak opravil ogrevanje: 3 minute pri hitrosti 6 km/h, 4 minute pri hitrosti 7 km/h in 4 minute teka brez naklona pri hitrosti 8 km/h. Po končanem testu je sledilo 3 minute hoje za umiritev. Test so izvajali s pomočjo sistema za direktno ergospirometrijo tipa »breath by breath« K4 Cosmed, ki je bila kalibrirana pred vsakim testom v skladu z navodili proizvajalca.

Merjenje plinske izmenjave

- Poraba kisika (VO_2) in količina CO_2 v izdihanem zraku (VCO_2) je bila merjena ves čas opravljanja testnega protokola.
- Poraba kisika (VO_{2max}) v absolutnih (l/min) in relativnih vrednostih (ml/min/kg).

Testni tek na 600 m

Testni tek so merjenci opravili na 400-metrski atletski stezi, prevlečeni s plastično prevleko. Tek z največjo mogočo hitrostjo je opravil vsak sam ob pomoči spodbujevalca ritma teka. Test so opravljali s prenosno telemetrijsko enoto K4 Cosmed (Italija).

Pred začetkom testa so merjencem odvzeli kri iz ušesne mečice v mirovanju. Sledilo je 10 do 15-minutno ogrevanje s tekom in gimnastičnimi vajami. Po namestitvi prenosne enote K4B so merjenci 5 minut mirovali (sedenje na stolu). Sledil je tek na 600 m z največjo mogočo hitrostjo. Po teku je bila na vrsti umiritev do stanja mirovanja pred startom in odvzem vzorca krvi iz ušesne mečice (5 minut po teku).

Merjenje plinske izmenjave

Iz analize »breath by breath« podatkov (povprečnih vsakih 5 sekund) je bila definirana vrednost VO_2 v mirovanju pred testom (povprečje 60-sekundnega intervala) in vrednost povprečne VO_2 skozi celotni tekaški preizkus.

Merjenje vsebnosti laktata v krvi

Vsebnost laktata v krvi smo merili z Eppendorf Ebio lactate analizatorjem (Nemčija). Vzorec 20 μ l krvi je bil odvzet iz hiperemične ušesne mišice. Natančnost meritev vsebnosti laktata v sveži krvi je bila $\pm 0,1$ mmol/l.

ΔLA (mM/l) = $LA_{max} - LA_{mir}$; razlika v vsebnosti laktata v krvi po in pred testnim tekom

Na podlagi izmerjenih spremenljivk je bila v skladu z modeli Hill (1999), di Prampero (1981), Brastow idr. (1990) izračunana poraba iz posameznega energijskega sistema in celotna energijska poraba med tekom (E_{TOT}):

$$E_{TOT} = E_{EXE} + E_{STOR} + E_{2LA} + E_{AL}$$

Pri čemer je:

- E_{EXE} (ml/kg); aerobni transportni vir O_2 (količina kisika iz transportne verige; izmerjena skupna poraba O_2 med tekom),
- E_{STOR} (ml/kg); poraba O_2 iz kisikovih zalog v mišici - relativno/kgTT (v ekvivalentu ml O_2 – kisikov ekvivalent zalog O_2 v mišici $2,3 \text{ ml } O_2 \text{ kg}^{-1}$ telesne mase)
- E_{LA} (ml/kg); poraba O_2 iz glikolitičnega vira (kisikov ekvivalent kapacitete glikolitičnega sistema, $3,0 \text{ ml } O_2 \text{ kg}^{-1}$ telesne mase na vsak mMl^{-1} laktata v krvi nad vrednostjo v mirovanju)

$$E_{LA}[\text{ml/kg}] = 3,0 \text{ ml } O_2 / \text{kg} \times \Delta LA$$

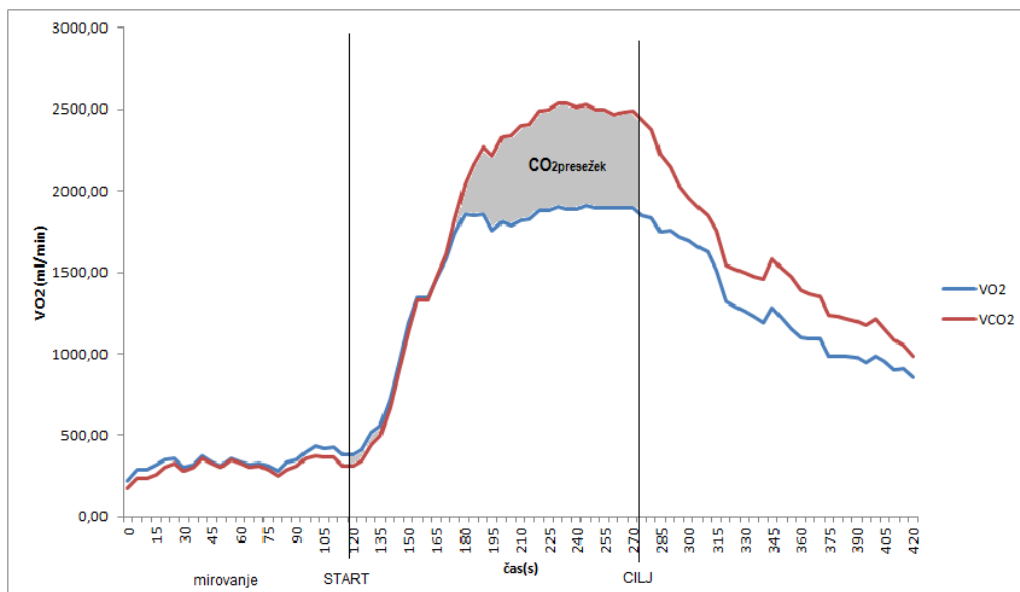
- E_{AL} (ml/kg); poraba O_2 iz kreatinfosfatnega vira (kisikov ekvivalent zalog kreatinfosfata, $37 \text{ ml } O_2 \times \text{kg}^{-1}$ mišične mase)

$$E_{AL}[\text{ml/kg}] = 37 \text{ ml } O_2 / \text{kg} \times AMIS \div TM$$

Ves čas opravljanja testnega teka na 600 m je bila merjena poraba kisika (VO_2) in količina ogljikovega dioksida v izdihanem zraku (VCO_2). Iz podatkov povprečenih na 5 sekund je bil izračunan presežek CO_2 .

Parameter $CO_{2\text{presežek}}$ smo definirali kot razliko med količino izdihanega CO_2 in količino porabljenega O_2 za interval med tekom na 600 m, kjer je količina izdihanega CO_2 večja od količine porabljenega O_2 . Na grafu tvorbe CO_2 – porabe O_2 v odvisnosti od časa predstavlja parameter ploščino med krivuljama VCO_2 in VO_2 , kjer je VCO_2 večji od VO_2 (slika 9). Podoben parameter opisujejo Yano (1987), Maemura idr. (2004). Izračun izvedemo v programskem paketu Origin 8 s prilagajanjem krivulj, računanjem razlike med krivuljama in integriranjem razlike na ustreznem intervalu (funkcija Analysis – Integrate):

$$CO_{2\text{presežek}}[\text{ml}] = \int (VCO_2(t) - VO_2(t)), \quad \text{kjer je } VCO_2 > VO_2$$

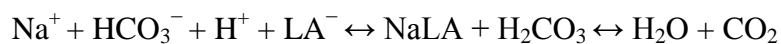


Slika 9 Določanje parametra presežek CO_2 za izbranega merjenca na podatkih $VCO_2 - VO_2$ med tekom na 600 m.

Ogljikov dioksid (CO_2) je glavni odpadni produkt energetskega metabolizma in se izloča iz telesa pri dihanju. Je stranski produkt aerobnega metabolizma:



CO_2 nastaja pri puferiranju laktata oz. vodikovega iona (H^+), ki nastaja hkrati z laktatom:



Test maksimalne hitrosti

Za test maksimalne hitrosti smo uporabili tek na 20 m z letečim startom.

6.3 Vzorec spremenljivk

- TM (kg); telesna masa
- AMIS (kg); mišična masa
- AMAS (kg); maščobna masa
- $t_{600}(s)$; rezultat teka na 600 m v sekundah
- v_{600} (m/s); povprečna hitrost teka na 600 m
- v_{max} (m/s); največja hitrost teka v teku na 20 m z letečim startom
- v_{600}/v_{max} (%); delež največje hitrosti dosežen med tekom na 600 m

- VO_{2max} (ml/kg/min); relativna maksimalna poraba kisika med večstopenjskim obremenilnim testom
- $CO_{2presežek}$ (ml); presežek CO_2 med tekom na 600 m
- $CO_{2presežekrel}$ (ml); presežek CO_2 med tekom na 600 m relativno
- INT_{600} (% VO_{2max}); intenzivnost teka na 600 m; poraba energije med tekom na 600 m glede na največjo porabo kisika (VO_{2TOT}/VO_{2max})
- $VO_{2max600}$ (ml/kg/min); največja poraba kisika med tekom na 600 m relativno/kg TT
- E_{EXE} (ml); poraba O_2 iz aerobnega transportnega vira absolutno
- E_{EXErel} (ml/kg); poraba O_2 iz aerobnega transportnega vira relativno/kg TT
- ΔLA (mM/l); razlika v vsebnosti laktata v krvi po in pred testnim tekom
- E_{STOR} (ml); poraba O_2 iz kisikovih zalog v mišici absolutno
- $E_{STORrel}$ (ml/kg); poraba O_2 iz kisikovih zalog v mišici relativno/kg TT
- E_{LA} (ml); poraba iz glikolitičnega vira absolutno
- E_{LARel} (ml/kg); poraba iz glikolitičnega vira relativno/kg TT
- E_{AL} (ml); poraba iz kreatinfosfatnega vira absolutno
- E_{ALrel} (ml/kg); poraba iz kreatinfosfatnega vira relativno/kg TT
- E_{TOT} (ml); celotna poraba med tekom na 600 m absolutno
- E_{TOTrel} (ml/kg); celotna poraba med tekom na 600 metrov relativno/kg TT
- VO_{2TOT} (ml/kg/min); celotna poraba energije na minuto teka/kg TT
- Delež E_{EXE} ; delež (%) transportnega vira O_2
- Delež E_{STOR} ; delež (%) vira mišične rezerve O_2
- Delež E_{LA} ; delež (%) glikolize
- Delež E_{AL} ; delež (%) kreatinfosfatnega vira
- Delež E_{AN} ; delež (%) anaerobnega vira
- Delež E_{AE} ; delež (%) aerobnega vira

6.4 Metode obdelave podatkov

Podatki so bili zbrani in obdelani z računalniškim programom Microsoft Office Excel in statističnim programom SPSS 21.0. Parameter $CO_{2presežek}$ je bil izračunan v programu Origin 8.

Za analizo razlik med starejšo in mlajšo skupino smo uporabili t-test za neodvisne vzorce. Predpostavko testa o normalnosti porazdelitve smo preverili s Shapiro-Wilkovim testom. Test normalnosti porazdelitve smo izvedli za vse spremenljivke tudi ločeno glede na starostno skupino. Spremenljivka starost ni normalno porazdeljena, saj smo v vzorec namenoma vključili dve razvojno in starostno različni skupini. Porazdelitev relativnih vrednost kisikovih zalog ni normalna, saj je vrednost 2,3 enaka za vse merjence. Vse ostale spremenljivke so normalno porazdeljene. Predpostavko enakosti varianc smo preverili z Levenovim testom.

Za izračun povezanosti posameznih parametrov energijske oskrbe z rezultati tekaških testov je bil uporabljen Pearsonov koeficient korelacije. Na razsevnih grafikonih smo preverili predpostavko linearne povezanosti.

Za ugotavljanje vpliva parametrov energijske oskrbe na vzdržljivostno učinkovitost otrok smo uporabili metodo regresijske analize (metoda Enter in Forward).

Statistična značilnost je postavljena pri $p < 0,05$ pri dvosmernem testiranju.

7 REZULTATI IN RAZPRAVA

7.1 Osnovne statistične značilnosti spremenljivk

Vzorec sestavlja 28 učencev s povprečno starostjo $12,6 \pm 1,9$ let, od tega mlajša skupina s povprečno starostjo 10,6 let vključuje učence, ki po biološki starosti sodijo v čas poznega otroštva, druga, starejša skupina, katere povprečna starost je 14,2 leta, pa sodi v čas pubertete. Zaradi vključenosti dveh starostno in razvojno različnih skupin lahko pričakujemo velike razlike predvsem v sklopu antropometričnih spremenljivk (telesna in mišična masa) ter v uspešnosti v tekaškem testu.

Preglednica 6 prikazuje starost in najpomembnejše morfološke spremenljivke merjencev. Povprečna telesna masa znaša $49,8 \pm 13,7$ kg, od tega je $23,3 \pm 6,7$ (46,8 %) kg mišične mase in $7,7 \pm 3,8$ kg (15,5 %) maščobne mase.

Preglednica 6 Osnovne statistične značilnosti starosti in najpomembnejših morfoloških parametrov

| Parameter | N | AS | SD | MIN | MAX | SKEW | KURT |
|--------------------|----|------|------|------|------|--------|--------|
| Starost | 28 | 12,6 | 1,9 | 9,7 | 15,3 | -0,273 | -1,621 |
| Telesna masa [kg] | 28 | 49,8 | 13,7 | 27,7 | 74,5 | 0,202 | -1,021 |
| Mišična masa [kg] | 28 | 23,3 | 6,7 | 12,9 | 37,7 | 0,326 | -0,910 |
| Maščobna masa [kg] | 28 | 7,7 | 3,8 | 2,6 | 15,1 | 0,565 | -0,718 |

Legenda: N – št. merjencev, AS – aritmetična sredina, SD – standardni odklon, MIN – min. vrednost, MAX – maks. vrednost, Skew – asimetrija, Kurt – sploščenost

Rezultati večstopenjskega obremenilnega testa in testa maksimalne hitrosti so zbrani v preglednici 7. Relativna največja poraba kisika (VO_{2max}), ki velja za najbolj uporaben in objektiven kriterij za merjenje aerobne učinkovitosti ter srčno-dihalne zmogljivost, znaša 47 ml/kg/min, kar ustreza izmerjenim vrednostim za netrenirane otroke. Za netrenirane fante se največja poraba kisika giblje med 35,2 in 48,0 ml/kg/min, pri dekletih pa med 35,8 in 41,7 ml/kg/min (Rowland idr., 1999, Welsman in Armstrong, 2000). Krahenbuhl in Pangrazi (1983) navajata porabo kisika 55,1 ml/min/kg pri hitrejših učencih in 48,6 pri počasnejših učencih v starosti 10 let. Williams idr. (2001) so izmerili vrednost 52,1 ml/min/kg pri 12-letnih dečkih, Rowland idr. (1999) pri dvanajstletnikih 47,0 ml/min/kg.

