

Aktuelni dokazi o ergogenim efektima i efektima oporavka nakon vežbanja pri suplementaciji gljivom *Cordyceps militaris* kod ljudi

Narativni pregled

Maciej Jędrejko, Karol Jędrejko, Dominika Granda, Katarzyna Kała, Andrzej Pokrywka i Bożena Muszyńska

Objavljeno: 27. februar 2026. | Časopis: Nutrients 2026, 18, 781 | DOI: 10.3390/nu18050781

Sažetak

Cordyceps militaris je entomopatogena gljiva koja se tradicionalno koristi u azijskoj etnomedicini i sve češće ispituje zbog mogućih korisnih efekata na zdravlje, uključujući imunomodulatorno i antiinflamatorno delovanje. Poslednjih godina privlači pažnju kao dodatak ishrani sa mogućom primenom u sportskoj ishrani. Ovaj narativni pregled sažima i kritički procenjuje trenutno dostupne dokaze iz studija na ljudima o ergogenim efektima i oporavku nakon vežbanja pri suplementaciji gljivom *C. militaris* kod zdravih osoba. Sprovedena je strukturisana pretraga baza podataka prema unapred definisanim kriterijumima, a metodološki kvalitet uključenih studija procenjen je analizom rizika od pristrasnosti po domenima. Identifikovano je pet intervencionih studija objavljenih od 2017. do 2024. godine, sa ukupno 321 učesnikom uzrasta od 16 do 35 godina. Protokoli suplementacije trajali su od 1 do 16 nedelja, uz dnevne doze od 1 do 12 g, primenjivane kao izolovani materijal gljive ili kao deo višekomponentnih formulacija. Procijenjeni ishodi uključivali su pokazatelje aerobnih performansi i kapaciteta za vežbanje, kao što su maksimalna ili vršna potrošnja kiseonika, vreme do iscrpljenja, izlazna snaga, trkačke performanse i održavanje periferne saturacije kiseonikom tokom vežbanja visokog intenziteta. Nekoliko studija procenjivalo je i biohemijske markere oštećenja mišića i inflamatornog odgovora, uključujući kreatin-kinazu, azot uree u krvi i broj leukocita. Iako su pojedine studije prijavile poboljšanja određenih parametara performansi i oporavka, rezultati nisu bili dosledni. Pouzdanost dokaza ograničena je malim uzorcima, heterogenošću učesnika i protokola vežbanja, nedovoljnim izveštavanjem o randomizaciji, nedostatkom registracije većine ispitivanja, odsustvom standardizovanih preparata sa kvantifikovanim bioaktivnim sastojcima i primenom višekomponentnih dodataka ishrani. Potrebna su dobro osmišljena randomizovana kontrolisana ispitivanja sa hemijski okarakterisanim preparatima i homogenim sportskim populacijama kako bi se razjasnila efikasnost i praktični značaj *C. militaris* u sportskoj ishrani.

Ključne reči: *Cordyceps militaris*; kordicepin; ergotionein; ergogeno delovanje; kapacitet za vežbanje; performanse; oporavak nakon vežbanja

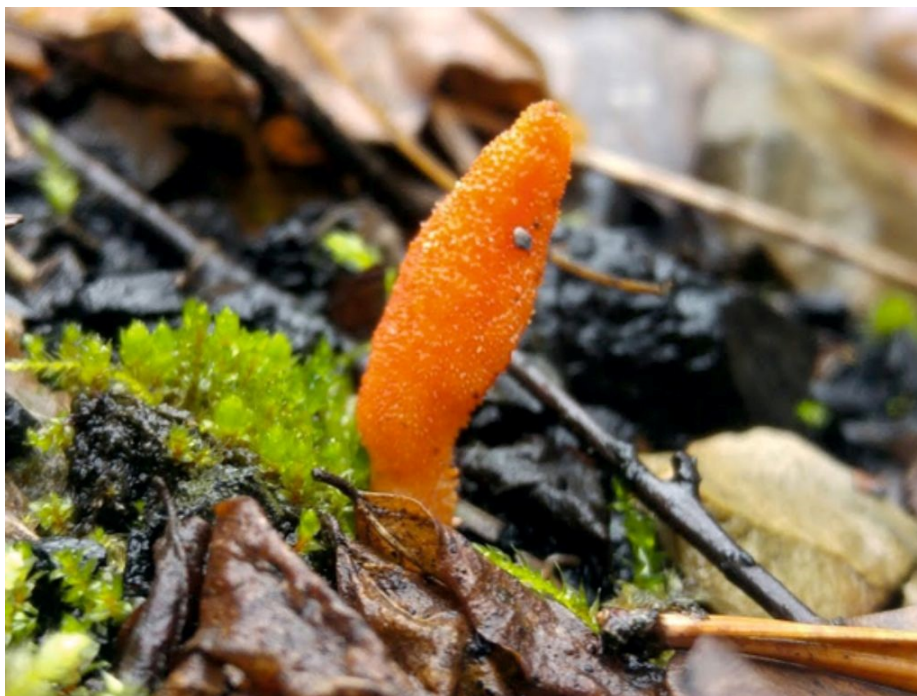
1. Uvod

Koncept ergogenog sredstva, prvobitno definisan krajem šezdesetih godina 20. veka kao način povećanja fizičkog i mentalnog kapaciteta za vežbanje uz smanjenje umora, vremenom se razvijao. Savremene preporuke o nutritivnim strategijama za unapređenje performansi danas se zasnivaju na smernicama zasnovanim na dokazima koje su razvile vodeće sportske organizacije, uključujući Međunarodni olimpijski komitet, Međunarodno društvo za sportsku ishranu i Australijski institut za sport [1-5].

