



**Znanstveno-raziskovalno središče Koper
Garibaldijska 1, 6000 Koper**

ANALIZA UČINKOVITOSTI ŠPORTNIC MED MENSTRUALNIM CIKLOM

Končno raziskovalno poročilo

Damir ZUBAC¹, Boštjan ŠIMUNIČ¹

¹ Znanstveno-raziskovalno središče Koper, Inštitut za kineziološke raziskave, Slovenija

Koper, 16.11.2021

UVOD

Na fiziološke parametre, povezane s srčno-žilnim sistemom, funkcijo dihanja in presnovo substrata, lahko vplivajo tudi spremembe estrogena oziroma etinilestradiola v menstrualnem ali peroralnem kontracepcijskem ciklusu (Mattu et al., 2019). Na kratko, znano je, da estrogen poveča oskrbo s krvjo v srcu in mišicah s povečanjem vazodilatacije koronarnih arterij in perifernih žilnih poti. Poleg tega se je pokazalo, da višje koncentracije estrogena v srednji lutealni fazi povečajo volumen pljučne krvi in sposobnost pljučne difuzije v primerjavi s folikularni fazi v mirovanju in med submaksimalno vadbo (Brutsaert et al., 2002). Pomembno je, da med vadbo estrogen deluje tako, da prihrani zaloge glikogena in poveča stopnjo oksidacije maščob s spodbujanjem lipolize v mišicah, čeprav je ta učinek lahko moduliran s sočasno prisotnostjo progesterona (Sims & Heather, 2019). V zvezi s submaksimalno vadbo je samo ena študija preučila učinek faze menstrualnega cikla na kinetiko privzema kisika ($\dot{V}O_2$) pri zmerno aktivnih ženskah pred menopavzo in ugotovila, da faza menstrualnega cikla ni vplivala na kinetiko $\dot{V}O_2$ (Sims & Heather, 2019). Pred kratkim smo uporabili blizu infrardečo spektroskopijo (NIRS), da bi dobili veljaven in neinvaziven vpogled v presnovo skeletnih mišic in potrebe po kisiku med vadbo na cikloergometru, da smo ugotovili, da dolgotrajna vadba ščiti pred upadom $\dot{V}O_{2max}$ in poslabšanju kinetike $\dot{V}O_2$ pri zmerno aktivnih ženskah, v zgodnji folikularni fazi. Prav tako smo ugotovili, da pri mladih in ženskah srednjih let ni bilo opaženih razlik v njihovem $\dot{V}O_{2max}$ in izhodni moči (PO), medtem ko je bil maksimalni srčni utrip (HR_{max}) za 12 utripov nižji pri ženskah srednjih let kot v primerjavi z mladimi ženskami. Nismo pa opazili razlik med starostnimi skupinami žensk v kinetiki privzema O_2 , kinetiki HR in kinetiki deoksigenacije skeletnih mišic med submaksimalnim kolesarjenjem (Zubac et al., 2020). Vendar pa fiziološki profil vzdržljivostnih športnic še ni bil v celoti raziskan. Nedavni prispevki so pokazali razlike med spoloma s srčno-žilni regulaciji in aktivnosti mišičnih simpatičnih živcev v mirovanju (Hart et al., 2009). Zanimivo je, da so podatki o kapaciteti vadbe, ki so pomemben kazalnik uspešnosti, redki. Dejansko lahko spremembe estrogena ali etinilestradiola v celotnem menstrualnem ciklusu vplivajo na fiziološke parametre, povezane s srčno-žilnim sistemom, dihalno funkcijo in presnovo substrata (Sims & Heater 2019). Kasneje lahko to vpliva na vzdržljivostne zmogljivosti in zmogljivosti elitnih vzdržljivostno treniranih športnic tako med