Razpon vrednosti največje porabe kisika je relativno velik, saj je najmanjša VO_{2max} (32,4 ml/kg/min) kar za 52 % manjša od največje (66,7 ml/kg/min).

Preglednica 7 Osnovne statistične značilnosti parametrov tekaške učinkovitosti v testu maksimalne hitrosti in testu aerobne moči.

| Parameter | AS | SD | MIN | MAX | SKEW | KURT |
|-------------------------|------|-----|------|------|-------|-------|
| v_{max} [m/s] | 6,7 | 0,7 | 5,5 | 8,4 | 0,505 | 0,198 |
| VO_{2max} [ml/kg/min] | 47,0 | 8,0 | 32,4 | 66,7 | 0,368 | 0,221 |

Največja hitrost v testu maksimalne hitrosti je $6,7 \pm 0,7$ m/s. Hitrost najpočasnejšega učenca v teku na 20 m z letečim startom (5,5 m/s) je za 35 % manjša od hitrosti najhitrejšega učenca (8,4 m/s).

Preglednica 8 Osnovne statistične značilnosti parametrov tekaške učinkovitosti testnega teka na 600 m.

| Parameter | AS | SD | MIN | MAX | SKEW | KURT |
|----------------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Rezultat na 600 m [s] | 139,2 | 16,1 | 107,5 | 178,8 | 0,279 | 0,231 |
| v_{600} [m/s] | 4,4 | 0,5 | 3,4 | 5,6 | 0,389 | 0,145 |
| v_{600}/v_{max} [% v_{max}] | 65,3 | 5,0 | 57,6 | 75,6 | 0,179 | -0,904 |
| Intenzivnost [% VO_{2max}] | 117,0 | 17,6 | 90,0 | 179,0 | 1,771 | 5,777 |
| $VO_{2max600}$ [ml/kg/min] | 44,2 | 6,5 | 34,0 | 61,1 | 0,484 | 0,187 |
| VO_{2TOT} [ml/kg/min] | 53,6 | 7,5 | 40,0 | 74,2 | 0,600 | 1,099 |
| $CO_{2presežek}$ [ml] | 1098,9 | 489,8 | 165,8 | 2302,7 | 0,144 | 1,235 |
| $CO_{2presežek}$ [ml/kg] | 21,0 | 8,6 | 5,4 | 37,8 | 0,073 | -0,020 |

Izmerjeni parametri v testnem teku na 600 m so zbrani v preglednici 8. Preiskovanci so za tek na 600 m potrebovali $139,2 \pm 16,1$ s (2:19,2) in pri tem dosegli povprečno hitrost $4,4 \pm 0,5$ m/s, ki predstavlja 65,3 % največje hitrosti, ki so jo dosegli v teku na 20 m z letečim startom. Primerjava izmerjenih parametrov tekaške učinkovitosti z znanimi podatki iz literature je pokazala, da so naši merjenci bistveno uspešnejši v testnem teku na 600 m. Mlajša skupina merjenk je dosegla čas 155,4 s, medtem ko so na meritvah za športno-vzgojni karton leta 1983 slovenske desetletnice dosegle čas 182,7 s, leta 1993 171,7s, leta 2003 192,17s, leta 2008 pa 179,8 s (Starc idr., 2010). Celotna populacija slovenskih desetletnikov je leta 2008 zabeležila čas 170,7; 10-letniki v naši raziskavi pa 143,5 s. Uspešnejša je tudi skupina starejših merjencev: 14-letnice so leta 2008 dosegle čas 173,8 s; merjenke v naši raziskavi 137,2 s. Dečki letnik 1994 so leta 2008 600 m pretekli v času 148,2 s, merjenci iste starosti iz naše

raziskave pa 125,6 s. Najslabši rezultat (178,8s) v teku na 600 m je za 65 % slabši od najboljšega (107,5 s).

Celotna energijska poraba med tekom na 600 m je 17 % višja od ravni največje aerobne sposobnosti otrok. Pri tem merjenci dosežejo 95 % svoje največje aerobne moči, kar pomeni, da se aerobni energijski sistem tudi na tako kratki razdalji že dobro vključi, vendar ne v celoti. Povprečna vrednost VO_2 med tekom na 600 m je 34,1 ml/min/kg, kar predstavlja 75,5 % VO_{2max} . Presežek CO_2 med tekom je znašal $1098,9 \pm 489,8$ ml oziroma $21,0 \pm 8,6$ ml/kg.

ENERGIJSKI PROFIL TEKA NA 600 METROV IN RAZLIKE V ENERGIJSKIH PROFILIH PREISKOVANCEV

V preglednici 9 so zbrani vsi parametri energijske oskrbe za tek na 600 m. Največja vsebnost laktata po teku na 600 m je znašala 9,6 mmol/l; 8,6 mmol/l pri mlajših in 10,4 mmol/l pri starejših. Van Praagh (1998) navaja, da otroci v starosti 11 do 13 let po supramaksimalni obremenitvi v trajanju 30 do 60 sek dosežejo vrednosti 6,0 do 10,0 mmol/l laktata v krvi. Medtem ko imajo trenirani odrasli po teku na 800 m 12,4 mmol laktata na liter krvi ($t = 126$ s) oziroma trenirane atletinje 10,2 mmol ($t = 151,5$) (Duffield idr., 2003). Večinoma pa so te vrednosti pri najboljših tekačih še veliko višje, po teku na 400 m od 17,3 do 21,8 mmol/l, pa teku na 800 m pa do 21,9 mmol/l (Zouhal idr., 2010, Lacour idr., 1990). Znano je, da je vsebnost laktata v krvi kot tudi kisikov deficit pri otrocih manjši. 10–12 letni otroci so v Cummingovi raziskavi po Bruce-ovem testu dosegli vrednost 10,2 mmol/l laktata v krvi; 13–15-letni fantje 11,3 mmol/l ter dekleta 11,6 mmol/l.

Preglednica 9 Osnovne statistične značilnosti parametrov energijske oskrbe pri teku na 600 m.

| | AS | SD | MIN | MAX | SKEW | KURT |
|------------------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|
| LA_{max600} [mmol/l] | 9,6 | 1,7 | 6,5 | 13,7 | 0,295 | -0,156 |
| ΔLA [mmol/l] | 7,7 | 1,8 | 4,6 | 11,7 | 0,277 | -0,029 |
| E_{LA} [ml] | 1183,5 | 475,5 | 432,9 | 2073,1 | 0,173 | -1,208 |
| E_{LA} [ml/kg] | 23,2 | 5,3 | 13,8 | 35,1 | 0,277 | -0,029 |
| E_{AL} [ml] | 861,2 | 249,4 | 477,3 | 1394,9 | 0,326 | -0,910 |
| E_{AL} [ml/kg] | 17,3 | 1,0 | 15,1 | 18,8 | -0,599 | -0,268 |
| E_{STOR} [ml] | 114,3 | 31,7 | 63,71 | 171,4 | 0,204 | -1,034 |

| | AS | SD | MIN | MAX | SKEW | KURT |
|-----------------------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|
| E_{STOR} [ml/kg] | 2,3 | 0,0 | 2,2 | 2,3 | -5,292 | 28,000 |
| E_{EXE} [ml] | 3983,6 | 1051,8 | 2307,2 | 6154,0 | 0,561 | -0,459 |
| E_{EXE} [ml/kg] | 79,1 | 13,1 | 54,3 | 103,6 | 0,337 | -0,587 |
| E_{TOT} [ml] | 6208,2 | 1643,5 | 3785,2 | 8968,3 | 0,298 | -1,120 |
| E_{TOT} [ml/kg] | 122,1 | 12,1 | 96,6 | 143,2 | 0,081 | -0,773 |
| Delež E_{LA} [%] | 19,4 | 4,7 | 10,1 | 27,2 | -0,166 | -0,761 |
| Delež E_{AL} [%] | 14,3 | 1,5 | 10,9 | 17,0 | -0,158 | -0,316 |
| Delež E_{AN} [%] | 33,6 | 5,4 | 22,5 | 42,7 | -0,288 | -0,815 |
| Delež E_{STOR} [%] | 1,9 | 0,2 | 1,6 | 2,4 | 0,378 | -0,025 |
| Delež E_{EXE} [%] | 64,5 | 5,5 | 55,2 | 75,8 | 0,286 | -0,794 |
| Delež E_{AE} [%] | 66,4 | 5,4 | 57,3 | 77,5 | 0,288 | -0,815 |

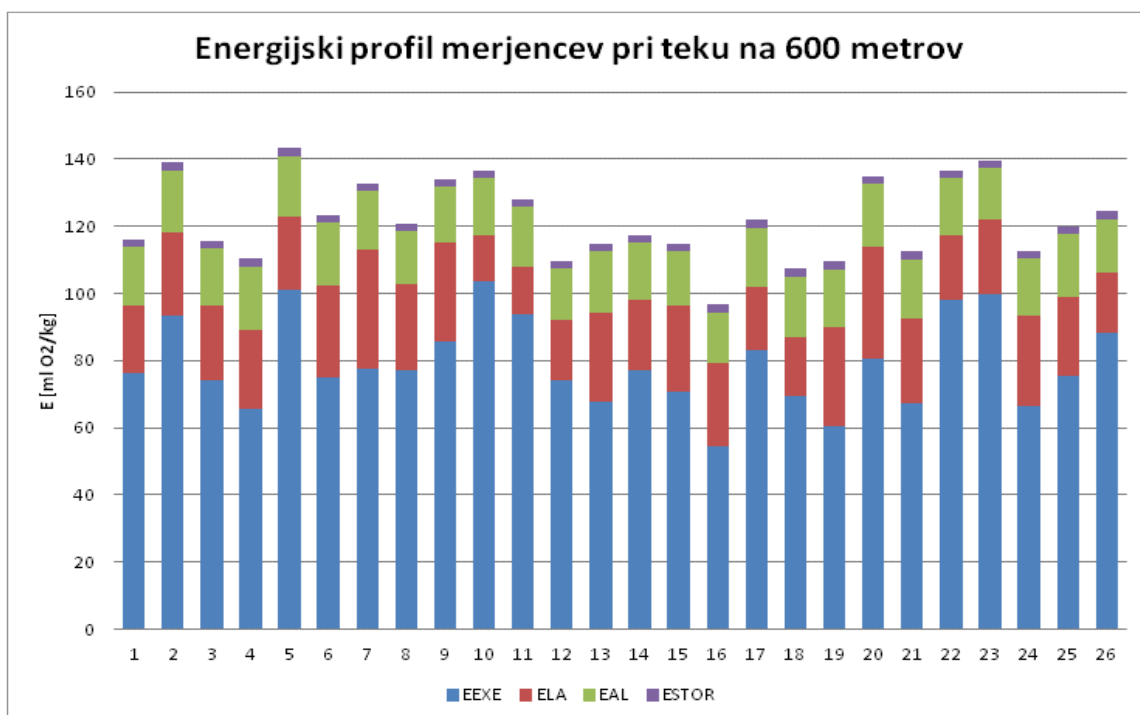
Poraba iz anaerobnega laktatnega vira (E_{LA}) med tekom na 600 metrov je znašala $23,2 \pm 5,3$ ml/kg telesne mase, iz anaerobnega alaktatnega vira (E_{AL}) $17,3 \pm 1,0$ ml/kg, iz aerobne rezerve (E_{STOR}) $2,3 \pm 0,0$ ter iz aerobnega transportnega vira (E_{EXE}) $79,1 \pm 13,1$ ml/kg. Skupna poraba je znašala $122,1 \pm 12,1$ ml/kg telesne teže oziroma $0,203 \pm 0,2$ ml O_2 /kg/m teka. Poraba energije na meter pretečene razdalje v teku na 800 m pri odraslih moških znaša od $0,205$ do $0,211$ ml/kg/m, pri ženskah pa $0,176$ ml/kg/m (Lacour idr., 1990; Duffield idr., 2003).

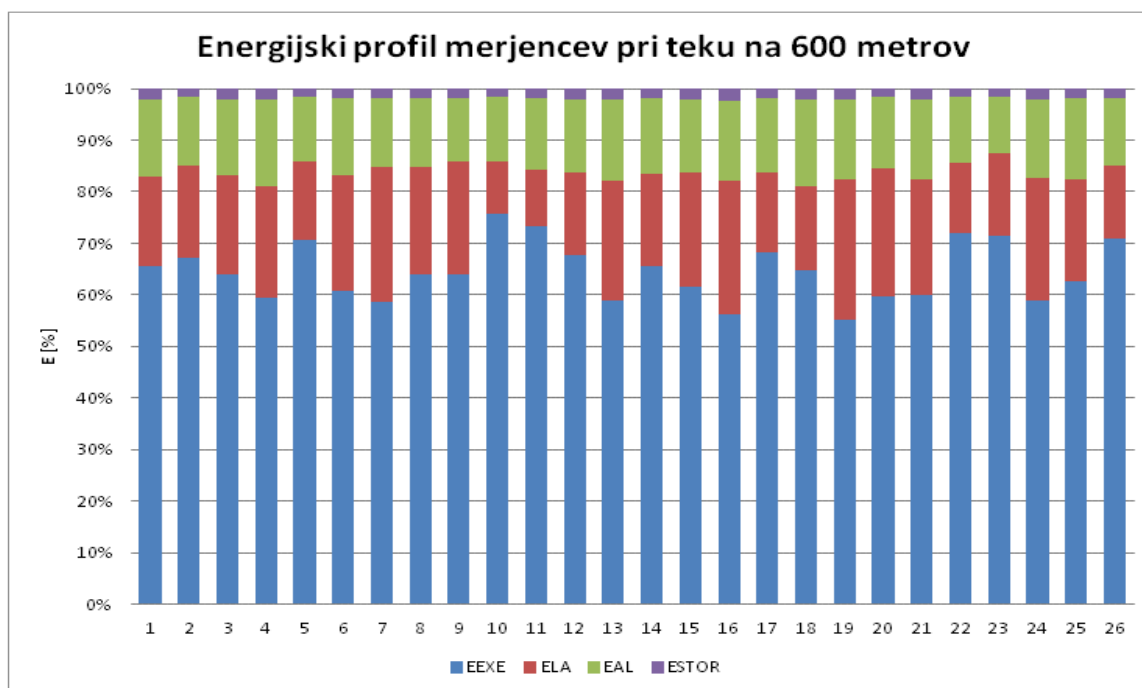
Odstotkovni delež anaerobnega laktatnega vira je znašal $19,4 \pm 4,7$ %, anaerobnega alaktatnega vira pa $14,3 \pm 1,5$ %. Skupni delež anaerobnega sistema je tako $33,6 \pm 5,4$ % na 600 m dolgem testu. Delež zalog O_2 v mišici je $1,9 \pm 0,2$ %, aerobnega transportnega vira pa $64,5 \pm 5,5$ %. Skupni aerobni delež tako znaša $66,4 \pm 5,4$ %. Podobnih meritev med otroki na isti razdalji v literaturi ne zasledimo, najbližje temu so vsaj po trajanju teka meritve na populaciji odraslih na razdalji 800 m. Študije kažejo, da na 800-metrski razdalji, ki jo odrasli tekači in tekačice pretečejo v 104 do 156 s, znaša aerobni delež 52 do 81 % (Spencer in Gastin, 2001; Lacour idr., 1990; Weyand, 1993; di Prampero, 1993; Hill, 1999; Duffield in Dawson, 2003; Ward Smith, 1985). Rezultati naše raziskave torej padejo v sicer razmeroma širok razpon podatkov za vključenost aerobnega energijskega vira. Pri primerjavah smo pozorni tudi na različne metode določanja energijskih deležev. Naši študiji najbolj podoben protokol so uporabili Hill (1999), Lacour (1990) in Duffield in Dawson (2003). Anaerobni

delež 104 sekundnega teka elitnih tekačev je znašal 41 % (Lacour, 1990), pri slabše treniranih, ki so za isto razdaljo porabili 126 s pa 37 % (Duffield in Dawson, 2003). Anaerobni delež v naši študiji je nižji le za nekaj odstotkov.