Upotreba prirodnih supstanci radi poboljšanja performansi potiče još iz antičkog doba. Navodi se da su drevni grčki sportisti konzumirali biljne proizvode i sirove gljive kako bi povećali snagu, brzinu, koncentraciju i toleranciju na bol. U pojedinim slučajevima korišćene su i otrovne vrste gljiva zbog psihoaktivnih svojstava, koja su mogla uticati na pobuđenost i percepciju putem holinergičkih bioaktivnih jedinjenja sa efektima sličnim muskarinskim [6-8].

Rod *Cordyceps* obuhvata više od 700 vrsta. Među poznatijim vrstama su *Cordyceps sinensis*, danas nazvan *Ophiocordyceps sinensis*, i *Cordyceps militaris*. *C. militaris* se nalazi u područjima niže nadmorske visine, najčešće na 1000-2000 m nadmorske visine [9]. Iako Evropska unija ne klasifikuje *C. militaris* kao jestivu gljivu, ova vrsta je prepoznata kao lekovita gljiva. U zemljama EU kategorizovana je

kao neodobren sastojak hrane i dodataka ishrani prema katalogu nove hrane Evropske komisije i EFSA, odnosno kao neodobrena nova hrana [10].



Slika 1. Cordyceps militaris koji prirodno raste. Fotografija: Paweł Stasiowski.

Različite vrste roda *Cordyceps* vekovima se koriste u tradicionalnoj medicini Kine, Indije, Japana i Koreje kao podrška prilagođavanju ekstremnim visokoplaninskim uslovima, uključujući niske temperature i hipoksiju. Ove gljive poznate su po prirodnom antihipoksičnom delovanju, koje može doprineti ublažavanju umora, unapređenju fizičkog i mentalnog stanja i jačanju imunskog sistema [11-13]. Prema novijim istraživanjima, *C. militaris* pokazuje više potencijalno korisnih efekata kod ljudi, uključujući imunostimulativno delovanje [14,15] i pomoćnu primenu u lečenju hroničnog bronhitisa [16]. Ova svojstva pripisuju se bogatom sadržaju aminokiselina, proteina, karotenoida, fenolnih kiselina, nukleozida, polisaharida i steroida [9,17].

Studije na životinjama pokazuju da unos *C. militaris* može povoljno uticati na sportske performanse, kapacitet za vežbanje i oporavak nakon napora [18-20]. Međutim, takvi rezultati ne mogu se neposredno preneti na ljude. Mehanizmi delovanja brojnih aktivnih sastojaka još nisu u potpunosti razjašnjeni, *C. militaris* se ne promovise naročito među fizički aktivnim osobama i sportistima, a ne pojavljuje se ni u zvaničnim preporukama. Broj studija o suplementaciji kordicepsom u kontekstu fizičkih performansi i dalje je veoma mali, a rezultati nisu dosledni.

Cilj ovog narativnog pregleda bio je da sažme i proceni postojeće dokaze iz studija na ljudima koje ispituju uticaj suplementacije *C. militaris* na aerobne i anaerobne pokazatelje performansi i oporavak nakon vežbanja kod zdravih, fizički aktivnih populacija.

2. Kriterijumi izbora istraživanja

Pretražene su elektronske baze PubMed, Scopus i Web of Science, uz dopunsku pretragu Google Scholar-a. Pretraga je obuhvatila sve zapise od osnivanja svake baze do 10. decembra 2025. godine. Korišćene su ključne reči: "cordyceps", "cordycepin", "ergogenic", "exercise", "performance", "endurance", "oxygen saturation", "oxygen consumption", "anti-fatigue", "physical loads" i "muscle strength", kombinovane Bulovim operatorima AND i OR.

Kriterijumi za uključivanje bili su: intervencione studije na zdravim osobama bez hroničnih bolesti kojima je primenjivan *C. militaris*; studije u kojima su učesnici izvodili vežbe ili bili izloženi fizičkom naporu; i publikacije na engleskom jeziku. Isključeni su poster, konferencijski sažeci i pregledni radovi, in vitro i studije na životinjama, opservacione i druge neintervencione studije, studije sa decom mlađom od 16