treningom kot v tekmovalnem obdobju. Vendar pa v večini študij, ki so vključeval ženske, ocena privzema $\dot{V}O_2$ po obremenitvenih testih ni bila nadzorovana za določeno fazo cikla, niti ni bil določen največji vnos $\dot{V}O_{2max}$ pri vrhunskih športnikih. Tako je bil primarni cilj te študije preučiti, ali so bile razlike v fazi menstrualnega cikla (srednji folikularni proti srednji lutealni) povezane z zmogljivostjo pri dobro usposobljenih športnicah. Sklenili smo, da se rezultati lahko izkažejo za koristne, ko poskušamo prilagoditi programe treninga za to populacijo tekmovalnih športnikov, saj hormonske motnje in premiki tekočine, povezani z različnimi fazami menstrualnega cikla, potencialno vplivajo na zmogljivost pri tej specifični populaciji športnikov.

METODE

Projekt je bil predlagan kot del širšega financiranja, a žal ni bil v celoti odobren. Tako smo izvedli kardio-pulmonalni obremenitveni test (CPET) pri zdravih, dobro treniranih ženskah v različnih fazah njihovega menstrualnega ciklusa (zgodnja folikularna faza proti pozni lutealni fazi). Podatki, pridobljeni s CPET, kot je stopnja privzema kisika ($\dot{V}O_2$) na pragu izmenjave plinov (GET) in točka kompenzacije dihanja (RCP), zagotavljajo objektivne rezultate za zdravnike in fiziologe vadbe, da razvijejo prilagojene vadbene intervencije, ki optimizirajo splošno zdravje in učinkovitost srčno-dihalnega sistema. in preprečiti prezgodnjo utrujenost pri tej populaciji.

Preiskovanke

Protokol študije je potrdil Nacionalni odbor za medicinsko etiko Republike Slovenije (120-487/2018/21). Z oglaševanjem na družbenih omrežjih in osebno komunikacijo se je 10 dobro treniranih športnic prijavilo za sodelovanje v naši študiji. Vse ženske so bile pred podpisom pisnega soglasja v celoti obveščene o postopkih in tveganjih. Podrobnosti o študijski populaciji so navedene v Tabeli 1.

Raziskovalni načrt

V tej presečni, primerjalni študiji so vse ženske obiskale laboratorij trikrat. Med predhodnim obiskom (izhodišče) smo jim svetovali, naj se vzdržijo prehranjevanja čez noč, da se izogibajo močni vadbi in uživanju kofeina ali alkohola 24 ur pred vsako poskusno sejo. Vse ženske so služile kot lastne kontrole in so bile testirane v i) zgodnji ali srednji folikularni fazi, spet v ii) pozni lutealni fazi svojega menstrualnega ciklusa. Med predhodnim presejalnim obiskom so ocenili njihove zdravstvene anamneze, ocenili so srčni utrip v mirovanju, arterijski krvni tlak (ABP), nasičenost s kisikom (SpO₂), hitrost presnove v mirovanju (RMR), delovanje pljuč (spirometrija) in antropometrijo. Za pridobitev informacij o običajni ravni telesne aktivnosti smo uporabili vprašalnik o pripravljenosti na telesno aktivnost (PAR-Q). Prav tako so se vse ženske udeležile ene seznanitvene seje z maksimalnim stopnjevanim CPET, da bi zmanjšale učinke učenja in se izognile podcenjevanju privzema O₂ v celotnem testu. Ob drugem in tretjem obisku (npr. zgodnja folikularna oziroma pozna lutealna faza) so se vse ženske vrnile v laboratorij, da bi opravile maksimalni stopnjevani test (CPET, 20 W·min⁻¹) na cikloergometru z elektronsko zavoro (Ergoline, 900, Hamburg, Nemčija). Med cikloergometrijo so izdihani plini in ventilacijski pretok nenehno spremljali preko metabolnega vozička (CPET, Quark, Cosmed, Rim, Italija), da bi določili njihov $\dot{V}O_2$ max in analizirali GET z metodo V-slope (Beaver et al., 1986). Vpliv zakasnjene $\dot{V}O_2$ je bil popravljen za vsako žensko posebej, da se izračuna izhodna moč (W), ki ustreza $\dot{V}O_2$ pri 90 % GET.