Opazna je razmeroma velika razpršenost podatkov za parametra E_{LA} in E_{EXE} . Najmanjša dosežena vrednost anaerobnega laktatnega vira (13,8 ml/kg) je bila za 61 % manjša od največje (35,1 ml/kg), najmanjša vrednost aerobnega transportnega sistema (54,3 ml/kg) pa za 48 % manjša od največje (103,6 ml/kg). Na drugi strani so mere razpršenosti za druga dva energijska sistema, anaerobni alaktatni in aerobni rezervni, zelo majhne. Iz tega sklepamo, da so si merjenci veliko bolj podobni v alaktatnih kot pa laktatnih sposobnostih. Kot navaja literatura so zaloge kreatinfosfata podobne pri otrocih in odraslih, in kot kaže kreatinfosfatna obnova energije ni omejitveni dejavnik pri otrocih pred puberteto. Viri celo navajajo, da je obnova CP pri otrocih hitrejša kot pri odraslih (Ratel idr., 2002).

Raznolikost v energijskih profilih med tekom na 600 m med merjenci prikazuje slika 10. Poleg razlik v skupni porabi opazimo razlike predvsem v aerobnem transportnem in anaerobnem laktatnem sistemu.





Slika 10 Energijski profili (E_{EXE} : poraba kisika iz aerobnega transportnega vira E_{LA} : poraba energije iz anaerobnega laktatnega vira, E_{AL} : poraba iz anaerobnega alaktatnega vira; E_{STOR} : poraba iz kisikovih zalog) merjencev v teku na 600 m (zgoraj: poraba v ml/kg, spodaj: deleži v %).

7.2 Energijski profil pri teku na 600 m glede na starost

Rezultati (aritmetična sredina \pm standardni odklon) primerjave parametrov energetske oskrbe med tekom na 600 m med skupinama različne starosti so predstavljeni v preglednici 10.

Preglednica 10 Razlike med skupinama mlajših in starejših v parametrih energetske oskrbe pri teku na 600 m ($AS \pm SD$).

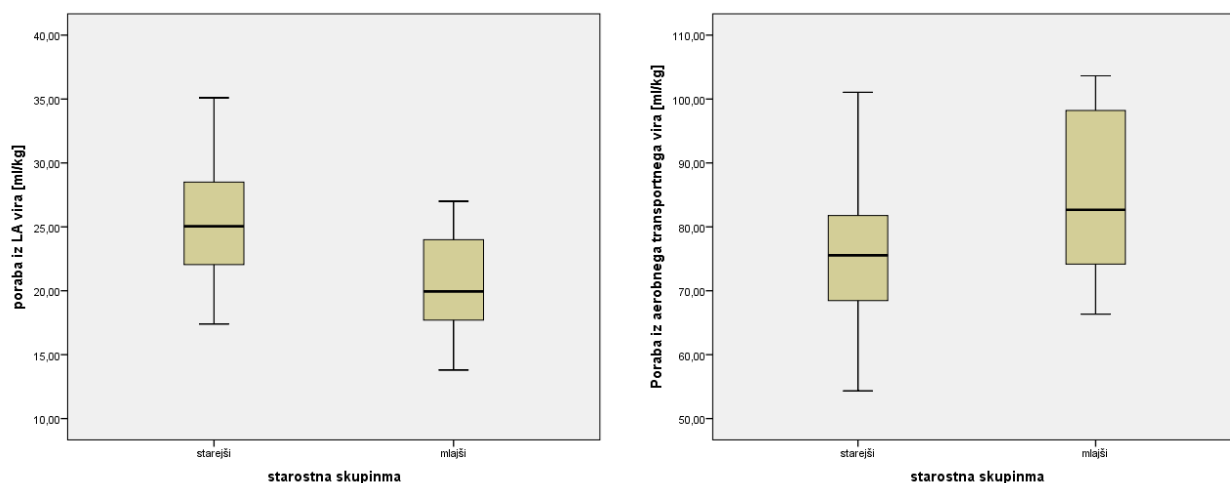
| | Mlajši n = 12 | Starejši n = 16 | Razlike v % (od vrednosti starejših) | p |
|----------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------------|--------------|
| starost | 10,6 \pm 0,6 | 14,2 \pm 0,6 | | |
| TM [kg] | 36,8 \pm 5,2 | 59,5 \pm 9,1 | 38,2 | 0,000 |
| Rezultat (s) | 150,4 \pm 15,0 | 130,7 \pm 11,1 | 15,1 | 0,000 |
| V_{600} [m/s] | 4,0 \pm 0,4 | 4,6 \pm 0,4 | 13,0 | 0,001 |
| v_{max} [m/s] | 6,2 \pm 0,4 | 7,1 \pm 0,6 | 14,5 | 0,000 |
| v_{600}/v_{max} [% v_{max}] | 65,4 \pm 5,8 | 65,3 \pm 4,4 | 0,0 | 0,979 |
| VO_{2max} [ml/kg/min] | 47,3 \pm 8,2 | 46,6 \pm 8,1 | 1,5 | 0,823 |

| | Mlajši n = 12 | Starejši n = 16 | Razlike v % (od vrednosti starejših) | p |
|---|----------------------|------------------------|---|--------------|
| Int [% VO _{2max}] | 111,4 ± 13,8 | 120,4 ± 19,2 | 7,5 | 0,237 |
| VO _{2max600} /VO _{2max} | 0,92 ± 0,1 | 0,97 ± 0,1 | 5,2 | 0,398 |
| ΔLA [mmol/l] | 6,8 ± 1,5 | 8,4 ± 1,6 | 19,0 | 0,012 |
| E _{TOT} [ml/kg] | 124,1 ± 10,8 | 121,0 ± 13,0 | 2,6 | 0,514 |
| E _{EXE} [ml/kg] | 84,4 ± 13,9 | 75,7 ± 11,7 | 11,5 | 0,101 |
| E _{LA} [ml/kg] | 20,5 ± 4,5 | 25,3 ± 4,9 | 19,0 | 0,012 |
| E _{AL} [ml/kg] | 17,1 ± 1,0 | 17,4 ± 1,0 | 1,7 | 0,418 |
| E _{STOR} [ml/kg] | 2,3 ± 0,0 | 2,3 ± 0,0 | 0,0 | 0,339 |
| Delež E _{LA} [%] | 16,6 ± 4,7 | 21,1 ± 3,9 | 21,3 | 0,015 |
| Delež E _{AL} [%] | 13,8 ± 1,6 | 14,5 ± 1,4 | 4,8 | 0,248 |
| Delež E _{AN} [%] | 30,5 ± 5,9 | 35,6 ± 4,2 | 14,3 | 0,015 |
| Delež E _{STOR} [%] | 1,9 ± 0,5 | 1,9 ± 0,5 | 0,0 | 0,417 |
| Delež E _{EXE} [%] | 67,7 ± 6,0 | 62,5 ± 4,3 | 8,3 | 0,016 |
| Delež E _{AE} [%] | 69,5 ± 5,9 | 64,4 ± 4,2 | 7,9 | 0,015 |

Skupina 14-letnih otrok je na razdalji 600 m dosegla čas $130,7 \pm 11,1$ s ($v = 4,6$ m/s), mlajša pa $150,4 \pm 15,0$ s ($v = 4,0$ m/s). Skupina 10-letnih otrok je tako v povprečju za 20 s (15,1 %) počasnejša od starejše ($p = 0,000$). Obe skupini sta tekli pri 65 % svoje maksimalne hitrosti.

Razlika med največjim laktatom po teku na 600 m in laktatom v mirovanju je pri mlajših učencih (6,8 mmol/l) za 19 % manjša od ΔLA pri starejših učencih (8,4 mmol/l). Posledično je poraba iz anaerobnega laktatnega energijskega vira pri starejših učencih statistično značilno višja ($p = 0,012$). Relativna vrednost skupine starejših otrok znaša $25,3 \pm 4,9$ ml/kg, pri mlajših pa $20,5 \pm 4,5$ ml/kg (slika 2, levo).

Vsebnost laktata v krvi po maksimalnem naporu je pri otrocih pred puberteto nižja kot pri skupini starejših otrok. Nižje izmerjene vrednosti so najverjetneje posledica kombinacije manjše tvorbe laktata in njegovega hitrejšega odstranjevanja iz krvi.

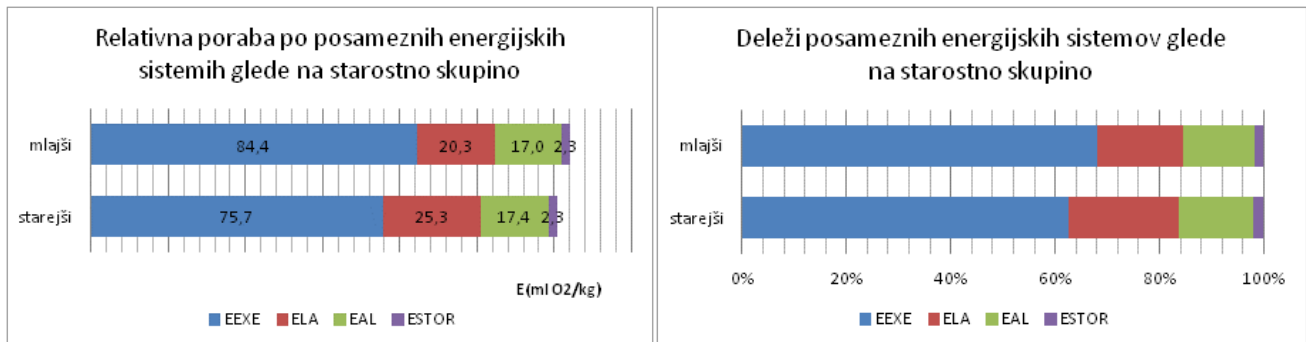


Slika 11 Primerjava porabe iz laktatnega energijskega vira (levo) in aerobnega transportnega vira (desno) v teku na 600 m med skupinama mlajših in starejših merjencev.

Pri ostalih energijskih sistemih ni statistično pomembnih razlik. Kljub temu opazimo, da imajo mlajši učenci za 11,5 % višjo porabo iz aerobnega transportnega vira (slika 11, desno). Razlika med skupinama v celotni porabi je majhna. Sklepamo, da zaradi časovno daljšega napora in manjše ekonomičnosti teka mlajši porabijo nekoliko več energije (124,1 ml/kg) kot starejši (121,0 ml/kg), in to predvsem iz aerobnega vira (slika 3, levo). Posledično manjše vrednosti glikolitičnega vira predstavljajo značilno nižji delež v večji skupni porabi mlajše skupine. Glikolitični delež je v skupini mlajših otrok za 21,3 % nižji od deleža starejših ($p = 0,015$). Delež aerobnega transportnega vira med otroki pred puberteto znaša 67,7 %, pri starejši skupini pa 62,5 %. Tako se statistično pomembne razlike med skupinama pojavijo tudi pri odstotkovnih deležih celotnega aerobnega in anaerobnega vira ($p = 0,015$), z višjim deležem aerobnega vira pri mlajših (69,5 %) in anaerobnega pri starejših (35,6 %) (slika 12, desno).

Zanimiva je primerjava teh deležev z deleži odraslih tekačev v raziskavi Duffield in Dawson (2003), kjer na razdalji 800 m moški tečejo 126 s in pri tem izmerimo (z metodo merjenja laktata) 37 % anaerobni delež. Ženske tečejo 152 s z 31 % anaerobnim deležem. Otroci v naši raziskavi na 200 m krajši razdalji tečejo 139,2 s, pri tem anaerobni delež znaša 33,6 %. Rezultat mlajše skupine tako po času (150 s) kot po anaerobnem deležu (30,4 %) ustreza rezultatu žensk na 800 m. Čas teka in deleži energijskih deležev starejše skupine (130,7 s; 35,6 %) pa so podobni rezultatom moških v raziskavi Duffield in Dawson. Merjenci so v raziskavi Hill precej hitrejši v teku na 800 m in dosegajo tudi večji anaerobni delež (42 %

moški, 38 % ženske). Kot smo omenili gre za raziskave, ki so z našo študijo povsem primerljive po metodah merjenja in izračuna energijskih deležev. Na podlagi teh primerjav tako ne moremo trditi, da otroci dosegajo višji aerobni delež v teku podobnega trajanja, bi pa to najverjetneje dokazali v primerjavah teka na enaki razdalji, kot smo to pokazali s primerjavo energijskih deležev mlajše in starejše skupine v teku na 600 m. Boljše laktatne sposobnosti starejšim omogočajo boljši rezultat teka in hkrati višji anaerobni delež.



Slika 12 Primerjava relativne porabe (levo) in deležev (desno) po posameznih energijskih sistemih v teku na 600 m med skupino 10- in 14-letnih otrok.

