

Akutna suplementacija *Cordyceps militaris*, povećana potrošnja kiseonika u mirovanju i brze vreme reakcije: randomizovana ukrstena studija

Hamidreza Farzan, Maryam Koushkie Jahromi

PLOS One, 2026 | DOI: 10.1371/journal.pone.0351725 | Prevod na srpski

Napomena: ova ispravljena verzija je prevedena prema kompletnom PLOS full-text/PDF clanku, a ne samo prema PubMed zapisu.

Sazetak

Pozadina

Cordyceps militaris (CM) pokazuje neuroprotektivna svojstva u hroničnim pretkliničkim modelima, ali njegovi akutni efekti na kognitivne i fiziološke parametre tokom iscrpljujućeg vežbanja kod ljudi nisu dovoljno opisani.

Dizajn studije

U randomizovanom, dvostruko slepom, placebo kontrolisanom ukrstenom ispitivanju sa periodom ispiranja od 7 dana, 12 rekreativno aktivnih mladih muskaraca (prosečna starost 21,6 +/- 2,9 godina; VO₂max 38,6 +/- 5,5 mL kg⁻¹ min⁻¹) unelo je 1 g standardizovanog ekstrakta CM ili placebo od kukuruznog skroba 30 minuta pre maksimalnog biciklističkog testa do iscrpljenja. Kognitivni učinak (Stroop vreme reakcije i tačnost) i fiziološke mere (unos kiseonika, glukoza u krvi, krvni pritisak i srčana frekvencija) procenjavani su pre vežbanja i 3 minuta posle vežbanja.

Rezultati

Vreme reakcije u Stroop testu pokazalo je značajan glavni efekat uslova i vremena, sa ukupno brzim odgovorima u CM uslovu. Obe grupe su se poboljšale od perioda pre do perioda posle vežbanja. Interakcija uslov x vreme nije bila značajna. Nije primećena razlika između grupa pre vežbanja, ali je CM doveo do brzog vremena reakcije posle vežbanja. Tačnost je ostala veoma visoka, preko 99%, bez razlika između uslova. CM je povećao VO₂ u mirovanju, ali nije promenio vrhunski VO₂ pri vežbanju. Nisu utvrđeni značajni efekti uslova ili interakcije za glukozu u krvi, krvni pritisak ili srčanu frekvenciju.

Zaključak

Akutna suplementacija CM poboljšala je vreme reakcije posle vežbanja i povećala potrošnju kiseonika u mirovanju, ali nije promenila veličinu promena izazvanih vežbanjem u kognitivnim ili fiziološkim parametrima. To ukazuje da CM može imati akutnu kognitivnu korist nezavisno od modulacije samog vežbanja.

Uvod

Iscrpljujuće vežbanje nameće akutni metabolički stres koji privremeno može da narusi brzinu kognitivne obrade. To je važno u sportskim i taktičkim situacijama, gde brzo donošenje odluka pod umorom može odrediti ishod performansi.

Iako umereno vezbanje obicno poboljsava kogniciju kroz povecanu cerebralnu perfuziju i neurotrofnu signalizaciju, maksimalni napor izaziva fizioloske promene, ukljucujuci promene dostupnosti glukoze, autonomnu aktivaciju i koriscenje energetskih supstrata. Kognitivni odgovor na iscrpljujuce vezbanje zavisi od konteksta i vremena merenja.

Cordyceps militaris je lekovita gljiva bogata kordicepinom (3-deoksiadenozinom) i beta-glukanima. Pretklinicki modeli pokazuju ergogena i neuroprotektivna svojstva. Kordicepin deluje kao analog adenoizina i moze aktivirati AMPK, sto potencijalno poboljsava mitohondrijsku oksidativnu sposobnost i fleksibilnost koriscenja supstrata.

Vecina dokaza o kognitivnim koristima CM potice iz hronicnih protokola koji traju danima ili nedeljama. Akutni efekti, ukoliko postoje, morali bi da deluju kroz brze signalne puteve, jer strukturne adaptacije ne mogu nastati 30 minuta nakon jedne doze.