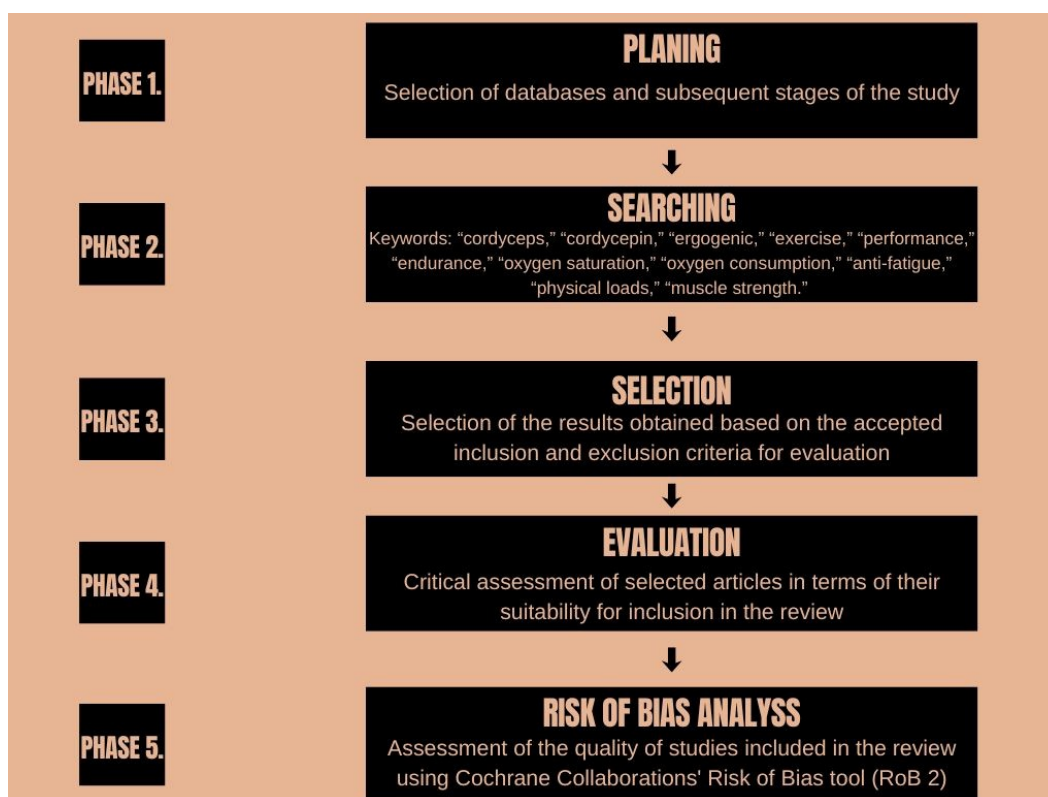
godina ili trudnicama, studije koje su uključivale medicinsko lečenje i studije bez ishoda povezanih sa izdržljivošću ili fizičkim performansama.

Tri autora nezavisno su procenila naslove i sažetke, a zatim i pune tekstove prema unapred definisanim kriterijumima. Neslaganja su rešavana diskusijom sa ostalim koautorima. Kada su nedostajale važne informacije, autori potencijalno podobnih studija kontaktirani su radi dopune podataka. Iz studija su izdvojeni podaci o dizajnu, broju, uzrastu i polu učesnika, trajanju intervencije, dozi i osobinama gljivičnog materijala, finansiranju i proceni bezbednosti.

Dva autora nezavisno su procenila kvalitet studija primenom Cochrane alata Risk of Bias 2. Procena je obuhvatila zaslepljivanje učesnika i istraživača, generisanje slučajnog redosleda, prikrivanje raspodele, nepotpunost podataka, selektivno izveštavanje i druge moguće izvore pristrasnosti. Ukupan rizik od pristrasnosti kategorizovan je kao nizak, umeren ili visok.

3. Ergogeni efekti i oporavak nakon vežbanja pri suplementaciji gljivom *Cordyceps militaris* kod ljudi

3.1. Opis uključenih studija



Slika 2. Dijagram metodologije pregleda.

Prevod oznaka: planiranje; pretraživanje; izbor; procena; analiza rizika od pristrasnosti.

Početnom pretragom pronađeno je 1825 zapisa: 500 u PubMed-u, 457 u Scopus-u i 868 u Web of Science-u. Nakon uklanjanja 548 duplikata, provereno je 1277 publikacija. Na osnovu naslova i sažetaka isključene su 1162 publikacije jer nisu bile povezane sa *C. militaris* ili su se odnosile na medicinsko lečenje, analitička ispitivanja, in vitro studije, studije na životinjama ili pregledne radove. Preostalih 115 radova prošlo je procenu punog teksta.

Nakon analize punih tekstova isključeno je 113 radova jer rezultati nisu bili povezani sa fizičkom aktivnošću i kapacitetom za vežbanje. Iz baza su zato uključene samo dve studije. Ručnom pretragom Google Scholar-a pronađene su još tri, pa je u pregled uključeno ukupno pet studija.

Studije su objavljene od 2017. do 2024. godine. U njima je učestvovala ukupno 321 osoba oba pola, uzrasta 16-35 godina. Doza preparata sa *C. militaris* kretala se od 1 do 12 g dnevno. Korišćeni su i čisti gljivični materijali i višekomponentni dodaci ishrani. Suplementacija je trajala od 1 do 16 nedelja.