Maksimalna poraba kisika izmerjena med stopnjevalnim testom na tekoči preprogi je bila pri mlajši skupini 46,6 ml/min/kg, pri starejši pa 47,8 ml/min/kg. Celotna energijska poraba med tekom na 600 m je v starejši skupini za 20 %, v mlajši pa za 11 % višja od nivoja njihove največje aerobne sposobnosti. Pri tem starejši dosežejo 97 % in mlajši 92 % svoje največje aerobne moči. Razlika je statistično neznačilna.

Statistično značilen višji delež aerobne energije v teku na 600 m pri mlajši skupini potrjuje znano dejstvo, da so otroci v predpubertetnem obdobju aerobni tipi (Škof, 2007). Primerjava mlajši – starejši otroci je podobna primerjavi dolgoprogašev – sprinterjev, saj mlajši tako kot dolgoprogaši tečejo na aerobni vir. 42,7 % poraba energije iz anaerobnega vira je izrazito anaerobni profil teka na 600 m enega od starejših učencev, 22,5 % pa predstavlja drugi ekstrem, ki mu lahko pripišemo aerobni profil in pripada učencu iz mlajše skupine. Lahko tudi trdimo, da otroci pred puberteto ne dosegajo nivoja razvitosti anaerobnega laktatnega sistema otrok v puberteti. Tesch idr. (1978) navajajo, da je akumulacija laktata v krvi povezana z deležem hitrih mišičnih vlaken (tip II). Hitra mišična vlakna so tudi potencial za višjo doseženo hitrost v teku na 20 m z letočim startom in v teku na 600 m. To pomeni, da starejši merjenci, ki so statistično značilno hitrejši, in z večjo rekrutacijo hitrih mišičnih

vlaklen dosežejo značilno višjo vsebnost laktata v krvi kot mlajši, čeprav tečejo na podobnem odstotku VO_{2max} .

Starejšim otrokom relativno dobro razvit anaerobni laktatni sistem omogoči veliko hitrost teka že v samem začetku 600-metrške preizkušnje. Predvidevamo, da starejši tudi v drugem delu teka, ko poraba kisika že naraste blizu nivoja največje aerobne moči (ta se med skupinama ne razlikuje), še vedno večji del v primerjavi z mlajšimi črpajo iz anaerobnih virov, saj prej presežejo anaerobni prag. Znano je, da imajo otroci pred puberteto anaerobni prag glede na % VO_{2max} na višjem nivoju kot starejši otroci in odrasli (Škof, 2007).

Kvalitativne in kvantitativne spremembe organskih sistemov, biokemijske, fiziološke spremembe, ki so del rasti in zorenja v času razvoja, se v primerjavi skupine otrok v poznem otroštvu in skupine otrok v puberteti kažejo v različni telesni, mišični masi, višini, porabi iz glikolitičnega vira in ne nazadnje v rezultatu teka na 600 m.

7.3 Korelacijska analiza

S korelacijo odkrivamo povezanost parametrov energijske oskrbe ter drugih fizioloških parametrov tekaške učinkovitosti z rezultatom v teku na 600 m.

Rezultati označeni z */** pomenijo:

* statistično značilna povezanost pri stopnji 0,05

** statistično značilna povezanost pri stopnji 0,01

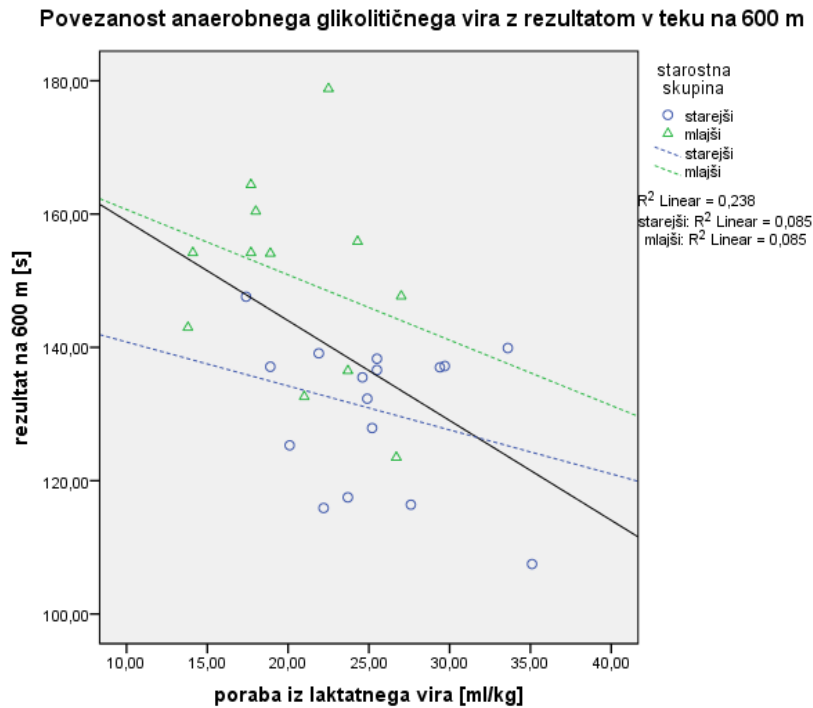
Preglednica 11 Pearsonov koeficient korelacije (r) med parametri energijske oskrbe (relativna poraba, absolutna poraba in odstotkovni deleži) in rezultatom v teku na 600m.

| | Pearsonov koeficient korelacije (r) za rezultat v teku na 600 m | | | | |
|------------|---|-------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|
| | Relativna poraba (ml/kg) | | | Absolutna poraba (ml) | Deleži (%) |
| | Celoten vzorec | Skupina starejših | Skupina mlajših | | |
| E_{LA} | -0,488** | -0,291 | -0,292 | -0,597** | -0,525** |
| E_{AL} | -0,441* | -0,174 | -0,723** | -0,586** | -0,473* |
| E_{STOR} | 0,080 | 0,080 | 0,375 | -0,527** | -0,201 |
| E_{EXE} | 0,447* | 0,166 | 0,500 | -0,226 | 0,575** |
| E_{AN} | -0,548** | -0,322 | -0,426 | -0,615** | -0,580** |
| E_{AE} | 0,447* | 0,166 | 0,501 | -0,234 | 0,580** |
| E_{TOT} | 0,229 | 0,027 | 0,425 | -0,390* | / |

Pearsonovi koeficienti korelacije za parametre energijske oskrbe so zbrani v preglednici 11. Najmočnejšo povezanost z rezultatom v teku na 600 m imajo parametri anaerobnega energijskega sistema. Spremenljivka absolutne porabe iz glikolitičnega vira je srednje močno negativno povezana z rezultati v teku ($r = -0,597$, $p = 0,001$), podobno tudi relativne vrednosti iz glikolitičnega vira ($r = -0,488$, $p = 0,008$), ter delež anaerobnega glikolitičnega vira ($r = -0,525$, $p = 0,006$). Večja poraba iz glikolitičnega vira torej pomeni boljši rezultat v teku na 600 m.

Na sliki 13 lahko vidimo povezanost porabe iz glikolitičnega vira z rezultatom v teku za vsakega merjenca. Tudi tu se pokaže, da večji delež energije iz laktatnega vira pomeni boljši rezultat v teku na 600 m. Merjenec z največjo porabo iz anaerobnega glikolitičnega vira

(35,1 ml/kg) je bil najuspešnejši v teku na 600 m ($t = 107,5$ s). Iz strmine premic vidimo, da je povezanost tudi znotraj skupin po starosti negativna, vendar statistično neznačilna in šibkejša kot povezanost na celotnem vzorcu (starejši $r = -0,291$, $p > 0,05$; mlajši $r = -0,292$, $p > 0,05$).



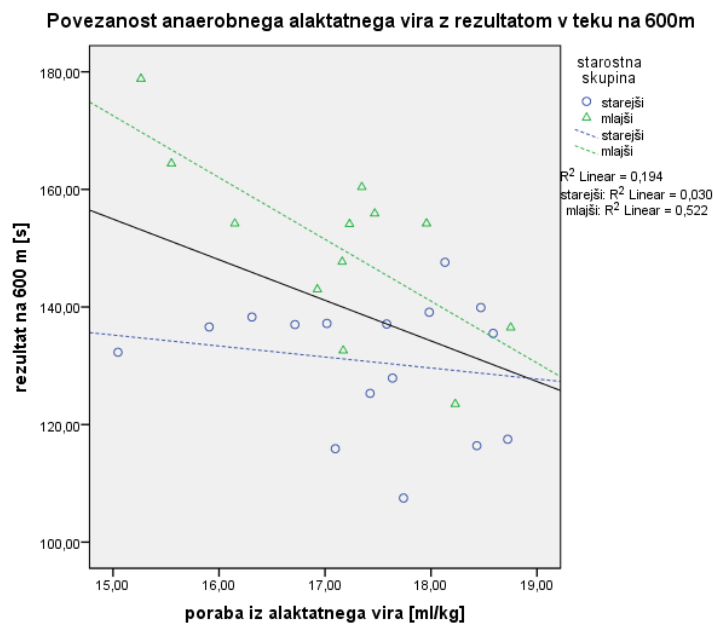
Slika 13 Razsevni grafikon povezanosti anaerobnega glikolitičnega vira in rezultata v teku na 600 m za celoten vzorec in za skupini glede na starost.

V korelacijski matriki (preglednica 12) opazimo tudi ostale pričakovane povezave s porabo iz anaerobnega laktatnega vira. E_{LA} je pozitivno povezan s starostjo ($r = 0,423$) in ostalimi spremenljivkami, ki so neposredno povezane z rastjo, tj. telesna višina ($r = 0,399$), telesna masa ($r = 0,393$) in mišična masa ($r = 0,402$), ne pa tudi z maščobno maso.

Preglednica 12 Korelacijska matrika morfoloških spremenljivk, relativnih parametrov energijske porabe, opazovanih parametrov tekaške učinkovitosti (VO_{2max} , $CO_{2presezek}$) in rezultata v teku na 600 m.

| | t_{600} | starost | v_{600} | v_{max} | AMIS | AMAS | TM | TV | E_{LA} | E_{AL} | E_{STOR} | E_{EXE} | E_{TOT} | $CO_{2pres.}$ | $CO_{2pres.r}$ |
|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------|------------|----------------|-----------|----------------|----------------|
| t_{600} | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| starost | -0,638** | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| v_{600} | -0,988** | 0,610** | 1 | | | | | | | | | | | | |
| v_{max} | -0,754** | 0,627** | 0,766** | 1 | | | | | | | | | | | |
| AMIS | -0,586** | 0,857** | 0,567** | 0,591** | 1 | | | | | | | | | | |
| AMAS | 0,042 | 0,569** | -0,069 | 0,042 | 0,576** | 1 | | | | | | | | | |
| TM | -0,530** | 0,868** | 0,513** | 0,531** | 0,974** | 0,693** | 1 | | | | | | | | |
| TV | 0,725** | 0,888** | 0,702** | 0,634** | 0,912** | 0,505** | 0,908** | 1 | | | | | | | |
| E_{LA} | -0,488** | 0,423* | 0,508** | 0,270 | 0,402* | 0,333 | 0,393* | 0,399* | 1 | | | | | | |
| E_{AL} | -0,441* | 0,147 | 0,414* | 0,403* | 0,303 | -0,385* | 0,087 | 0,226 | 0,155 | 1 | | | | | |
| E_{STOR} | 0,080 | 0,181 | -0,059 | 0,107 | 0,150 | 0,176 | 0,153 | 0,098 | 0,084 | 0,022 | 1 | | | | |
| E_{EXE} | 0,447* | -0,459* | -0,429* | -0,418* | -0,305 | -0,409* | -0,346 | -0,430* | -0,414* | 0,029 | 0,320 | 1 | | | |
| E_{TOT} | 0,229 | -0,289 | -0,203 | -0,305 | -0,123 | -0,334 | -0,191 | -0,263 | 0,009 | 0,190 | 0,078 | 0,903** | 1 | | |
| $CO_{2pres.}$ | -0,465* | 0,455* | 0,410 | 0,187 | 0,615** | 0,099 | 0,584** | 0,566** | 0,254 | 0,279 | -0,045 | 0,143 | 0,302 | 1 | |
| $CO_{2pres.r}$ | -0,401 | 0,056 | 0,339 | -0,017 | 0,129 | -0,296 | 0,073 | 0,189 | 0,091 | 0,304 | -0,264 | 0,177 | 0,264 | 0,823** | 1 |
| VO_{2max} | -0,535** | 0,006 | 0,558** | 0,364 | 0,016 | -0,526** | -0,014 | 0,092 | -0,015 | 0,212 | -0,149 | 0,115 | 0,132 | 0,409 | 0,602** |

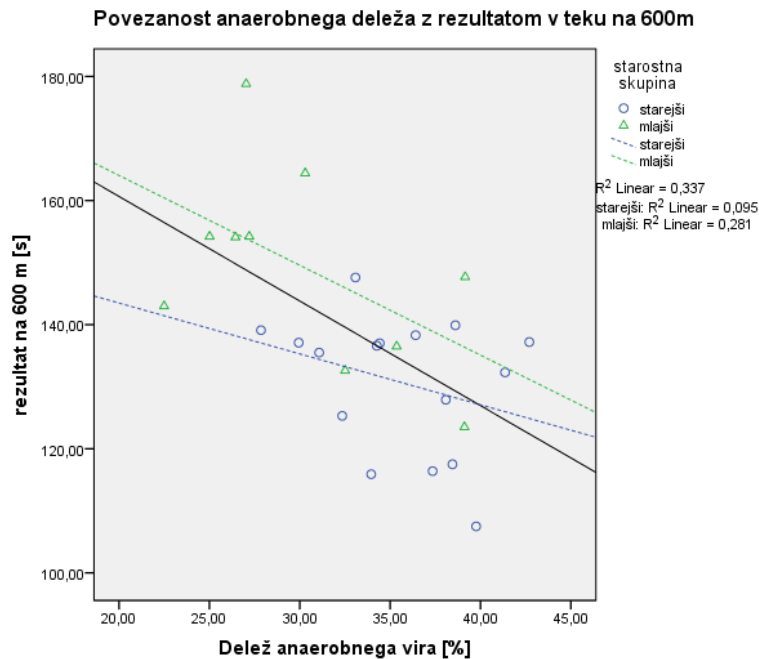
Spremenljivke porabe iz anaerobnega alaktatnega vira so negativno povezane z rezultatom v teku na 600 m. Spremenljivka absolutne porabe je srednje močno negativno povezana z rezultati v teku ($r = -0,586$, $p = 0,001$). Šibkejša je povezanost z relativnimi vrednostmi porabe iz alaktatnega vira ($r = -0,441$, $p = 0,019$). Povezanost z deležem anaerobnega alaktatnega vira znaša $-0,473$ ($p = 0,015$). Večji anaerobni alaktatni delež torej pomeni boljši rezultat v teku na 600 m. Negativno povezanost lahko vidimo tudi na sliki 14. Povezanost za mlajšo skupino je po moči visoka, Pearsonov koeficient korelacije znaša $-0,723$ ($p = 0,008$). Najslabši rezultat v teku na 600 m (178,8 s) je dosegel prav učenec z najmanjšo porabo iz alaktatnega energijskega vira (15,26 ml/kg). Ker je E_{AL} izračunan kot produkt deleža mišične mase in kreatinfosfatnega ekvivalenta, je delež mišične mase pomemben faktor uspešnosti v teku na 600 m v skupini mlajših otrok. Večji je ta delež, bolj uspešni so v testnem teku na 600 m. Različni deleži mišične mase so posledica različne biološke starosti v tej skupini. Med starejšo skupino merjencev je povezanost prav tako negativna, vendar je neznatna in statistično neznačilna ($r = -0,174$, $p = 0,518$).