Cilj ove studije bio je da ispita da li akutna suplementacija CM utice na kognitivni ucinak i kljucne fizioloske parametre, ukljucujuci glukozu u krvi, krvni pritisak, potrošnju kiseonika i srcanu frekvenciju, u mirovanju i nakon iscrpljujuceg vezbanja kod rekreativno aktivnih mladih muskaraca.

Materijali i metode

Sve procedure sprovedene su u skladu sa Helsinskom deklaracijom i odobrene od strane Etickog komiteta Univerziteta Shiraz, Fakulteta fizickog vaspitanja i sportskih nauka, pod sifrom odobrenja IR.US.PSYEDU.REC.1404.069.

U studiju je ukljuceno 12 fizicki aktivnih mladih muskaraca iz lokalne univerzitetske zajednice. Prosecni procenjeni maksimalni unos kiseonika iznosio je 38,6 +/- 5,5 mL kg⁻¹ min⁻¹, sto odgovara rekreativnom nivou fizicke spremnosti.

Kriterijumi za ukljucenje bili su starost od 18 do 30 godina, rekreativna fizicka aktivnost od najmanje 150 minuta nedeljno, bez pusenja ili prekomernog unosa kofeina, bez kardiovaskularnih, metaboličkih ili neuroloških bolesti i bez upotrebe ergogenih, kognitivnih ili antiinflamatornih suplemenata najmanje 4 nedelje pre testiranja. Kriterijumi za iskljucenje ukljucivali su BMI manji od 18,5 ili veci od 30 kg/m² i nestabilnu telesnu masu.

Studija je imala randomizovani, dvostruko slepi, placebo kontrolisani, ukrsteni dizajn. Svaki ucesnik je završio dve eksperimentalne posete razdvojene periodom ispiranja od 7 dana. Randomizacija je sprovedena blok metodom, a ucesnici su rasporedjeni u redosled CM-placebo ili placebo-CM.

U CM uslovu, ucesnici su uneli jednokratnu dozu od 1 g ekstrakta plodonosnog tela *Cordyceps militaris*, standardizovanog na najmanje 150 mg/g beta-glukana i najmanje 2,5 mg/g kordicepina. U placebo uslovu dobili su identicnu kapsulu sa farmaceutskim kukuruznim skrobom. Kapsule su uzimane sa 200 mL vode 30 minuta pre osnovnog testiranja.

Sva testiranja su sprovedena izmedju 08:00 i 12:00. Ucesnici su 2 sata pre dolaska konzumirali standardizovani dorucak. Nakon 10 minuta sedenja sprovedena su merenja glukoze iz kapilarne krvi, krvnog pritiska, srcane frekvencije, potrošnje kiseonika u mirovanju i Stroop testa.

Zatim su ucesnici izvodili inkrementalni biciklisticki test do voljnog iscrpljenja na ergometru Monark 839E. Pocetno opterecenje bilo je 50 W, uz povecanje od 25 W svaka 2 minuta pri 50 obrtaja u minuti. Tri minuta nakon iscrpljenja ponovljen je isti set merenja.

Analize su uradjene u SPSS v26.0. Normalnost je procenjena Shapiro-Wilk testom. Za sve ishode primenjena je dvosmerna ANOVA za ponovljena merenja sa faktorima uslov (CM prema placebo) i vreme (pre prema posle vezbanja). Znacajnost je definisana kao $p < 0,05$.

Rezultati

Petnaest osoba je procenjeno za podobnost, a tri su isključene. Dvanaest rekreativno aktivnih mladih muskaraca završilo je oba eksperimentalna uslova, bez odustajanja, odstupanja od protokola ili nezelenih događaja. Prosečna starost bila je 21,6 $\pm$ 2,9 godina, visina 179,9 $\pm$ 5,7 cm, telesna masa 84,2 $\pm$ 14,8 kg i BMI 26,0 $\pm$ 4,1 kg/m².