Tabela 1. Antropometrične značilnosti, arterijski krvni tlak v mirovanju, srčni utrip, presnovni profil in kontraktilne lastnosti mišic udeležencev.

	Izhodišče	Zgodnja folikularna	Pozna lutealna	p- vrednost
Starost, leta	22±4	-	-	-
Telesna višina, cm	173 ± 5	-	-	-
Telesna masa, kg	63±3	63 ± 4	64 ± 5	0,106
ITM, kg·m ⁻²	22 ± 2	22 ± 3	24 ± 2	0,393
HR v mirovanju, bpm	65 ± 2	63 ± 3	64 ± 3	0,116
SBP v mirovanju, mmHg	112 ± 11	114 ± 12	114 ± 13	0,338
DBP v mirovanju, mmHg	77 ± 11	78 ± 13	77 ± 5	0,335
MAP v mirovanju, mmHg	79 ± 7	80 ± 6	80 ± 5	0,220
SaO ₂ v mirovanju, %	98 ± 1	98 ± 1	99 ± 2	0,112
RMR, kcal·day ⁻¹	2153 ± 108	2145 ± 309	2189±422	0,212

Okrajšave: ITM - indeks telesne mase; HR - srčni utrip; SBP - sistolični krvni tlak; DBP - diastolični krvni tlak; MAP - srednji arterijski tlak; SaO₂ - nasičenost kisika; RMR - hitrost presnove v mirovanju.

Measurements

Okoli 7:30 zjutraj smo jim z digitalno tehtnico izmerili antropometrijo (Seca 769, Hamburg, Nemčija), nato smo ženskam naročili, naj ležijo 15 minut na hrbtu, na zgornji, nedominantni roki pa smo jim namestili pnevmatsko manšeto za merjenje arterijskega krvnega tlaka v mirovanju (ABP) s pomočjo avtomatskega sfigmomanometra (Dash 2000; General Electric, Milwaukee, ZDA). Poleg tega sta bila nasičenost s kisikom in hitrost pulza nenehno spremljana s pomočjo sonde pulznega oksimetra, nameščene na srednji prst prevladujoče roke.

Hitrost presnove v mirovanju

Po oceni krvnega tlaka je sledilo dodatnih 20 minut ležanja na hrbtu, na nos in usta pa smo jim namestili masko, povezano z metaboličnim analizatorjem. Meritve smo snemali 20 minut. Podatki, zbrani v prvih petih minutah, so bili zavrženi, preostalih 15 minut pa so bili povprečeni na pet-sekundne intervale. Podatki o srednjem razmerju dihalne izmenjave (RER) so bili obdelani za nadaljnjo analizo. Pred vsako oceno RER je bil presnovni analizator CPET kalibriran v skladu s smernicami proizvajalca, vključno s kalibracijo proti dvema različnima plinoma znanih koncentracij (sobni zrak in 16,0 % O₂ in 5,0 % CO₂), medtem ko je bil pretvornik volumna turbine kalibriran z uporabo 3-litrske brizge (model 5530, Hans Rudolph inc., Kansas City, ZDA).