Slika 14 Razpršenost podatkov rezultata na 600 m glede na relativno porabo iz kreatinfosfatnega vira, s pripadajočimi premicami za celoten vzorec ter za skupini merjencev po starosti.

Poraba iz alaktatnega vira je negativno povezana z maščobno maso ($r = -0,385$) in pričakovano pozitivno z največjo hitrostjo v teku na 20 m z letečim startom ($r = 0,403$), neodvisen je od starosti ($r = 0,147$) in starostno odvisnih spremenljivk: telesna, mišična masa in telesna višina.

Zaradi povezanosti obeh anaerobnih energijskih virov z uspešnostjo v teku na 600 m je pričakovana tudi srednje močna negativna povezanost za celoten anaerobni sistem (laktatni in alaktatni). Slika 15 prikazuje povezanost deleža anaerobnega energijskega vira z rezultatom v teku. Vidimo, da je za celoten vzorec premica bolj strma ($r = -0,559$) kot za posamezni skupini, kar pomeni močnejšo povezanost na celotnem vzorcu.

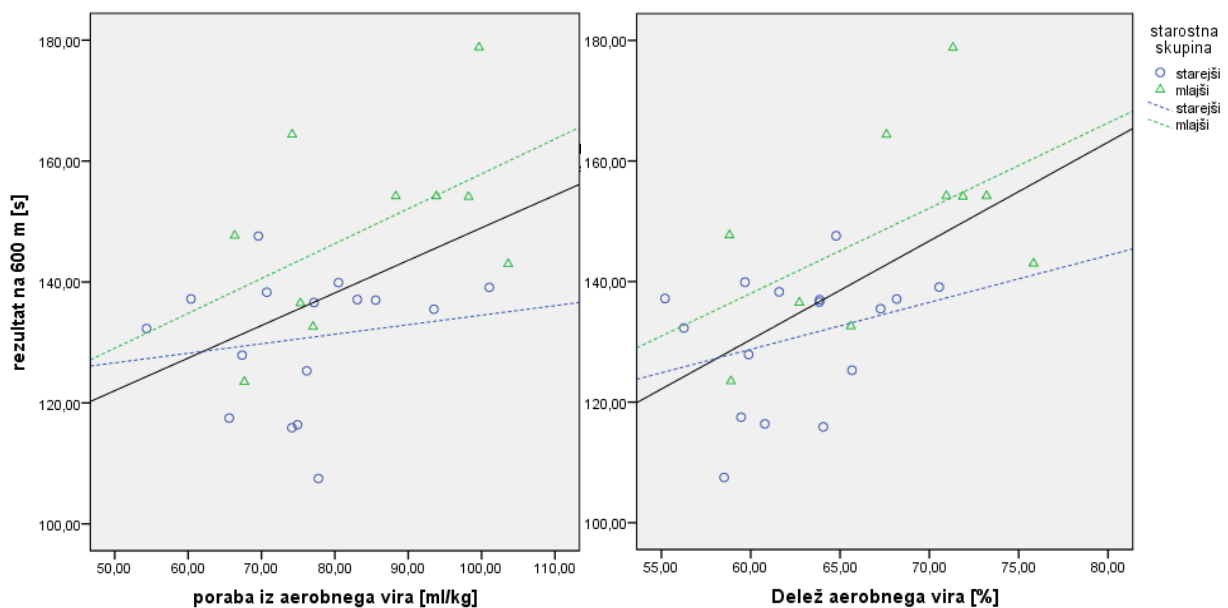


Slika 15 Povezanost deleža anaerobnega energijskega sistema z rezultatom v teku na 600 m.

Študije kažejo, da je povezanost porabe iz anaerobnega energijskega vira in rezultati v teku na 400 do 800 m negativna in visoka. Po Zouhal idr. (2010) je povezanost kisikovega deficita, ki predstavlja energijo iz anaerobnega vira, z rezultatom v teku na 400 m močno negativna ($r = -0,88$). Lacour idr. (1990) so v svoji študiji ugotovili močno pozitivno povezanost največjega laktata po teku in povprečne hitrosti teka na 400 ($r = 0,89$) in 800 m ($r = 0,71$). Podobne rezultate so dobili Duffield idr. (2005). Poraba iz anaerobnih energijskih virov (LA + CP) je značilno negativno povezana z rezultatom teka na 800 m pri moških ($r = -0,77$) in 400 m pri ženskah ($r = -0,87$). V teku na smučeh je povezanost kisikovega deficita z rezultatom teka na 600 m srednje negativna ($r = -0,640$) (Losnegard idr., 2012). Vsebnost laktata v krvi po teku na 3 km je pri 14-letnikih znašala $8,3 \pm 3,2$ mmol/l in je bila negativno povezana s časom teka ($r = -0,73$, $p = 0,02$) (Malison idr., 2004). Jakost povezanosti je v naši študiji sicer nekoliko šibkejša, vendar je potrebno poudariti, da vse starejše študije merijo odrasle trenirane tekače in tekačice. Rezultati nedvomno kažejo, da je sposobnost porabe

energije iz anaerobnih virov (anaerobna kapaciteta) direktno povezana z visoko intenzivnostjo tekaškega nastopa tudi med otroki.

Relativna poraba kisika iz aerobnega transportnega vira je pozitivno povezana z rezultati v teku na 600 m ($r = 0,447$, $p = 0,022$), kot tudi odstotkovni delež aerobnega vira ($p = 0,575$, $r = 0,002$). Večji aerobni delež torej pomeni slabši rezultat v teku na 600 m, kar pokaže tudi razpršenost podatkov na razsevnem grafikonu povezanosti deleža aerobnega vira z rezultatom v teku na 600 m (slika 16).

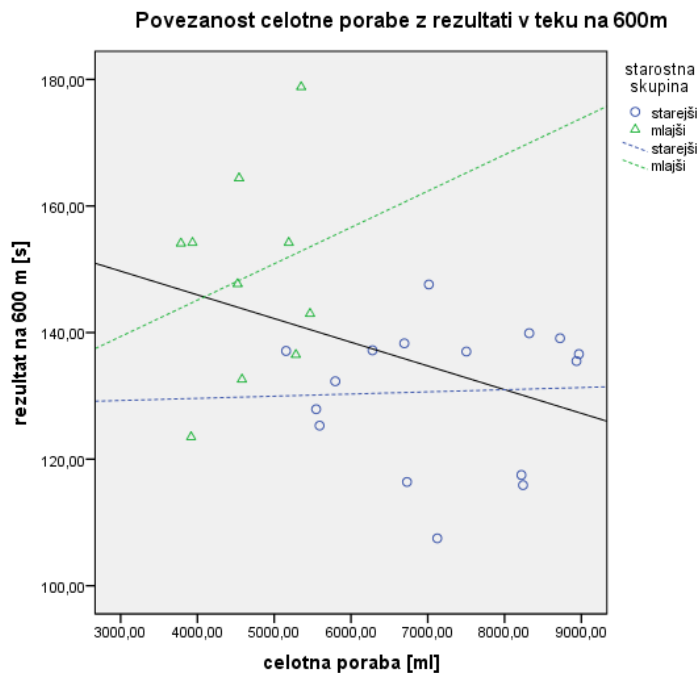


Slika 16 Povezanost rezultata v teku na 600 m z relativno porabo iz aerobnega vira (levo) in z deležem aerobnega vira (desno).

E_{EXE} je negativno povezan z maksimalno hitrostjo ($r = -0,418$), z maščobno maso ($r = -0,409$) in telesno višino ($r = -0,430$).

Celotna absolutna poraba med tekom je šibko negativno povezana ($r = -0,390$, $p = 0,049$) z rezultatom. V celoti gledano imajo hitrejši učenci večjo celotno porabo energije, vendar se na razsevnem grafikonu (slika 17) pokaže, da povezanost na celotnem vzorcu nastane zaradi dveh različnih skupin. Mlajša skupina je namreč skoncentrirana v levem zgornjem kotu, kar pomeni nižjo celotno porabo (manjša telesna masa) in hkrati slabši rezultat, točke, ki pripadajo starejši skupini, pa so razpršene v desnem spodnjem kotu, saj so starejši hitrejši v teku in imajo hkrati večjo celotno porabo. Parameter je močno odvisen od starosti ($r = 0,740$, $p = 0,000$) in posledično telesne mase ($r = 0,927$, $p = 0,000$), zato so za analizo veliko

primernejše relativne vrednosti, ki pa niso statistično značilno povezane z rezultatom v teku na 600 m ($r = 0,229$, $p = 0,261$).



Slika 17 Povezanost celotne porabe med tekom in rezultati v teku na 600 m.

Poraba iz aerobnega transportnega sistema je negativno povezana s porabo iz glikolitičnega sistema ($r = -0,414$, $p = 0,035$). Posameznik z visoko porabo iz glikolitičnega vira ima torej nižjo porabo iz aerobnega transportnega vira. Povezanost je še močnejša znotraj mlajše skupine ($r = -0,708$, $p = 0,022$). Merjenec, ki je dosegel največjo porabo iz laktatnega vira (27 ml/kg) je imel hkrati najmanjšo porabo iz aerobnega transportnega vira (66,35 ml/kg). Med merjenci starejše skupine povezanosti ni. Pokaže se, da je delež anaerobne glikolitične presnove v energijski oskrbi visoko intenzivne obremenitve in s tem vsebnost laktata v krvi po obremenitvi odvisna tudi od aerobne presnove. Ratel idr. (2002) so dokazali, da učinkovitejša aerobna presnova pomeni manjšo potrebo po anaerobni obnovi energije. Otroci, ki imajo višjo dejavnost aerobnih encimov in zato boljše aerobno presnovo, manj izkoriščajo glikolitične procese. Hkrati boljše aerobna presnova pomeni hitrejše odstranjevanje laktata iz krvi. Zato so vrednosti laktata v krvi med in po obremenitvah pri otrocih nižje kot pri odraslih. Poraba iz glikolitičnega vira med tekom na 600 m je sicer neodvisna od VO_{2max} .

V naporih, ki so podobni teku na 600 m, so tudi med otroki uspešnejši tisti, ki bolj in boljje izkoriščajo glikolitične procese. Velika hitrost, intenzivnost teka namreč zahteva veliko moč, ki jo zagotavlja glikolitični vir.

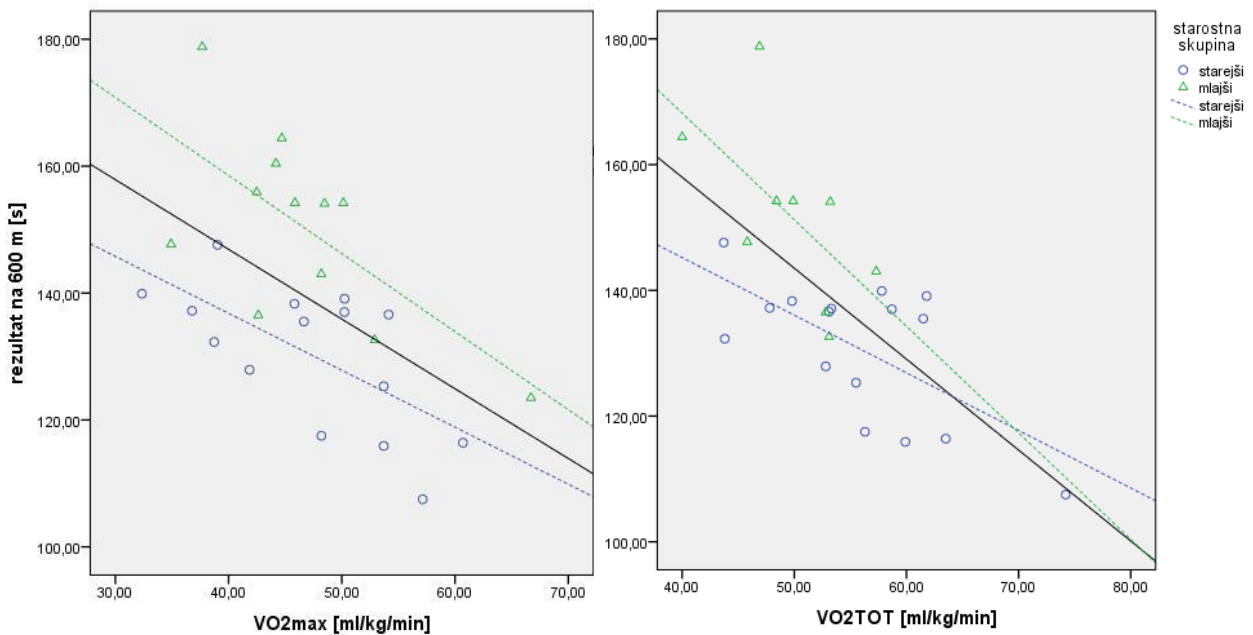
Preglednica 13 Povezanost fizioloških parametrov tekaške učinkovitosti

| | Povezanost z rezultatom v teku na 600 m | | |
|---|---|----------------------|--------------------|
| | za celoten vzorec | za skupino starejših | za skupino mlajših |
| VO_{2max} [ml/kg/min] | -0,535** | -0,644** | -0,665* |
| VO_{2max600} [ml/kg/min] | -0,602** | -0,730** | -0,451 |
| VO_{2TOT} [ml/kg/min] | -0,680** | -0,642** | -0,680* |
| CO₂presežek [ml] | -0,465* | 0,130 | -0,832* |
| CO₂presežek [ml/kg] | -0,401 | 0,132 | -0,856* |

Preglednica 13 vsebuje koeficiente povezanosti štirih fizioloških parametrov z rezultati v teku na 600 m. VO_{2max} je srednje močno negativno povezan z rezultatom teka na 600 m in je poleg VO_{2TOT} edini parameter, ki je statistično značilno povezan z rezultatom v teku tako na celotnem vzorcu ($r = -0,535$) kot tudi za skupini mlajših ($r = -0,665$) in starejših merjencev ($r = -0,644$) (slika 18, levo). Aerobna moč sicer velja za glavni pokazatelj uspešnosti v vzdržljivostnem teku. Tudi na našem vzorcu se pokaže, da so uspešnejši merjenci z višjo VO_{2max}. Pri skupini starejših ter na celotnem vzorcu je največja poraba kisika izmerjena direktno med terenskim testom v teku na 600 m še močneje povezana z rezultatom v teku.