Kod vremena reakcije u Stroop testu utvrđen je značajan glavni efekat uslova i vremena. CM nije značajno menjao veličinu promene od pre do posle vezbanja, ali je vreme reakcije posle vezbanja bilo značajno brže u CM uslovu u odnosu na placebo.

Tačnost u Stroop testu ostala je veoma visoka u svim uslovima i vremenskim taktovima. Nije bilo značajnih razlika između CM i placebo uslova, što pokazuje da brže vreme reakcije nije bilo praćeno padom tačnosti.

Potrosnja kiseonika pokazala je značajne glavne efekte uslova i vremena. VO₂ u mirovanju bio je značajno viši u CM uslovu u odnosu na placebo, ali nije bilo značajne razlike pri vrhuncu vezbanja.

Glukoza u krvi opala je od pre do posle vezbanja u oba uslova, što odražava metaboličke zahteve iscrpljujućeg vezbanja. Nije bilo značajnog efekta uslova niti interakcije uslov x vreme.

Sistolni krvni pritisak povećao se posle vezbanja u oba uslova, što predstavlja očekivan hemodinamski odgovor na maksimalni napor. CM nije značajno promenio ni sistolni ni dijastolni krvni pritisak. Svcana frekvencija značajno se povećala posle vezbanja u oba uslova, ali CM nije promenio odgovor srčane frekvencije.

Tabela 1. Kognitivni ishodi (Stroop test) pre i posle vezbanja za placebo i Cordyceps militaris (CM)

Ishod	Vreme	Placebo (n=12) Prosek +/- SD	CM (n=12) Prosek +/- SD	Glavni efekti (ANOVA)	Poredjenje CM prema placebo
Vreme reakcije (ms)	Pre vezbanja	1183,33 +/- 201,37	1048,75 +/- 166,11	Uslov: F(1,11)=5,45, p=0,040; Vreme: F(1,11)=16,37, p=0,002; Interakcija: F(1,11)=1,01, p=0,337	Pre: p=0,167, d=0,59; Posle: p=0,042, d=0,83
Vreme reakcije (ms)	Posle vezbanja	1042,83 +/- 79,52	964,08 +/- 78,63		
Tačnost (%)	Pre vezbanja	98,40 +/- 4,58	99,93 +/- 0,16	Uslov: F(1,11)=0,17, p=0,692; Vreme: F(1,11)=0,33, p=0,580; Interakcija: F(1,11)=3,12, p=0,105	Pre: p=0,532; Posle: p=0,812
Tačnost (%)	Posle vezbanja	99,60 +/- 1,14	99,40 +/- 1,24		

Tabela 2. Fizioloski ishodi u mirovanju/pre vezbanja i pri vrhuncu/posle vezbanja za placebo i CM

Ishod	Vreme	Placebo Prosek +/- SD	CM Prosek +/- SD	Glavni efekti (ANOVA)	Poredjenje
VO ₂ u mirovanju (mL kg ⁻¹ min ⁻¹)	Mirovanje	2,80 +/- 0,93	4,06 +/- 1,68	Uslov: F(1,11)=8,90, p=0,013; Vreme: F(1,11)=705,02,	Mirovanje: p=0,022, d=0,92