3.2. Karakteristike studija

Studija	Učesnici i trajanje	Preparat i doza	Protokol i ishodi	Glavni rezultati	Bezbednost / finansiranje
Hirsch i sar. (2017) [22]	Dvostruko slepa, placebo kontrolisana; rekreativno aktivne osobe oba pola. 1 nedelja: n=28, 22,7 ± 4,1 godina. 3 nedelje: n=10, 21,7 ± 2,7 godina.	PeakO2, mešavina šest gljiva sa <i>C. militaris</i> kao glavnim sastojkom; 4 g <i>C. militaris</i> dnevno.	Trominutni maksimalni test na biciklu; VO2max, ventilatorni prag, vreme do iscrpljenja, relativna i prosečna snaga i pad snage.	Posle 1 nedelje nije utvrđen jasan ergogeni efekat. Posle 3 nedelje povećani su VO2max, ventilatorni prag, vreme do iscrpljenja i relativna vršna snaga u grupi suplementacije.	Nema podataka o neželjenim efektima. Finansirali Disruptive Nutrition LLC i North Carolina Biotech Center.
Dudgeon (2018) [23]	Randomizovana, jednostruko slepa, placebo kontrolisana. Četvonedeljni protokol: n=43, 22,0 ± 2,8 godina. Jednonedeljni protokol: n=40, 23,1 ± 4,9 godina.	PeakO2. Duži protokol: 1-2 g/dan. Kratki protokol: 12 g/dan.	Inkrementalni VO2peak test na bicikl-ergometru i Wingate anaerobni test; vreme do iscrpljenja, laktat, VO2peak i vršna snaga.	Manje doze tokom 4 nedelje smanjile su laktat i povećale vreme do iscrpljenja i VO2peak. Visoka doza tokom 1 nedelje najviše je koristila slabije utreniranim učesnicima, dok su ostali ishodi bili promenljivi.	Jedna osoba imala je gastrointestinalne tegobe, a jedna izraženu odloženu bolnost kvadricepsa. Isto industrijsko finansiranje kao u prethodnoj studiji.
Wang (2021) [24]	Nema jasnih podataka o zaslepljivanju. Mladi plivači, n=180, 120 muškaraca i 60 žena, 17,1 ± 1,4 godine; 7 nedelja.	<i>C. militaris</i> , 8 g/dan, kuvan u 300 mL vode i uziman uz večeru.	30 s maksimalnog rada na biciklu; 8 sati treninga dnevno, 6 dana nedeljno; maksimalna i srednja snaga, laktat, leukociti, hemoglobin, CK, BUN, testosteron, IL-4 i IFN-gama.	Grupa <i>C. militaris</i> imala je veću maksimalnu i srednju snagu. CK i BUN ukazivali su na manje mišićno oštećenje i bolji oporavak. Zabeležene su povoljnije promene u leukocitima, hemoglobinu, testosteronu i imunskim markerima. Laktat se nije razlikovao od placeba.	Nema informacija o neželjenim efektima ni finansiranju. Aktivni sastojci nisu kvantifikovani.
Nakamura i sar. (2024) [25]	Dvostruko slepa, placebo kontrolisana; 22 zdrava muškarca, trkači na duge staze, 18-24 godine; 16 nedelja.	Ekstrakt micelijuma <i>C. militaris</i> , 6 kapsula dnevno, ukupno 1,8 g/dan.	Praćenje tokom predsezonskog treninga; ukupna kilometraža, vreme na 5000 m, eritropoetin, leukociti, CK, GGT, CRP, BUN, mokraćna kiselina, kreatinin i testosteron.	Nije bilo značajne razlike u ukupnoj distanci ni rezultatu na 5000 m. Suplementacija je bila korisna prvenstveno kroz veće smanjenje leukocita i CK, što može ukazivati na bolji oporavak i manje mišićno oštećenje.	Nema informacija o neželjenim efektima. Finansirala La Vie En Sante Ltd., Japan.
Pasha i sar. (2024) [26]	Dvostruko slepa, placebo kontrolisana; 48 mladih trkača oba pola, 16-35 godina; 3 nedelje.	1 g sveže samlevenih plodonosnih tela <i>C. militaris</i> dnevno, samostalno ili sa 10 g proteina surutke. Kontrole: crni čaj, sa ili bez proteina.	Trčanje 200 m i 5 km i maksimalni test na traci; SpO2, vreme na traci i trkačka vremena.	Grupe koje su uzimale <i>C. militaris</i> održavale su SpO2 oko 93-95%, dok je u kontrolama padao približno na 60-75%. Zabeležena su kraća vremena na 200 m i 5 km i bolja sposobnost završavanja testa na traci. Efekat je bio nešto slabiji kada je <i>C. militaris</i> kombinovan sa proteinom surutke. Početne vrednosti nisu prijavljene, pa formalne promene unutar grupa nije moguće proceniti.	Nema podataka o neželjenim efektima. Nije bilo spoljnog finansiranja.

Tabela 1. Karakteristike pet studija uključenih u narativni pregled. Vrednosti i zaključci preneti su iz originalnog rada; tabela je prelomljena i jezički prilagođena radi čitljivosti.