Če celotna poraba energije relativno na celoten tek (E_{TOT}) ni povezana z rezultatom teka, pa je celotna poraba na minuto (VO_{2TOT}) srednje močno negativno povezana z rezultati teka tako za celoten vzorec ($r = -0,680$, $p < 0,01$), kot za skupini starejših ($r = -0,642$, $p < 0,01$) in mlajših otrok ($r = -0,680$, $p < 0,05$). Parameter porabe na minuto nam da popolnoma drugačen podatek kot parameter porabe za celoten tek. Ker gre za porabo energije na minuto časa, nam pove koliko energije je posameznik sposoben ustvariti in porabiti v enoti časa, torej pomeni moč celotnega energijskega metabolizma v teku na 600 m. Največja relativna poraba kisika na minuto nam da informacijo le o aerobnem metabolizmu, relativna celotna poraba na minuto pa vključuje tudi anaerobni metabolizem, tj. energijo nad nivojem VO_{2max}. Otroci, ki

lahko v istem času proizvedejo več energije, bodo na 600 m tekli hitreje od učencev, ki v minuti časa proizvedejo manj energije (slika 18, desno).



Slika 18 Povezanost maksimalne porabe kisika na tekoči preprogi (levo) in celotne porabe energije na minuto (desno) z rezultati teka na 600 m.

Med parametri metabolične funkcije, ki kažejo vključenost anaerobnega laktatnega energijskega sistema ter delovanje puferskega sistema je tudi količina izdihanega ogljikovega dioksida (CO_2). CO_2 je glavni odpadni produkt energetskega metabolizma in se izloča iz telesa pri dihanju. Povečano izločanje CO_2 nad vrednostmi največje porabe kisika je posledica povečanega anaerobnega metabolizma in povečane ventilacije zaradi nastale acidoze. Parameter $\text{CO}_{2\text{presežek}}$, ki predstavlja razliko med izdihanim CO_2 in porabljenim O_2 , je statistično značilno povezan z rezultatom teka na 600 m ($r = -0,465$, $p = 0,039$), vendar le absolutne vrednosti. Zanimiva je zelo visoka povezanost tako absolutnih kot relativnih vrednosti ($r = -0,832$, $r = 0,856$) v skupini mlajših merjencev. V starejši skupini povezanosti ni. $\text{CO}_{2\text{presežek}}$ je srednje močno pozitivno povezan s celotno porabo energije na minuto ($\text{VO}_{2\text{TOT}}$) ($r = 0,571$, $p = 0,013$) in z absolutno porabo iz laktatnega energijskega vira (E_{LA}) ($r = 0,531$, $p = 0,016$), kar potrjuje spoznanje o povezanosti izdihanega CO_2 in laktata v krvi. Parameter je tudi srednje močno negativno povezan z absolutno porabo iz aerobnega transportnega vira ($r = -0,630$, $p = 0,004$). Relativna vrednost $\text{CO}_{2\text{presežek}}$ je srednje močno pozitivno povezana z največjo porabo kisika ($r = 0,602$, $p = 0,006$). Parameter torej

predstavlja vsoto vplivov maksimalnega anaerobnega metabolizma nad porabo iz aerobnega metabolizma.

7.4 Regresijska analiza

Vpliv absolutnih parametrov porabe iz posameznega energijskega vira na rezultat v teku na 600 m

V test regresijske analize smo vključili parametre absolutne porabe iz vseh štirih energijskih virov: anaerobni laktatni energijski sistem (E_{LA}), anaerobni alaktatni energijski sistem (E_{AL}), mišične zaloge O_2 (E_{STOR}) in aerobni transportni sistem (E_{EXE}).

Preglednica 14 Povzetek modela iz izpisa regresijske analize vpliva absolutnih parametrov porabe iz vseh štirih energijskih virov na rezultat v teku na 600m

| Povzetek modela | | | | |
|-----------------|--------------------|----------------|----------------------------|-------------------|
| Model | R | R ² | Popravljeni R ² | Standardna napaka |
| 1 | 0,696 ^a | 0,484 | 0,386 | 12,35000 |

a. Prediktorji: (Konstanta), $E_{EXE}(A)$, $E_{LA}(A)$, $E_{AL}(A)$, $E_{STOR}(A)$

Iz izpisa regresijske analize je razviden odstotek (48,4 %) pojasnjene variance kriterijske spremenljivke (preglednica 14). Stopnja statistično značilne povezanosti preizkusa je 0,006, kar predstavlja značilno pomembnost modela izbranih spremenljivk. Statistično najpomembnejša spremenljivka znotraj izbranega modela je E_{AL} (Sig. = 0,026).

Rezultati regresijske analize (metoda Forward) pa pokažejo, da ima na rezultat v teku na 600 m največji vpliv anaerobni laktatni sistem ($F = 10,513$; $p = 0,003$). Ostale spremenljivke so bile izločene iz modela. E_{LA} sam pojasni 30,5 % variabilnosti kriterijske spremenljivke ($Beta = -0,552$; $p = 0,003$).

Vpliv relativnih parametrov porabe iz posameznega energijskega vira na rezultat v teku na 600m

V test regresijske analize vpliva relativnih parametrov smo vključili relativne vrednosti porabe iz vseh štirih energijskih virov: E_{LA} , E_{AL} , E_{STOR} in E_{EXE} .

Preglednica 15 Del izpisa regresijske analize vpliva relativnih parametrov porabe kisika iz vseh štirih energijskih virov na rezultat v teku na 600 m.

Povzetek modela

| Model | R | R ² | Popravljen R ² | Standardna napaka ocene |
|-------|--------------------|----------------|---------------------------|-------------------------|
| 1 | 0,712 ^a | 0,506 | 0,412 | 12,08516 |

a.Prediktorji: (Konstanta), $E_{EXE}(R)$, $E_{LA}(R)$, $E_{AL}(R)$, $E_{STOR}(R)$

Iz izpisa regresijske analize je razviden odstotek (51 %) pojasnjene variance kriterijske spremenljivke (preglednica 15). Stopnja statistično značilne povezanosti preizkusa je manjša od 0,05, in sicer 0,004, kar predstavlja značilno pomembnost modela izbranih spremenljivk. Statistično najpomembnejši spremenljivki znotraj izbranega modela sta poraba iz anaerobnega alaktatnega sistema (Sig. = 0,009) in aerobnega transportnega sistema (Sig. = 0,057).

Preglednica 16 Povzetek modela regresijske analize (metoda Forward) vpliva relativnih parametrov porabe iz energijskih virov na rezultata v teku na 600 m.

Povzetek modela

| Model | R | R ² | Popravljen R ² | Standardna napaka ocene |
|-------|--------------------|----------------|---------------------------|-------------------------|
| 1 | 0,482 ^a | 0,232 | 0,200 | 14,10092 |
| 2 | 0,631 ^b | 0,398 | 0,346 | 12,75124 |
| 3 | 0,706 ^c | 0,498 | 0,430 | 11,90097 |

Rezultati regresijske analize z metodo Forward (preglednica 16) pa kažejo, da ima na rezultat v teku na 600 m največji vpliv anaerobni laktatni sistem, saj sam pojasni 23,2 % variance rezultata ($F = 7,247$; $p = 0,013$). Laktatni in alaktatni vir skupaj pojasnita 39,8 % variance rezultata v teku na 600 m ($F = 7,606$; $p = 0,003$):

$$t_{600} = 271,784 - 1,225 * E_{LA} - 6,102 * E_{AL}$$

Tretji model, ki vključuje tudi E_{EXE} , pojasnjuje 49,8 % variabilnosti rezultata ($F = 7,289$, $p = 0,001$):

$t_{600} = 236,751 - 0,782 * E_{LA} - 6,605 * E_{AL} + 0,422 * E_{EXE}$, kjer pa koeficient za porabo iz laktatnega vira ni statistično značilen ($p = 0,130$).

Pri tem je treba omeniti, da je E_{LA} negativno povezan z E_{EXE} , kar pomeni kršitev ene od predpostavk o nepovezanosti neodvisnih spremenljivk. Izločanje spremenljivk z metodo Forward nam da zato bolj uporabne podatke.

V zadnji sklop regresijskih analiz smo vnesli spremenljivke, ki so se pri povezanosti z rezultatom v teku na 600 m izkazale z najmočnejšo povezanostjo: VO_{2TOT} , $VO_{2max600}$, E_{LA} in delež E_{AN} . Ker je VO_{2TOT} značilno povezan z $VO_{2max600}$ in E_{LA} , delež E_{AN} pa z E_{LA} , smo v analizo vnesli pare: $VO_{2max600}$ in E_{LA} , $VO_{2max600}$ in E_{AN} ter VO_{2TOT} in E_{AN} .

Močnejši pokazatelj prvega para je $VO_{2max600}$, saj sam pojasnjuje 36,2 % variance rezultata ($F = 13,074$, $p = 0,001$), skupaj z E_{LA} pa 50,3 % variabilnosti v rezultatu ($F = 11,114$, $p = 0,000$):

$$t_{600} = 221,139 - 1,311 * VO_{2max600} - 1,108 * E_{LA}$$

Tudi v drugem modelu je močnejši pokazatelj $VO_{2max600}$, skupaj z deležem VO_{2AN} pa pojasnujeta 75,0 % variabilnosti rezultata ($F = 32,958$, $p = 0,000$):

$$t_{600} = 201,226 - 0,668 * VO_{2max600} - 0,626 * \text{delež } E_{AN}$$

V zadnjem modelu je VO_{2TOT} močnejši pokazatelj rezultata, saj sam pojasnjuje 45,5 % variabilnosti rezultata ($F = 20,029$, $p = 0,000$), skupaj z deležem E_{AN} pa 73,2 % ($F = 30,069$, $p = 0,000$).

Za najmočnejši model za napovedovanje rezultata teka na 600 m se izkaže model s spremenljivkama $VO_{2max600}$ in E_{AN} .

7.5 Analiza hipotez

S primerjavo skupin smo ugotovili razlike v energijskih profilih otrok v predpubertetnem in pubertetnem obdobju. Pričakovano se razlikujejo predvsem v porabi iz anaerobnega laktatnega vira. Lahko trdimo, da sta različni stopnji biološkega razvoja vključenih merjencev in posledično različna razvitost energijskih sistemov pomemben vzrok različnega metaboličnega odziva na napor. Ničelno hipotezo H_01 , ki predvideva, da med vključenima skupinama ni razlik v tekaški uspešnosti in energijskem profilu v teku na 600 m, tako zavrnamo. Otroci v pubertetnem obdobju so v teku na 600 m uspešnejši od mlajših, imajo značilno večjo porabo iz laktatnega energijskega vira in s tem večji anaerobni delež.

Ničelno hipotezo H_02 , ki predvideva, da parametri energijskega profila niso povezani z rezultatom v teku na 600 m, zavrnamo. Poraba iz anaerobnega laktatnega vira je namreč srednje močno negativno povezana z rezultati teka na 600 m ($r = -0,488$). Poraba iz aerobnega transportnega vira je srednje močno pozitivno povezana z rezultati teka na 600 m ($r = 0,447$). Povezanost rezultatov v teku s celotnim anaerobnim deležem pa znaša $-0,580$. Povezanost anaerobnih virov z rezultati je tudi znotraj skupin negativna, vendar statistično neznačilna in šibkejša. Edina statistično značilna povezanost znotraj skupin je prisotna za porabo iz anaerobnega alaktatnega vira za mlajšo skupino ($r = -0,723$). Povezanost ni nepričakovana, saj predstavlja delež mišične mase, ta pa je pomemben dejavnik uspešnosti v teku na srednje razdalje.

Z regresijsko analizo zavrnamo tudi tretjo hipotezo H_03 . S parametri relativne porabe iz posameznega energijskega vira lahko pojasnimo 51 % variance rezultata. Pri tem ima laktatni vir najmočnejšo vlogo, saj sam pojasni 23,3 % variance rezultata na 600 m. Z dodatnim vključevanjem ostalih fizioloških parametrov ($VO_{2max600}$ in E_{AN}) v model regresijske analize uspemo pojasniti kar 75 % variabilnosti rezultata v teku na 600 m.

Ničelno hipotezo 4 obdržimo, saj kljub močni povezanosti znotraj skupine mlajših merjencev, relativne vrednosti parametra $CO_{2presežek}$ za celoten vzorec in v starejši skupini niso značilno povezane z rezultatom v teku na 600 m. Zanimiva je močna povezanost ($r = -0,832$; $r = -0,856$) v skupini mlajših merjencev, kjer večji $CO_{2presežek}$ pomeni boljši čas v teku na 600 m.

8 SKLEP

Testni tek na 600 m si kot najpogostejši test vzdržljivostnih sposobnosti pri športni vzgoji zasluži natančnejšo obravnavo. Še posebno, če je objekt testiranja tako občutljiva skupina, kot so otroci. Zavedamo se dejstva, da se otrok, ki je sredi burnega procesa razvoja in odraščanja, na napor odziva drugače kot odrasli. Ugotovitev študij na populacijah odraslih tako ne moramo enostavno prenašati na mlajše. Predvsem energijski vidik oz. »energijske« gibalne sposobnosti so najbolj občutljivo področje v primerjavah odraslih z otroci ter tudi starejših in mlajših otrok.

Prvi cilj diplomskega dela je bil ugotoviti energijske deleže v teku na 600 metrov pri otrocih. Največji delež energije (66,4 %) otroci porabijo iz aerobnega vira, 19,4 % iz anaerobnega laktatnega in 14,3 % iz anaerobnega alaktatnega vira. Ker podobnih raziskav med otroki praktično ni, je glavni pomen diplomskega dela že v sami predstavitvi metode merjenja in izračuna energijskih deležev ter v dobljenih rezultatih za najpogostejši test vzdržljivosti pri športni vzgoji. Raziskava s kombinacijo direktnih informacij o vključenosti energijskih virov in posrednih ocen povezanosti aerobnih in anaerobnih parametrov z rezultati teka nam da najboljšo osnovo za interpretacijo rezultatov teka, ugotavljanje pomembnosti posameznih energijskih virov ter najpomembnejših sposobnosti za uspešnost v teku. Na ta način raziskava pripomore k natančnejšemu vpogledu in razumevanju merskih značilnosti posameznih testov vzdržljivosti.