				p<0,001; Interakcija: p=0,627	
VO2 vrh (mL kg ⁻¹ min ⁻¹)	Vrh vezbanja	33,82 +/- 4,15	34,75 +/- 4,80		Vrh: p=0,490
Glukoza u krvi (mg/dL)	Pre vezbanja	100,30 +/- 3,57	101,40 +/- 3,28	Uslov: p=0,556; Vreme: p<0,001; Interakcija: p=0,835	Pre: p=0,371; Posle: p=0,678
Glukoza u krvi (mg/dL)	Posle vezbanja	93,93 +/- 6,10	94,88 +/- 4,20		
Sistolni pritisak (mmHg)	Pre vezbanja	112,90 +/- 7,32	115,58 +/- 7,67	Uslov: p=0,876; Vreme: p<0,001; Interakcija: p=0,603	Pre: p=0,963; Posle: p=0,821
Sistolni pritisak (mmHg)	Posle vezbanja	125,75 +/- 9,29	127,10 +/- 10,91		
Dijastolni pritisak (mmHg)	Pre vezbanja	63,60 +/- 5,74	60,50 +/- 5,68	Uslov: p=0,540; Vreme: p=0,494; Interakcija: p=0,067	Pre: p=0,211; Posle: p=0,758
Dijastolni pritisak (mmHg)	Posle vezbanja	63,67 +/- 4,05	64,50 +/- 10,17		
Srcana frekvencija (bpm)	Pre vezbanja	81,60 +/- 10,74	81,83 +/- 10,56	Uslov: p=0,296; Vreme: p<0,001; Interakcija: p=0,998	Pre: p=0,422; Posle: p=0,428
Srcana frekvencija (bpm)	Posle vezbanja	152,93 +/- 10,58	157,88 +/- 10,47		

Diskusija

Ova studija je ispitivala akutne efekte suplementacije CM na kognitivne i fizioloske parametre u mirovanju i nakon iscrpljujućeg vezbanja. Glavni nalazi su: CM je doveo do brzeg vremena reakcije u Stroop testu u odnosu na placebo, CM je značajno povećao potrošnju kiseonika u mirovanju bez promene vrhunskog VO₂, glukoze, krvnog pritiska ili srcane frekvencije, a odsustvo značajnih interakcija uslov x vreme ukazuje da je efekat CM bio povišenje bazicne brzine obrade, a ne promena odgovora izazvanog vezbanjem.

Akutna primena CM imala je značajan efekat na vreme reakcije, sa brzim odgovorima u oba vremenska trenutka u odnosu na placebo. Posle vezbanja, prednost je iznosila oko 70 ms, što je predstavljalo poboljšanje performanse od 6,8%. Tačnost je ostala veoma visoka, što znači da poboljšanje brzine nije doslo po cenu tačnosti.

Prethodni preklinički dokazi pokazuju da Cordyceps može imati prokognitivne efekte u različitim modelima. Međutim, većina tih studija koristila je hronicnu primenu. Ovi humani podaci proširuju akutnu literaturu time što pokazuju brzu bazicnu obradu informacija nakon CM, što može odrazavati brze AMPK-posredovane metaboličke efekte umesto strukturnog remodelovanja.

Glukoza u krvi opala je u oba uslova nakon vezbanja, ali CM nije značajno uticao na glikemijski odgovor. Zbog toga podaci ne podržavaju zaključak da je akutna modulacija glukoze objasnila bolji rezultat vremena reakcije.

Krvni pritisak nije znacajno promenjen usled CM. Ova kardiovaskularna neutralnost moze se posmatrati kao bezbednosna prednost, jer CM nije izazvao hemodinamski stres, ali rezultati ne pokazuju da je promena krvnog pritiska doprinela brzem vremenu reakcije.

CM je znacajno povecao VO₂ u mirovanju bez promene vrhunskog VO₂. Autori tumace da to verovatno odrazava prolazno metaboličko pripremanje, odnosno poboljsanu oksidativnu efikasnost tkiva, a ne povecanu sistemsku isporuku kiseonika. Ipak, studija nije merila hematoloske parametre niti direktne markere cerebralne oksigenacije, pa su potrebna dodatna istrazivanja.

Prakticne implikacije

Za sportiste u sportovima koji zahtevaju brzo reagovanje, prednost od oko 70 ms u vremenu reakcije moze biti potencijalno relevantna, mada direktan prenos na sportski ucinak nije dokazan.

Za e-sport i takmicarsko gejming okruzenje, akutna suplementacija CM bi teoretski mogla pomoci u odrzavanju brze obrade informacija bez kardiovaskularnog naprezanja, ali za ovu primenu jos nema direktnih dokaza.