Merjenje $\dot{V}O_2\text{max}$

Vse ženske so opravile stopnjevani obremenitveni test na cikloergometru z elektronsko zavoro, ki je bil sinhroniziran s presnovnim vozičkom Cosmed. Pred vsako sejo cikloergometrije je bil metabolični analizator kalibriran v skladu s priporočili proizvajalca. Protokol se je začel s 3-minutnim izhodiščnim merjenjem, nastavljenim na 20 W in kadenco pedaliranja 70 vrt/min, ki je bila vizualno prikazana med testom. Izhodna moč se je postopoma povečevala za 20 W vsako minuto ($1W \cdot 3\text{sec}^{-1}$), dokler ni bila dosežena prostovoljna izčrpanost in/ali kadenca pedaliranja padla za >5 vrt/min, kljub močni verbalni spodbudi raziskovalnega osebja. Po prenehanju testiranja je vsaka športnica nadaljevala neobremenjeno pedaliranje 5 minut, da se ohladi. Meritve izmenjave plinov in pretok ventilacije so bile ovrednotene po principu vdih za vdihom preko metaboličnega vozička, HR pa je bil neprekinjeno spremljan z napravo Garmin (HRM-3 SS, Kansas, ZDA). $\dot{V}O_2\text{max}$ je bil sprejet kot najvišji 20-sekundni $\dot{V}O_2$, določen z drsečim povprečjem, vzorčenim v zadnji minuti CPET, pred prostovoljnim izčrpavanjem, medtem ko najvišja PO in HRmax so bile opredeljene kot odčitki, doseženi ob prenehanju testiranja, po predhodno uveljavljenih smernicah (Rossiter et al., 2006; Murias et al., 2011; Zubac et al., 2021).

Statistika

Vsi podatki so bili analizirani s pomočjo Statistice različice 13.0 (StatSoft, Tulsa, OK, ZDA) in predstavljeni s povprečjem \pm SD. Normalna porazdelitev je bila potrjena s Shapiro-Wilkovim testom. Učinke faze menstrualnega cikla na različne fiziološke parametre (npr. srčno-žilni odziv in meritve

privzema kisika) smo analizirali z enosmerno ANOVA. V primeru, da je bil ugotovljen pomemben F-test, je bil za določitev večkratnih primerjav uporabljen Bonferroni post-hoc. Univariatne regresijske analize so bile uporabljene za določitev razmerij med spremenljivkami izida merila uspešnosti ($\dot{V}O_2$ max.) in različnimi napovedovalci, vključno s fazo menstrualnega ciklusa in individualno uspešnostjo pri GET. Statistična pomembnost za vse odvisne spremenljivke je bila sprejeta pri $p < 0,05$.

REZULTATI

V Tabeli 1 so predstavljene značilnosti študijske populacije. Naš študijski vzorec ($n=10$, majhna velikost vzorca zaradi omejitev COVID-19) so sestavljale zdrave, aktivne, zmerno do zelo fit ženske, ki se ukvarjajo z različnimi športi, ki so v povprečju poročale o 8-11 ur zmernih do močnih telesnih treningov tedensko. Med fazami cikla pri odčitkih HR, MAP, RMR in SpO₂ v mirovanju nismo opazili razlik.

V tabeli 2 so prikazani podatki CPET. Med obema fazama cikla nismo opazili razlik v njihovih VE, $\dot{V}O_{2max}$, PPO, RER, HRmax ali času do izčrpanosti. Tudi submaksimalna učinkovitost GET ni pokazala razlik v VE, $\dot{V}O_2$, HR in PO med obema fazama cikla.

Tabela 3 razkriva, da je v našem regresijskem modelu edini neodvisni napovedovalec $\dot{V}O_{2max}$ bil privzem O₂ pri GET. Dejansko je postopna regresija pokazala, da samo zmogljivost GET pojasnjuje ~25 % ($p=0,01$) skupne variance $\dot{V}O_{2max}$, ne glede na fazo cikla. Kljub temu se zavedamo, da je precej majhno število v raziskavo vključenih športnic, omejitev študije.