Raziskava je pomembna tudi zato, ker je ena redkih, ki za določanje energijskih virov in drugih parametrov metabolične presnove uporablja neposredne meritve med tekom na terenu – merjenje tako aerobnega (merjenje porabe kisika) kot tudi dela anaerobnega vira (merjenje vsebnosti laktat v krvi) med realnim tekaškim nastopom na atletski stezi. Takšni podatki nam dajo bolj realno sliko energijskih zahtev tekaške preizkušnje kot meritve v laboratorijskih pogojih.

Dobljeni energijski deleži nam služijo za primerjavo energijske oskrbe teka s starejšimi študijami, vendar je malo ustreznih primerjav zaradi uporabe različnih metod merjenja, različne starosti in treniranosti vključenih merjencev ter drugačne razdalje testnih tekov. Pri odraslih tekačih, ki 800-metrsko razdaljo pretečejo v enakem času kot otroci iz naše raziskave

pretečejo 600-metrsko preizkušnjo, beležimo zelo podobne energijske deleže. Ugotovimo, da se energijski deleži za isti čas teka med otroki in odraslimi ne razlikujejo, so torej neodvisni od starosti in treniranosti. Predvidevamo pa, da bi primerjava deležev energijskih virov med otroki in odraslimi v teku na isti razdalji vendarle pokazala razlike v smislu manjšega anaerobnega deleža pri otrocih. Kot smo uspeli pokazati v naši primerjavi mlajše in starejše skupine otrok, je glikolitični delež med tekom na 600 m otrok v puberteti (21,1%) višji kot delež otrok pred puberteto (16,6 %). Aerobni delež mlajše skupine pred puberteto je skoraj 70 %, starejših pa le še 64 %. Boljše laktatne sposobnosti starejšim omogočajo boljši rezultat teka in hkrati višji anaerobni delež. Učinkovitejše delovanje aerobne presnove in še nerazvite anaerobne laktatne sposobnosti pri mlajši skupini so najverjetnejši vzrok razlik med skupinama in ne nazadnje razlik do drugih študij o energijskih deležih na odrasli populaciji.

Nadalje smo želeli ugotoviti povezanost izmerjenih in izračunanih parametrov energijske oskrbe in glavnih fizioloških parametrov tekaške učinkovitosti z rezultatom v teku na 600 m. Med parametri relativne porabe iz posameznega energijskega vira je z rezultatom v teku najmočnejše povezan laktatni energijski vir, ki pojasnjuje 23 % variance v doseženem času teka na 600 m in je med parametri relativne porabe najmočnejši pokazatelj rezultata v teku na 600 m. Celoten anaerobni delež pa pojasnjuje 34 % variabilnosti. Delež anaerobnega vira narašča z intenzivnostjo (hitrostjo) teka. Višji anaerobni delež je torej posledica večje porabe iz laktatnega energijskega vira (boljše laktatne kapacitete), in je hkrati potencial za hitrejši tek. Večji aerobni delež pomeni slabši rezultat v teku na 600 m. V teku na 600 m so uspešnejši učenci z veliko porabo iz laktatnega in kreatinfosfatnega vira ter manjšo porabo iz aerobnega vira.

Ker testni tek na 600 m predstavlja glavni test za merjenje aerobne vzdržljivosti pri športni vzgoji, smo z merjenjem energijskih deležev preverjali tudi dejansko vključenost aerobnega vira v zagotavljanje energije za tek in s tem ustreznost testnega teka. Na našem vzorcu je aerobni delež znašal 66 %, kar pričakovano pokaže, da vključenost anaerobnega vira ni zanemarljiva. Tek na 600 m pri otrocih izzove največjo aktivnost funkcionalnih sistemov, intenzivnost teka je večja od intenzivnosti pri VO_{2max} , hitrost teka je relativno visoka (65 % v_{max}), kar resnično pomeni preizkušnjo za laktatni energijski sistem. Hkrati je tek na 600 m dovolj dolg, da se skoraj v celoti razvije aerobni sistem (95 %). Aerobni sistem po vključenosti energijskih virov prevladuje, vendar pa od parametrov energijske porabe laktatni

vir najboljše pojasnjuje razlike v rezultatu teka na 600m. Tako ne preseneča, da se test na 600 m včasih opisuje tudi kot test laktatnih sposobnosti. VO_{2max} , ki se smatra za najboljši pokazatelj aerobne vzdržljivosti, pojasni 36 % variance rezultata in je srednje močno negativno povezan ($r = -0,602$) z rezultatom v teku na 600 m. Sklepamo, da sta tako aerobna učinkovitost kot tudi dobra anaerobna kapaciteta pomembni sposobnosti za uspešen nastop v teku na 600 m. Tudi povezanost VO_{2TOT} z rezultatom teka ($r = -0,680$) kaže na pomembnost učinkovite aerobne presnove in hkrati čim večje kapacitete laktatnega sistema. Parameter je namreč značilno povezan tudi z E_{LA} in $VO_{2max600}$. Večja, kot je največja poraba kisika in poraba iz laktatnega vira, večja je poraba celotne energije na minuto teka in s tem večja hitrost teka oz. boljši rezultat v teku na 600 m. Parameter pojasnjuje 45,5 % variance rezultata.

Na podlagi rezultatov (velike intenzivnosti, relativno velikega anaerobnega deleža in laktatnega vira kot najpomembnejšega prediktorja rezultata med energijskimi viri) ni mogoče enoznačno trditi, da je tek na 600 m ustrezen test za merjenje aerobne vzdržljivosti, prav tako pa to ni test le anaerobnih laktatnih sposobnosti. Čeprav se z visokim deležem aerobne energije in povezanostjo rezultata z VO_{2max} aerobni vir kaže kot zelo pomemben v teku na 600 m, pa najuspešnejši otroci tečejo bolj na anaerobni vir. Testni tek na 600 m je primeren test za merjenje vzdržljivosti kot kompleksne sposobnosti (hkrati odvisna od laktatne, alaktatne in aerobne učinkovitosti).

Za določanje najustreznjega testa aerobne vzdržljivosti in laktatnih sposobnosti bi bilo potrebno preveriti vključenost energijskih virov in korelacije parametrov aerobne in anaerobne presnove še v drugih tekaških testih. Določitev testiranja izključno aerobne ali izključno laktatne vzdržljivosti je seveda praktično nemogoča, če vemo, da so vedno hkrati vključeni vsi energijski viri, le k skupni porabi prispevajo različen delež energije.

Uspešnost v teku na 600 m je torej odvisna od anaerobnih sposobnosti (E_{LA}), aerobnih sposobnosti (VO_{2max}), hitrosti ($v_{max} - CP$ sistem), gotovo pa tudi od mišične moči, ekonomičnosti teka in morfoloških dejavnikov.

Laktatna kapaciteta je glavni omejitven dejavnik otrok pred puberteto pri doseganju visokih hitrosti v naporih, ki so podobni teku na 600 m. Sklepamo, da so v primerjavi s starejšimi bolj enakovredni v testih, kjer je vključenost laktatnega vira manjša. Proces razvoja in nadzora

njihovih vzdržljivostnih sposobnosti zato prilagajamo tem spoznanjem. Diplomsko delo bi bilo lahko v pomoč vsem športnim pedagogom pri načrtovanju vzdržljivostnih vsebin pedagoškega procesa, spremljanju in vrednotenju napredka pri vadbi ter predvsem pri interpretiranju rezultatov testnega teka na 600 m.

Z določanjem energijskih deležev med tekom smo spoznali energijsko kompleksnost tekaških disciplin in s tem potrebo po kompleksnem pristopu k vadbi, ki razvija učinkovitost vseh pomembnih energijskih procesov. Spoznanja diplomske naloge so zato lahko v pomoč tudi tekaškim trenerjem pri pripravi optimalnih vadbenih programov za doseganje boljših rezultatov v teku. Poznavanje energijskih značilnosti discipline nam pri interpretaciji rezultatov teka omogoča pridobiti orientacijo o učinkovitosti delovanja energijskih procesov in s tem trenutnega stanja vzdržljivostnih sposobnosti. Pomaga nam sklepati o vzrokih za morebitne slabše rezultate teka in iskanju vadbenih rešitev za izboljšanje rezultatov.

Pomanjkljivost diplomskega dela je heterogen vzorec, sestavljen iz dveh manjših skupin. Pri ugotavljanju povezanosti na celotnem vzorcu je zato pri sklepanju potrebna previdnost. Čeprav smo potrdili, da je laktatni energijski vir glavni faktor uspešnosti za tek na 600 m, je potrebno ob tem poudariti, da na rezultat teka posredno preko laktatnega vira vpliva tudi starost merjencev. Tako se zgodi, da povezanost nastane zaradi dveh starostno različnih skupin vključenih v vzorec, medtem pa znotraj skupin parameter ni statistično značilno povezan s časom teka. Za ugotavljanje faktorjev uspešnosti bi bilo potrebno odkrivati povezanost parametrov energijske oskrbe tudi na večjih vzorcih enako starih merjencev oz. primerjati energijske profile uspešnih in neuspešnih otrok v teku na 600 m, saj pri tem izločimo starost in s starostjo povezane vplive na energijsko porabo.

Pomembna izboljšava samih meritev testnega teka bi lahko bilo tudi spremljanje vmesnih časov, spreminjanja hitrosti teka v povezavi s kinetiko porabe kisika skozi celoten test. Ker je metoda določanja laktatnega energijskega vira na podlagi merjenja laktata vprašljiva, bi bilo smiselno v merjenje in določanje energijskih deležev vključiti tudi katero od drugih alternativnih metod (kisikov deficit, kisikov dolg) in rezultate različnih metod primerjati med sabo.

9 LITERATURA

Armstrong, N., Barker, A. R. (2012). New insights in paediatric exercise metabolism. *Journal of Sport and Health Science*, 1, 18–26.

Armon, Y., Cooper, D. M., Flores, R., Zanconato, S., Barstow, T. J. (1991). Oxygen uptake dynamics during high-intensity exercise in children and adults. *Journal of Applied Physiology*, 70(2), 841–8.

Artioli, G. G., Bertuzzi, R. C., Roschei, H., Mendes, S. H., Lancha, A. H., Franchi, E. (2012). Determining the contribution of the energy systems during exercise. *Journal of Visualized Experiments*, 61, 3413.

Asano, K., Hirakoba, K. (1984). Respiratory and circulatory adaptation during prolonged exercise in 10–12-year-old children and in adults. *Children in Sport*, 119–128.

Astrand, P. O., Rodahl, K. (1986). *Textbook of work physiology. Physiology bases of exercise*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.

Bangsbo, J., Michalsik, L., Petersen, A. (1993). Accumulated O₂ deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. *International Journal of Sports Medicine* 14, 207–213.

Baumann, C. W., Rupp, J. C., Ingalls, C. P., Doyle, J. A. (2012). Anaerobic work capacity's contribution to 5-km-race performance in female runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7, 170–174.

Berg, A., Kim, S. S., Keul, J. (1986). Skeletal muscle enzyme activities in healthy young subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 236–239.

Billat, L. V. (1996). Use of lactate measurements for prediction of exercise performance and for controle of training. *Sports Medicine*, 22(3), 157–175.

Boisseau, N., Delamarche, P. (2000). Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Medicine*, 30(6), 405–422.

Brandon, L. J. (1995). Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Medicine*, 19, 268–277.

Brandon, L. J. in Boileau, R. A. (1992). Influence of metabolic, mechanical and physique variables on middle distance running. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 32(1), 1–9.

Buttifant, D. C., Carlson, J. S., Naughton, G. A. (1996). Anaerobic characteristics and performance of prepubertal asthmatic and nonasthmatic males. *Pediatric Exercise Science* 8(3), 268–275.

Calbet, J. A. L., De Paz, J. A., Garatachea, N., Cabeza de Vaca, S., Chavarren, J. (2003). Anaerobic energy provision does not limit Wingate performance in endurance-trained cyclists. *Journal of Applied Physiology*, 94, 668–676.

Caputo, F., Mello, M. T., Denadai, B. S. (2003). Oxygen uptake kinetics and time to exhaustion in cycling and running: a comparison between trained and untrained subjects. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 111(5), 461–466.

Cisar , C. J. (1986). *Physiological Determinants of Distance Running Performance Across Adolescent Age Groups*. Doktorska disertacija. University of Nebraska.

Craig, I. S., Morgan, D. G. (1998). Relationship between 800-m running performance and accumulated oxygen deficit in middle-distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 11, 1631–1636.

Cumming, G. R., Hastman, L., McCort, J., McCullough, S. (1980). High serum lactates do occur in young children after maximal work. *International Journal of Sports Medicine*, 1, 66–69.

Cureton, K. J., Boileau, R. A., Lohman, T. G., Misner, J. E. (1977). Determinants of distance running performance in children: analysis of a path model. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 48(2).

Di Prampero, P. E. (1981). Energetics of muscular exercise. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, 89, 143–222

Di Prampero, P. E., Capelli, C., Pagliaro, P., Antonutt, G., Girardis, M., Zamparo, P., Soule, R. G. (1993). Energetics of best performance in middle-distance running. *Journal Application of Physiology*, 74, 2318–2324.

Duffield, R., Dawson, B., Goodman, C. (2005). Energy system contribution to 1500- and 3000-metre track running. *Journal of Sports Sciences*, 23(3), 299–307.

Duffield R. J., Dawson, B. (2004). Energy system contribution to 100-m and 200-m track running events. *Journal of Science in Medicine and Sport*, 7(3), 302–313.

Duffield, R. in Dawson B. (2003). Energy system contribution in track running. *New Studies in Athletics*, 18 (4), 47–56.

Duffield, R., Dawson B. & Goodman C. (2005). Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. *Journal of Sports Science*, 23(3), 299–307.

Eriksson, O., Saltin, B. (1974). Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults. *Acta Paediatrica Belgica*, 28, 257–265.

Fox, E. L., Mathews, D. K. (1981). *The physiological basis of physical education and athletics*. Saunders College Publishing.

Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*, 31(10), 725–741.