Za strucnjake za sportsku ishranu, CM moze predstavljati prirodnu suplement opciju koja je u ovom akutnom protokolu povecala brzinu kognitivne obrade bez negativnih efekata na krvni pritisak, srcanu frekvenciju ili regulaciju glukoze. Ipak, nalazi treba da se potvrde u vecim uzorcima pre prakticnih preporuka.

Ogranicenja

Uzorak je bio mali i homogen: 12 rekreativno aktivnih mladih muskaraca. To ogranicava mogucnost generalizacije rezultata i moze umanjiti snagu za otkrivanje manjih interakcijskih efekata.

Stroop zadatak je bio skracen na 25 pokusaja zbog akutnog post-vezbackog prozora, sto moze smanjiti osetljivost za suptilnije promene izvrsnih funkcija. Meren je samo jedan post-vezbacki trenutak, 3 minuta nakon iscrpljenja.

Nisu merene koncentracije kordicepina u plazmi, cerebralni protok krvi, neuralna aktivacija, niti hematoloski i biohemijski markeri transporta kiseonika. Zbog toga uzroci mehanizam izmedju CM, VO₂ i vremena reakcije ostaje nedovoljno potvrđen.

Zakljucak

Akutna suplementacija *Cordyceps militaris* dovela je do znacajnog poboljsanja vremena reakcije i povecanja potrosnje kiseonika u mirovanju, bez promene glukoze u krvi, krvnog pritiska ili srcane frekvencije. Iscrpljujuce vezbanje poboljsalo je vreme reakcije u oba uslova, dok se efekat CM ispoljio kao povišena bazicna brzina kognitivne obrade koja se zadrzala i nakon vezbanja.

Odsustvo znacajnih interakcija uslov x vreme ukazuje da efekat CM predstavlja bazicno kognitivno poboljsanje, a ne posebnu modulaciju promena izazvanih vezbanjem. Nalazi sugerisu akutno metaboličko pripremanje, razlicito od hronicnih neuroprotektivnih adaptacija opisanih u duzim protokolima suplementacije. Potrebna su dodatna istrazivanja radi replikacije i potvrde mehanizma.

Podaci o clanku

Originalni clanak: Farzan H, Koushkie Jahromi M. Acute Cordyceps militaris supplementation and elevated resting oxygen uptake with faster reaction times: A randomized crossover trial. PLOS One 21(7): e0351725. Objavljeno 15. jula 2026. DOI: 10.1371/journal.pone.0351725.

Dostupnost podataka: sirovi podaci koji podrzavaju nalaze nalaze se u pratecoj datoteci farzan.xlsx. Autori navode da nisu dobili posebno finansiranje i da nemaju sukob interesa.

Zahvalnica: autori se zahvaljuju svim volonterima koji su ucestvovali u studiji.

Reference

1. Cheng C. i sar. Cordycepin combined with antioxidant effects improves fatigue caused by excessive exercise. Sci Rep. 2025;15:8141.
2. Sudo M. i sar. The effects of acute high-intensity aerobic exercise on cognitive performance. Front Behav Neurosci. 2022;16:957677.
3. Sharma H. i sar. Unique Bioactives from Zombie Fungus (Cordyceps) as promising multitargeted neuroprotective agents. Nutrients. 2023;16:102.
4. Hawley SA. i sar. Mechanism of Activation of AMPK by Cordycepin. Cell Chem Biol. 2020;27:214-222.
5. Phull A-R. i sar. Cordyceps militaris as a bio-functional food source. Microorganisms. 2022;10:405.
6. Hirsch KR. i sar. Cordyceps militaris improves tolerance to high-intensity exercise after acute and chronic supplementation. J Diet Suppl. 2017;14:42-53.
7. Ontawong A. i sar. Effects of Cordyceps militaris beverage on immune response in healthy adults. Sci Rep. 2024;14:7994.
8. Tsai Y-J. i sar. Pharmacokinetics of adenosine and cordycepin. J Agric Food Chem. 2010;58:4638-4643.
9. Lin Z-B. i sar. i drugi izvori navedeni u originalnom clanku.