Tabela 2. Srčno-žilni fitnes športnic

	Izhodišče	Zgodnja folikularna	Pozna lutealna	p- vrednost
V_E , L/min ⁻¹	98 ± 17	98 ± 20	99 ± 17	0,112
VO ₂ max, mL/min ⁻¹	2541 ± 347	2594 ± 475	2569 ± 316	0,115
VO ₂ max, mL/kg/min ⁻¹	44 ± 5	45 ± 6	44 ± 5	0,321
RER	1,22 ± 0,1	1,21 ± 0,1	1,21 ± 0,1	0,266
HRmax, bpm	181 ± 8	180 ± 6	182 ± 8	0,125
PPO,W	215 ± 28	220 ± 30	218 ± 28	0,145
TTE, min	9,39 ± 1,58	9,53 ± 1,46	9,21 ± 1,42	0,231
GET V_E , L/min ⁻¹	43 ± 5	44 ± 7	44 ± 5	0,165
GET VO ₂ , mL/min ⁻¹	1615 ± 267	1627 ± 204	1593 ± 157	0,178
GET VO ₂ , mL/kg/min ⁻¹	27 ± 5	27 ± 4	28 ± 3	0,199
GET VO ₂ , (%)	63 ± 20	65 ± 8	65 ± 8	0,176
GET RER	0,92 ± 0,1	0,90 ± 0,1	0,89 ± 0,1	0,608
GET HR, bpm	136 ± 15	133 ± 19	135 ± 15	0,233
GET PPO, W	124 ± 17	123 ± 18	127 ± 16	0,441

Okrajšave: V_E - pljučna ventilacija, VO₂max - maksimalni vnos kisika, RER – razmerje dihalne izmenjave; HRmax - maksimalni srčni utrip, PPO - največja izhodna moč, TTE - čas do izčrpanosti, GET - prag izmenjave plinov. Podatki so podani kot povprečje ± SD.

Tabela 3. Večkratna linearna regresija kapacitete vadbe

	B	SE B	β	Part R	p-vrednost
$\dot{V}O_{2max}$					
Konstanta	12,7	9,5	-	-	-
Faza menstrualnega cikla	-0,142	0,009	-0,232	-0,286	0,124
GET $\dot{V}O_2$, L·kg·min ⁻¹	0,002	0,01	0,498	0,509	0,001*

Okrajšave: PPO - največja izhodna moč (W/kg-1); $\dot{V}O_{2max}$ – največja poraba kisika; GET $\dot{V}O_2$, - vnos kisika pri GET; B - nestandardiziran beta koeficient, β - standardiziran beta koeficient. * - statistično pomemben napovedovalec $\dot{V}O_{2max}$.

DISKUSIJA

Ključne ugotovitve študije so bile, da faza menstrualnega ciklusa ni vplivala na: (a) HR, MAP in RMR v mirovanju; (b) PO in ključne fiziološke spremenljivke – na CPET izpeljane maksimalne odzive na vadbo ($\dot{V}O_{2max}$ in HRmax) niso vplivale različne faze cikla; (c) $\dot{V}O_{2max}$ je pozitivno povezan s stopnjo privzema kisika pri GET (25 % skupne variance, $p=0,001$), ne glede na fazo cikla pri dobro treniranih ženskah.

Tu so bili $\dot{V}O_{2max}$, največji PO in maksimalni HR nespremenjeni glede na faze menstrualnega cikla. Ta ugotovitev je primerljiva z večino literature, ki preučuje učinke menstrualnih faz ali faz cikla peroralne kontracepcije na te spremenljivke (Gordon et al., 2018). Tudi v študiji, ki so jo izvedli Mattu et al. (2019), ki je ugotovil da je bil absolutni $\dot{V}O_{2max}$ večji v zgodnji folikularni fazi v primerjavi s srednjo lutealno fazo menstrualnega ciklusa, te razlike ni bilo več, ko je bil $\dot{V}O_{2max}$ izražena glede na telesno maso. Druga študija, ki je preučevala maksimalne/najvišje odzive na vadbo, je pokazala, da so domorodke na visoki nadmorski višini, ki so živele na nadmorski višini 3500 m in so bile razmeroma sedeče, pokazale večjo največjo moč v srednji lutealni fazi v primerjavi s srednjo folikularno fazo