- Gastin, P. B., Costill, D. L., Lawson, D. L., Krzeminski, K., McConell, G. K. (1995). Accumulated oxygen deficit during supramaximal all-out and constant intensity exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(2), 255–63.
- Granier, P., Mercier, B., Mercier, J., Anselme, F., Prefaut, C. (1995). Aerobic and anaerobic contribution to Wingate test performance in sprint and middle-distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 70(1), 58–65.
- Green, S., Dawson, B. (1993). Measurement of anaerobic capacities in humans. Definitions, limitations and unsolved problems. *Sports Medicine*, 15(5), 312–27.
- Hanon, C., Leveque, J. M., Vivier, L., Thomas, C. (2007). Oxygen uptake in the 1500 metres. *New Studies in Athletics*, 22(1), 15–22.
- Haralambie, G. (1982). Enzyme activities in skeletal muscle of 13–15 years old adolescents. *Bulletin europeen de physiopathologie respiratoire*, 18(1), 65–74.
- Heck, H., Schulz, H., Bartmus, U. (2003). Diagnostics of anaerobic power and capacity. *European Journal of Sport Science*, 3(3), 1–23.
- Hill, D. W. (1999). Energy system contributions in middle-distance running events. *Journal of Sports Sciences*, 17(6), 477–483.
- Jackson, A. A., Coleman, A. E. (1976). Validation of distance run tests for elementary school children. *Research Quarterly*, 47, 88–94.
- Krahenbuhl, G. S., Pangrazi, R. P., Burkett, L. N., Schneider, M. J. and Peterson, G. (1977). Field estimation of VO₂max in children eight years of age. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 9, 37–40.
- Krahenbuhl, G. S. in Pangrazi, R. P. (1983). Characteristics associated with running performance in young boys. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15 (6), 486–490.

Krahenbuhl, G. S., Pangrazi, R. P., Chomokos, E. A. (1979). Aerobic responses of young boys to submaximal running. *Research Quarterly*, 50(3), 413–421.

Lacour, J. R., Bouvat, E., Barthelemey, J. C. (1990). Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *European Journal of Applied Physiology*, 6, 172–176.

Lasan, M. (2004). *Fiziologija športa – harmonija med delovanjem in mirovanjem*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.

Maemura, H., Suzuki, Y., Mukai, N., Takamatsu, K. (2004). Factors influencing excess CO₂ output during and after short duration – intensive exercise: focusing on skeletal muscle characteristics. *International Journal of Sport and Health Science*, 2, 129–135.

Mahon, A. D., Corral, D. P., Howe, C. A., Duncan, G. E., Ray, M. L. (1996). Physiological correlates of 3-kilometer running performance in male children. *International Journal of Sports Medicine*, 17, 580–584.

Maksud, M. G., Coutts, K. D. (1971). Application of the Cooper twelve-minute run-walk test to young males. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 42(1).

Malina, R., Bouchard, C. (1991). *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Human Kinetics Books.

Malison E. R., Plank, D. M., Brown, J. D., Cheatham C. C., Mahon A. D. (2004). Running performance in middle-school runners. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 44(4), 383–388.

Martin, D. E., Coe, P. N. (1997). *Better Training for Distance Runners*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Martinez, L. R., Haymes, E. M. (1992). Substrate utilization during treadmill running in prepubertal girls and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(9), 975–983.

Mayers, N., Gutin, B. (1979). Physiological characteristics of elite prepubertal cross-country runners. *Medicine & Science in Sport Exercise*, 11, 172–176.

Medbø, J. I. (2010). Accumulated oxygen deficit issues. V: Connes, P., Hue, O., Perrey, S. (ur.). *Exercise Physiology: from a Cellular to an Integrative Approach* (367–384). IOS Press. <http://s2.e-monsite.com/2010/03/03/2406763s6c2-medbo-pdf.pdf>

Medbø, J. I., Mohn, A. C., Tabatta, I., Bahr, R., Vaage, O., Sejersted, O. M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *Journal of Applied Physiology*, 64(1), 50–60.

Meldrum, K. J. (2004). *Measuring Anaerobic Performance in Children Using Accumulated Oxygen Deficit*. Doktorska disertacija, Victoria University, School of Human Movement, Recreation and Performance.

Mocellin, R., Heusge, M., Gildein, H. P. (1991). Anaerobic threshold and maximal steady-state blood lactate in prepubertal boys. *European Journal of Applied Physiology*, 62(1), 56–60.

Naughton, G. A., Carlson, J. S., Buttifant, D. C., Selig, S. E., Meldrum, K., Mckenna, M. J., Show, R. J. (1997). Accumulated oxygen deficit measurements during and after high-intensity exercise in trained male and female adolescents. *European Journal of Applied Physiology*, 76, 525–531.

Newsholme, E., Leech, T., Duester, G. (1994). *Keep on Running: The Science of Training and Performance*. John Wiley and Sons.

Noakes, T. (2001). Physiological Capacity of the Elite Runner. V: Bangsbo, J., Larsen, H. B. (ur.). *Running & Science* (str. 19–48). Copenhagen: Institute of Exercise and Sport Sciences, University of Copenhagen.

Naughton, G. A., Carlson, J. S. (1998). The accumulated oxygen deficit measure and its application in pediatric exercise science. *Pediatric Exercise Science*, 10, 13–20.

Nummela, A., Rusko, H. (1995). Time course of anaerobic and aerobic energy expenditure during short term exhaustive running in athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 16, 522–527.

Palgi, Y., Gutin, B., Young, J., Alejandro, D. (1984). Physiologic and anthropometric factors underlying endurance performance in children. *International Journal of Sports Medicine*, 5(2), 67–73.

Peronnet, F., Aguilaniu, B. (2005). Lactic acid buffering, nonmetabolic CO₂ and exercise hyperventilation: A critical reappraisal. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 150(1), 4–18.

Peronnet, F., Thibault, G. (1989). Mathematical analysis of running performance and world running records. *Journal of Applied Physiology*, 67(1), 453–465.

Ramsbottom, R., Nute, M. G., Williams, C. (1987). Determinants of five kilometre running performance in active men and women. *British Journal of Sports Medicine*, 21(2), 9–13.

Ratel, S., Bedu, M., Hennegrave, A., Dore, E., Duche, P. (2002). Effects of age and recovery duration on peak power output during repeated cycling sprints. *International Journal of Sport Medicine*, 23(6), 397–402.

Reis, V. M., Duarte J. A., Espirito-Santo J. Russell, A. P. (2004). Determination of accumulated oxygen deficit during a 400m run. *Journal of Exercise Physiology*, 7(2): 77–83.

Rowland, T.W. (1989). Oxygen uptake and endurance fitness in children: a developmental perspective. *Pediatric Exercise Science*, 1, 313–328.

Rowland, T., Kline, G., Goff, D., Martel, L., Ferrone, L. (1999). One-mile run performance and cardiovascular fitness in children. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 153, 845–849.

Scott, C. B., Roby, F. B., Lohman, T. G., Bunt, J. C. (1991). The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 23(5): 618–624.

Spencer, M. R., Gastin P. B. (2001). Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(1), 157–162.

Spencer, M. R., Gastin, P. B., Payne, W. R. (1996). Energy system contribution during 400 to 1500 meters running. *New Studies in Athletics*, 11(4), 59-65.

Starc, G., Strel, J., Kovač, M. (2010). *Telesni in gibalni razvoj slovenskih otrok in mladine v številkah: Šolsko leto 2007/2008*. Ljubljana: Fakulteta za šport.

Škof, B. (2007). *Šport po meri otrok in mladostnikov: pedagoško-psihološki in biološki vidiki kondicijske vadbe mladih*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za kineziologijo.

Škof, B., Milić, R. (2002). Delež energijskih sistemov pri teku na 600 in 2400 metrov pri otrocih različne starosti. *Šport*, 50(3), 17–23, Priloga.

Škof, B., Milić, R., Peternelj, B. (2001). Razlike v fizioloških in biokemijskih parametrih napora pri testnem teku na 600 m in 2400 m pri otrocih. V: *Zbornik 14. strokovnega posveta športnih pedagogov Slovenije – Uvajanje novosti pri šolski športni vzgoji (str.: 348–237)*. Ljubljana: ZDŠPS.

Škof, B., Kropelj, V. L., Milić, R. (2002). Vpliv dimenzij telesne sestave otrok med 10 in 14 let na njihovo učinkovitost v teku na 600 in 2400 metrov. V: Pišot, R., Štemberger, V., Krpač, F., Filipčič, T. (ur.). *Otrok v gibanju* (str. 379–385). Ljubljana: Fakulteta za šport.

- Tesch, P., Sjödín, B., Karlsson, J. (1978). Relationship between lactate accumulation, LDH activity, LDH isozyme and fibre type distribution in human skeletal muscle. *Acta physiologica*, 103(1), 40–46.
- Thomas, C., Hanon, C., Perrey, S., Le Chavalier, J. M., Couturier, A., Vandewalle, H. (2005). Oxygen uptake response to an 800 m running race. *International Journal of Sport Medicine*, 27, 37–42.
- Ušaj, A. (2003). *Kratek pregled osnov športnega treniranja*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
- Ušaj, A., Starc, V. (1990). *Poskus uskladitve dveh konceptov anaerobnega praga pri testiranju vzdržljivosti tekačev*. Doktorska disertacija, Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za kineziologijo.
- Van Ingen Schenau, G. J., Jacobs, R., de Konig, J. J. (1991). Can cycle power predict sprint running performance? *European Journal of Applied Physiology*, 63, 255–260.
- Ward-Smith, A. J. (1985). A mathematical theory of running based on the first law of thermodynamics, and its application to the performance of the world-class athletes. *Journal of Biomechanics*, 18(5), 337–49.
- Weyand, P. G., Cureton, K. J., Conley, D. S., Sloniger, M. A., Liu, Y. L. (1994). Peak oxygen deficit predicts sprint and middle-distance track performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(9), 1174–1180.
- Weyand, P., Curcton, D., Conley, D., Soniger, M. (1993). Percentage anaerobic energy utilized during track running events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1, 25.
- Weyand, P. G., Matthew, W. B. (2005). Energetics of high-speed running: integrating classical theory and contemporary observations. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 288, 956–965.

Williams, C. A., Carter, H., Jones, A. M., Doust, J. H. (2001). Oxygen uptake kinetics during treadmill running in boys and men. *Journal of Applied Physiology*, 90, 1700–1706.

Williams, J. R., Armstrong, N. (1991). The influence of age and sexual maturation on children's blood lactate responses to exercise. *Pediatric Exercise Science*, 3, 111–120.

Yano, T. (1987). The differences in CO₂ kinetics during incremental exercise among sprinters, middle, and long distance runners. *The Japanese Journal of Physiology*, 37(3), 369–378.

Yano, T., Yunoki, T., Ogata, H., Matsuura, R. (2005). Relation between excessive CO₂ expiration and performance in high-intensity exercise. *Biology of sport*, 22(2), 117–124.

Zanconato, S., Buchthal, S., Barstow, T. J., Cooper, D.M. (1993). ³¹P-magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults. *Journal of Applied Physiology*, 74, 2214–2218.

Zouhal, H., Jabbour, G., Jacob, C., Duvigneau, D., Botcazou, M., Ben Abderrahaman, A., Prioux, J., Moussa, E. (2010). Anaerobic and aerobic energy system contribution to 400-m flat and 400-m hurdles track running. *Journal of Strength and Conditioning Association*, 24(9), 2309–2315.

PRILOGA – PREVERJANJE NORMALNOSTI PORAZDELITVE SPREMENLJIVK

Normalnost porazdelitve smo preverjali s Shapiro-Wilkovim testom

| Spremenljivka | Celoten vzorec | | Mlajši | | Starejši | |
|---------------------------------------|----------------|-------|--------|-------|----------|-------|
| | F | p | F | p | F | p |
| starost | 0,850 | 0,005 | 0,655 | 0,000 | 0,894 | 0,154 |
| AMIS | 0,922 | 0,107 | 0,909 | 0,310 | 0,914 | 0,271 |
| AMAS | 0,944 | 0,285 | 0,949 | 0,674 | 0,933 | 0,438 |
| TM | 0,953 | 0,422 | 0,910 | 0,313 | 0,955 | 0,703 |
| TV | 0,959 | 0,516 | 0,961 | 0,814 | 0,967 | 0,850 |
| VO _{2max} | 0,983 | 0,968 | 0,936 | 0,541 | 0,962 | 0,791 |
| v _{max} | 0,978 | 0,912 | 0,952 | 0,715 | 0,972 | 0,902 |
| v ₆₀₀ | 0,970 | 0,757 | 0,990 | 0,997 | 0,804 | 0,010 |
| t ₆₀₀ | 0,960 | 0,549 | 0,983 | 0,980 | 0,824 | 0,020 |
| E _{LA} | 0,960 | 0,550 | 0,963 | 0,830 | 0,973 | 0,917 |
| E _{LArel} | 0,974 | 0,841 | 0,927 | 0,451 | 0,925 | 0,359 |
| E _{AL} | 0,922 | 0,107 | 0,909 | 0,310 | 0,914 | 0,271 |
| E _{ALrel} | 0,941 | 0,251 | 0,958 | 0,775 | 0,923 | 0,343 |
| E _{STOR} | 0,954 | 0,429 | 0,931 | 0,490 | 0,955 | 0,703 |
| VO _{2max600} | 0,945 | 0,300 | 0,925 | 0,432 | 0,947 | 0,601 |
| E _{EXE} | 0,955 | 0,298 | 0,979 | 0,961 | 0,923 | 0,348 |
| E _{EXErel} | 0,962 | 0,592 | 0,915 | 0,350 | 0,980 | 0,964 |
| E _{TOTrel} | 0,964 | 0,618 | 0,936 | 0,539 | 0,956 | 0,715 |
| E _{TOT} | 0,916 | 0,082 | 0,885 | 0,177 | 0,917 | 0,296 |
| VO _{2TOT} | 0,970 | 0,635 | 0,944 | 0,516 | 946 | 0,707 |
| Delež E _{LA} | 0,962 | 0,586 | 0,951 | 0,699 | 0,955 | 0,710 |
| Delež E _{AL} | 0,941 | 0,253 | 0,943 | 0,613 | 0,888 | 0,130 |
| Delež E _{EXE} | 0,958 | 0,504 | 0,937 | 0,553 | 0,964 | 0,826 |
| Delež E _{STOR} | 0,943 | 0,271 | 0,961 | 0,811 | 0,923 | 0,343 |
| Delež E _{AN} | 0,958 | 0,497 | 0,935 | 0,531 | 0,968 | 0,868 |
| Delež E _{AE} | 0,958 | 0,497 | 0,935 | 0,531 | 0,968 | 0,868 |
| CO ₂ presežek | 0,954 | 0,431 | 0,844 | 0,109 | 0,961 | 0,762 |
| CO ₂ presežek ^r | 0,972 | 0,789 | 0,925 | 0,512 | 0,940 | 0,452 |