U dve od pet studija korišćen je PeakO2, mešavina šest gljiva u kojoj je *C. militaris* bio glavni sastojak. Hirsch i sar. pokazali su da je tromesečna, odnosno preciznije tronedeljna intervencija od 4 g dnevno poboljšala toleranciju na vežbanje visokog intenziteta, dok jedna nedelja nije značajno promenila aerobne i anaerobne performanse. Dudgeon je ispitao manje doze tokom četiri nedelje i visoku dozu

tokom jedne nedelje. Manje doze primenjivane duže smanjile su laktat, produžile vreme do iscrpljenja i povećale VO₂peak, dok je kratka primena visoke doze bila najkorisnija slabije utreniranim učesnicima.

Wang je uključio 180 mladih plivača sa više od pet godina iskustva. Tokom sedam nedelja imali su šest trening dana nedeljno i četiri trening sesije dnevno, ukupno osam sati. Deo učesnika uzimao je 8 g C. militaris dnevno. U grupi suplementacije zabeleženi su viši hemoglobin, leukociti i testosteron i niže vrednosti CK i BUN, što ukazuje na bolju otpornost na mišićno oštećenje i oporavak. Niži IL-4 ukazivao je na blaži inflamatorni odgovor, a veće povećanje IFN-gama na snažnije regenerativne procese. Maksimalna i srednja snaga bile su veće, dok se koncentracija laktata nije razlikovala od kontrolne grupe.

Kod 22 trkača na duge staze tokom 16 nedelja nije bilo razlike u pređenoj distanci ili vremenu trčanja između 1,8 g ekstrakta micelijuma i placeba. Ipak, grupa C. militaris imala je veće smanjenje broja leukocita i CK, jednog od ključnih markera mišićnog oštećenja. To ukazuje na moguću proregenerativnu ulogu preparata tokom intenzivnog treninga.

U studiji Pasha i sar. 48 trkača raspoređeno je u četiri grupe: crni čaj, crni čaj sa 10 g proteina surutke, 1 g sveže samlevenog C. militaris sa čajem, ili C. militaris sa čajem i proteinom surutke. Posle tri nedelje, učesnici koji su uzimali C. militaris održavali su saturaciju kiseonikom od 93-95%, dok je kod ostalih opadala na približno 60-75%. Vreme na 200 m i 5 km bilo je kraće, a rezultat na maksimalnom testu na traci bolji. Poboljšanje je bilo manje kada je gljiva kombinovana sa proteinom surutke.

3.3. Analiza rizika od pristrasnosti

Studija	Randomizacija	Odstupanja od intervencije	Nedostajući podaci	Merenje ishoda	Izbor prijavljenih rezultata	Ukupan rizik
Hirsch i sar. (2017)	Nizak	Nizak	Umeren	Nizak	Umeren	Umeren
Dudgeon (2018)	Umeren	Umeren	Umeren	Nizak	Visok	Visok
Wang (2021)	Umeren	Umeren	Nizak	Umeren	Visok	Visok
Nakamura i sar. (2024)	Nizak	Nizak	Umeren	Nizak	Visok	Visok
Pasha i sar. (2024)	Nizak	Nizak	Nizak	Nizak	Visok	Visok

Tabela 2. Kvalitativna procena metodološkog kvaliteta i ključnih ograničenja uključenih studija.

Nijedna studija nije imala ukupan nizak rizik od pristrasnosti. Četiri studije nisu bile registrovane u bazama kliničkih ispitivanja, što otežava procenu potpunosti podataka, pa su dobile visok ukupan rizik. Hirsch i sar. registrovali su ispitivanje, ali je u drugoj fazi učestvovao znatno manji broj ispitanika, pa je ukupan rizik ocenjen kao umeren.

Merenje ishoda imalo je nizak rizik u četiri studije, jer su korišćeni objektivni fiziološki parametri i standardizovane metode. Wangova studija nije pružila dovoljno podataka o randomizaciji i zaslepljivanju osoba koje su sprovodile merenja. Studija Pasha i sar. bila je metodološki najuređenija u pogledu randomizacije, kodiranja uzoraka, senzorne sličnosti intervencija, odsustva odustajanja i prikupljanja podataka pre i posle intervencije. Ipak, visoki rizik selektivnog izveštavanja ostao je zbog nedostatka registracije i neprijavljenih početnih vrednosti.

Ukupno posmatrano, rezultati ukazuju da C. militaris može imati ergogeni efekat, uz poboljšanja VO₂max, vremena do iscrpljenja, SpO₂, vremena trčanja i maksimalne snage, kao i smanjenje markera mišićnog oštećenja poput BUN i CK. Ipak, ova zapažanja moraju se tumačiti oprezno zbog metodoloških ograničenja.

4. Prednosti i ograničenja pregleda

Glavna prednost ovog narativnog pregleda jeste sveobuhvatan i transparentan pristup pronalaženju, proceni i sintezi literature. Pretragu baza, izbor studija i procenu kvaliteta nezavisno je sprovodilo više istraživača. Sprovedena je i analiza rizika od pristrasnosti kako bi se procenila pouzdanost metodoloških postupaka i dobijenih rezultata.