(Brutsaert et al., 2002). Vendar ni bistvene razlike v VO_{2max} . V nasprotju z večino študij, ki so testirale ženske z širokim spektrom ravni aktivnosti, je ta študija proučevala maksimalno vadbo pri aktivnih ženskah (povprečni VO_{2max} okoli $45 \text{ mL} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$), da bi zmanjšali veliko variabilnost v odzivu in povečali občutljivost za zaznavanje manjših sprememb. Minimalna literatura, ki preučuje dolgotrajna preskušanja časa do izčrpanosti, ni pokazala pomembne razlike med različnimi fazami (Mattu et al., 2019). Medtem ko je večina spremenljivk, izmerjenih med CPET, ostala nespremenjena z menstrualnimi cikli, je bil privzem VO_2 pri GET pomemben napovedovalec VO_{2max} , ne glede na fazo cikla. Za razlago tega opažanja so potrebne prihodnje raziskave.

ZAKLUČEK

Ugotovili smo, da faza menstrualnega ciklusa ne vpliva na VO_{2max} , HR_{max} in najvišji PO pri dobro treniranih ženskah. Medtem je regresijska analiza jasno pokazala, da zdrave ženske z dobro razvito aerobno zmogljivostjo dosežajo višji VO_{2max} . Na splošno, čeprav sam profil aerobne telesne pripravljenosti ne pojasni neposredno vrhunske zmogljivosti, je pozitiven vpliv višje aerobne kondicije na VO_{2max} , tega ne smemo spregledati.

ZAHVALA

Izvedbo programa je omogočilo sofinanciranje Fundacije za šport.

LITERATURA

Brutsaert TD, Spielvogel H, Caceres E, Araoz M, Chatterton RT, Vitzthum VJ. Effect of menstrual cycle phase on exercise performance of high-altitude native women at 3600 m. *J Exp Biol.* 2002;205(Pt 2):233-239.

Beaver, W.L., Wasserman, K., & Whipp, B.J. 1986. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.* 60: 2020–2027. DOI: 10.1152/jappl.1986.60.6.2020

Gordon D, Scruton A, Barnes R, Baker J, Prado L, Merzbach V. The effects of menstrual cycle phase on the incidence of plateau at VO₂max and associated cardiorespiratory dynamics. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2018;38(4):689-69

Hart, E.C., Charkoudian, N., Wallin, B.G., Curry, T.B., Eisenach, J.H., & Joyner, M.J. 2009. Sex Differences in Sympathetic Neural-Hemodynamic Balance Implications for Human Blood Pressure Regulation. *Hypertension*. 53: 571–576. DOI: 10.1161/Hypertensionaha.108.126391

Mattu, A. T., Iannetta, D., MacInnis, M. J., Doyle-Baker, P. K., & Murias, J. M. 2020. Menstrual and oral contraceptive cycle phases do not affect submaximal and maximal exercise responses. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 30(3), 472-484. DOI: 10.1111/sms.13590

Murias, J. M., Kowalchuk, J. M., & Paterson, D. H. 2011a. Speeding of VO₂ kinetics in response to endurance-training in older and young women. *Eur. J. Appl. Physiol*. 111(2), 235-243. DOI: 10.1007/s00421-010-1649-6

Poole, D. C., & Jones, A. M. 2011. Oxygen uptake kinetics. *Compr Physiol*. 2(2), 933-996. DOI: 10.1002/cphy.c100072

Rossiter, H. B., Kowalchuk, J. M., & Whipp, B. J. 2006. A test to establish maximum O₂ uptake despite no plateau in the O₂ uptake response to ramp incremental exercise. *J. Appl. Physiol*, 100(3), 764-770. DOI: 10.1152/jappphysiol.00932.2005

Sims S.T., & Heather, A.K. 2018. Myths and Methodologies: Reducing scientific design ambiguity in studies comparing sexes and/or menstrual cycle phases. *Exp Physiol* 103 (10):1309-17;



Zubac, D., Ivančev, V., Valić, Z., & Simunic, B. 2021. Long Lasting Exercise Involvement Protects against $\dot{V}O_2$ max. and $\dot{V}O_2$ Kinetics Decline in Moderately Active Women. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* Feb;46(2):108-116,