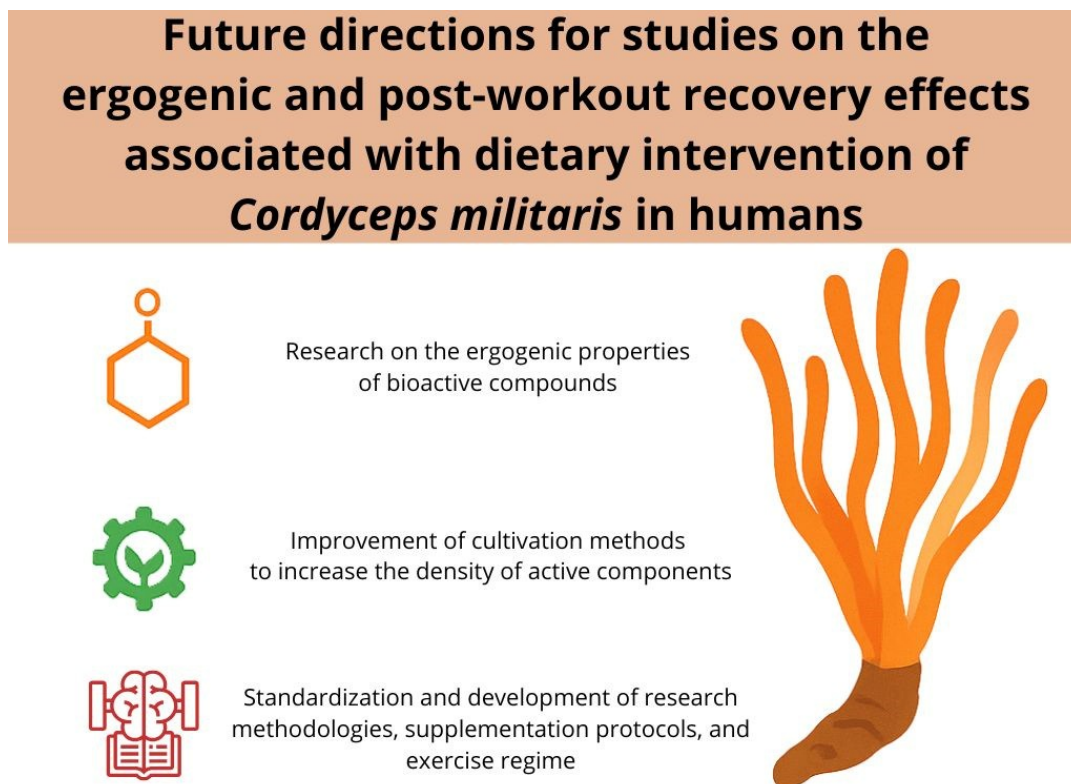
Glavno ograničenje je to što su četiri od pet studija imale značajne metodološke nedostatke. Pozitivni efekti mogli su delimično biti posledica slabosti u dizajnu i protokolu. Dodatno, nijedna studija nije koristila standardizovan proizvod sa jasno navedenom količinom aktivnih sastojaka. *C. militaris* sadrži kordicepin, ergotionein i polisaharide, a životinjske studije ukazuju da svaki od ovih sastojaka može uticati na performanse i oporavak.

Dve studije koristile su višekomponentni preparat u kojem je *C. militaris* bio samo jedan od šest sastojaka. Iako je navedena dnevna količina *C. militaris*, nisu navedene količine drugih gljiva. Zbog toga nije moguće pouzdano izdvojiti direktan uticaj *C. militaris*.

Učesnici su bili heterogeni prema nivou utreniranosti. Neke studije uključivale su sportiste sa više od pet godina iskustva, dok su druge uključivale rekreativce. Razlike u nivou sposobnosti verovatno objašnjavaju i razlike u protokolima vežbanja. Kod elitnih sportista efekti suplemenata obično su manji jer je organizam već visoko prilagođen dugogodišnjem intenzivnom treningu.

Sve studije bile su usmerene prvenstveno na izdržljivost. Iako su neke merile snagu ili broj ponavljanja, nijedna nije ispitivala promene nemasne ili mišićne mase. Takođe, svi protokoli trajali su najmanje nedelju dana, pa nisu ispitani akutni efekti ili suplementacija kraća od sedam dana.

5. Smernice za buduća istraživanja ergogenih svojstava *Cordyceps militaris* kod ljudi



Slika 3. Predloženi pravci budućih istraživanja *C. militaris* u sportu i fizičkoj aktivnosti.

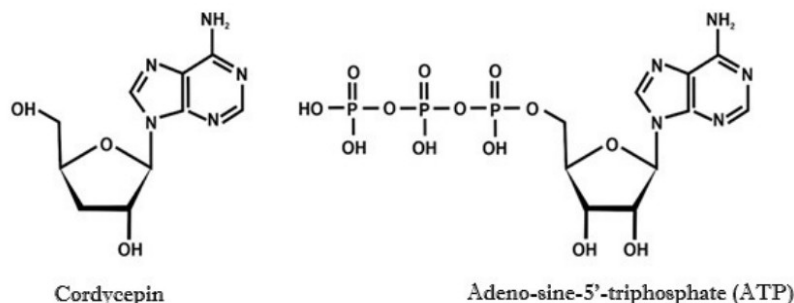
Prevod glavnih oznaka: istraživanje ergogenih svojstava bioaktivnih jedinjenja; unapređenje metoda uzgoja radi povećanja sadržaja aktivnih sastojaka; standardizacija metodologije, protokola suplementacije i režima vežbanja.

5.1. Ergogeni potencijal bioaktivnih jedinjenja

C. militaris je bogat izvor kordicepina. U pojedinim uzorcima plodonosnih tela utvrđeno je 325-377 mg kordicepina na 100 g suve mase. U hloroform-metanskim, etanolnim i vodenim ekstraktima izmereno je približno 7,25, 8,37 i 5,28 mg/g suve mase, dok su vina proizvedena iz ostataka čvrstog uzgoja i voćna vina sadržala 7,96 i 66,78 mg/kg suve mase [32-34].

Kordicepin, odnosno 3-deoksiadenozin, organsko je jedinjenje iz grupe nukleozida. Ima značajan terapijski potencijal, uključujući antikancersko, antioksidativno i antiinflamatorno delovanje. Ispituje se i kod dijabetesa, kardiovaskularnih bolesti, poremećaja imunskog sistema, osteoporoze i artritisa, pa bi u budućnosti mogao biti klasifikovan kao nutraceutik [35-38].

Pretpostavljena ergogena i regenerativna svojstva kordicepina povezuju se sa mogućom ulogom prekursora ATP-a. Ovaj mehanizam do sada je potvrđen samo u životinjskim modelima. Kod miševa je ekstrakt *C. militaris* uticao na adenzinske receptore, AMPK i ATP signalne puteve, povećao fosfokreatin i PPAR-gama i ublažio inflamatorni odgovor na fizički napor. Druga istraživanja ukazuju na uticaj na AMPK i AKT/mTOR puteve. Kordicepin i ATP imaju sličnu hemijsku strukturu.



Slika 4. Sličnosti hemijskih struktura kordicepina i adenzin-5-trifosfata (ATP).

Kod miševa izloženih intenzivnom vežbanju, kordicepin u dozama od 5, 10 i 25 mg/kg dnevno povećao je vreme trčanja do iscrpljenja, povećao zalihe glikogena u mišićima i jetri i aktivnost superoksid-dismutaze, a smanjio CK, mlečnu kiselinu i malondialdehid. U drugoj studiji doze od 20 i 40 mg/kg povećale su ATP i mišićni glikogen i uticale na energetski metabolizam, pentoza-fosfatni put i TIGAR/SIRT1/PGC-1alfa signalizaciju [31,40].

U maloj studiji na deset zdravih osoba, osmonedeljna primena funkcionalnog napitka sa 2,85 mg kordicepina smanjila je IL-6 kod žena i IL-1beta kod muškaraca. To ukazuje da antioksidativni i antiinflamatorni efekti mogu delimično zavisiti od pola [42].

C. militaris je i značajan izvor ergotioneina. Njegov sadržaj varira među sojevima, podlogama i delovima gljive. U nekim uzorcima izmeren je sadržaj od 26,20-29,58 mg/100 mg suve mase, dok su druge studije prijavile 130-140 mg/kg u micelijumu i 382-799 mg/kg u plodonosnim telima [32,33,43].

Ergotionein je sumporni derivat L-histidina sa betainskim delom. Zbog histidinskog dela može imati antioksidativna svojstva slična imidazolnim dipeptidima anserinu, baleninu i karnozinu. Histidin deluje kao intracelularni pufer tokom anaerobnog vežbanja i učestvuje u vezivanju metalnih jona i uklanjanju reaktivnih kiseoničnih vrsta. Delovanje ergotioneina verovatno je povezano sa promenama aktivnosti SOD, glutaciona i katalaze.

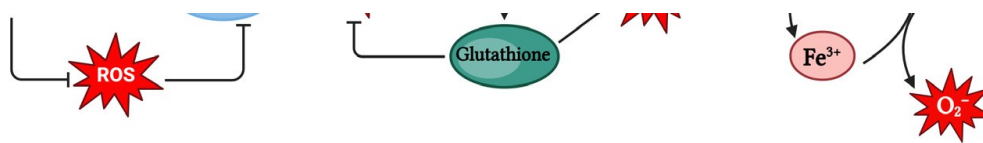
Ergothioneine



Slika 5. Sličnosti hemijskih struktura ergotioneina i imidazolnih dipeptida.

Iako se ergotionein ne sintetiše u ljudskom telu, visoke koncentracije nalaze se u eritrocitima, koštanoj srži i drugim tkivima. Koncentracije se smanjuju sa starenjem, a manjak se razmatra kao jedan od faktora ubrzanog starenja, demencije i krhkosti. Ipak, nije potvrđeno da se koncentracija smanjuje kod sarkopenije [46-50].

Ergotionein ograničava auto-oksidaciju slobodnih jona bakra i gvožđa, smanjuje stvaranje reaktivnih kiseoničnih vrsta i deluje kroz KEAP1-NRF2 put. Ovaj put povećava redoks kapacitet glutaciona, utiče na S-adenozilmetionin i metiltransferaze i reguliše ekspresiju sirtuina. Posebno je važan SIRT6, koji učestvuje u inflamatornim i oksidativnim procesima. Životinjske studije pokazuju i doza-zavisno delovanje na SOD i hem-oksigenazu-1.



Slika 6. Antioksidativna svojstva ergotioneina.

Šematski prikaz povezuje ergotionein sa KEAP1-NRF2 signalnim putem, sirtuinima, glutationom, metalnim jonima i smanjenjem reaktivnih kiseoničnih vrsta.

U životinjskim modelima ergotionein je poboljšao distancu, brzinu i učinak tokom višenedelnog dobrovoljnog trčanja, povećao maksimalnu aerobnu brzinu i vreme do iscrpljenja, povećao markere sinteze proteina i smanjio oksidativni stres. Kod konja je akutna i višenedeljna primena smanjila oksidativne markere, regulisala hematološke pokazatelje i povećala HSP-70, protein sa imunomodulatornim i antiinflamatornim svojstvima [54-58].

Kod ljudi su rezultati skromniji. Desetodnevna primena 2,77 mg ergotioneina iz ekstrakta šitake povećala je samo posttrenažni azot-monoksid, bez smanjenja oksidativnog stresa. Sedmodnevna suplementacija sa 5 ili 25 mg dnevno imala je minimalan uticaj na inflamatorne biomarkere i oksidativno oštećenje. Ergotionein je, međutim, pokazao moguće nootropne efekte kod starijih osoba, uključujući učenje, psihomotornu brzinu, uspavljivanje i prospektivno pamćenje, verovatno preko TrkB signalizacije i neuroplastičnosti [59-64].

I kordicepin i ergotionein zahtevaju dalja istraživanja, jer su njihovi potencijalni ergogeni i proregenerativni mehanizmi uglavnom dokumentovani u životinjskim modelima.

5.2. Uticaj metoda uzgoja na sadržaj aktivnih sastojaka

Uređivanje genoma i održiva biotehnologija važni su za povećanje proizvodnje *C. militaris*. Genetičko inženjerstvo može obezbediti stabilniji rast, veću otpornost, efikasniju upotrebu poljoprivrednog otpada i pojačanu biosintezu kordicepina, ergotioneina i polisaharida. CRISPR/Cas9 omogućava ciljanu optimizaciju metaboličkih puteva, dok se visokoproduktivni sojevi mogu razviti hibridizacijom, ukrštanjem i mutagenезom [65-70].

Sadržaj metabolita može se povećati optimizacijom hranljivih podloga i dodavanjem odabranih nutrijenata, biljnih dodataka, elemenata u tragovima ili bioaktivnih jedinjenja. Strategije fermentacije i faktori sredine, kao što su pH, temperatura, svetlost i dostupnost kiseonika, snažno utiču na biosintezu metabolita [71-83].

Podloge na bazi insekata mogu podstaći visoku proizvodnju metabolita, ali su skupe i složene za industrijsku primenu. Zato se za komercijalni uzgoj češće koriste biljne podloge. I dalje nedostaju standardizovani protokoli, proizvodni sistemi su veoma promenljivi, a postoje i tehničke prepreke, uključujući neefikasan prenos kiseonika u bioreaktorima, upravljanje penom i nedovoljno efikasno prečišćavanje metabolita [81,84-87].

5.3. Standardizacija i razvoj metodologije istraživanja

Buduće studije treba da koriste gljivični materijal standardizovan prema jasno definisanom sadržaju kordicepina, ergotioneina i drugih aktivnih sastojaka. Potrebno je standardizovati dozu preparata i količinu svakog bioaktivnog jedinjenja. Na primer, doze ergotioneina korišćene u studijama fizičke aktivnosti bile su znatno ispod bezbednosne granice koju je postavila EFSA [88].

Istraživanja treba da obuhvate i akutnu suplementaciju ili protokole kraće od sedam dana, kao i oba glavna cilja: neposredno ergogeno delovanje i podršku oporavku. Korisno bi bilo porediti *C. militaris* sa dobro dokumentovanim suplementima iz grupe A Australijskog instituta za sport, uključujući beta-alanin, glicerol, nitrate, kofein, kreatin i natrijum-bikarbonat [89,90].

Dodavanje L-alanina u podlogu za uzgoj može višestruko povećati sadržaj kordicepina, ali L-alanin kao sportski suplement nema jasno potvrđen efekat na performanse. Kombinacije alanina, arginina i fenilalanina mogu povećati mobilizaciju masti i sintezu ketonskih tela tokom vežbanja niskog intenziteta. Zbog toga bi bilo korisno ispitati standardizovani *C. militaris* zajedno sa ovim aminokiselinama i proceniti moguću ulogu kordicepina u ketogenezi [91-99].

Ergotionein bi trebalo proučavati zajedno sa anserinom, baleninom, karnozinom i drugim antioksidansima. N-acetil-L-cistein može smanjiti bolnost mišića i poboljšati radni kapacitet, ali kombinacija sa ergotioneinom do sada je ispitana samo in vitro i nije promenila brzinu kontrakcije skeletnih mišića. Potencijalne kombinacije uključuju i pknogenol i omega-3 masne kiseline, koje mogu smanjiti inflamaciju, odloženu bolnost mišića i mikropovrede izazvane oksidativnim stresom [100-104].

Treba ispitati i farmaceutski oblik preparata. Nanoliposomi modifikovani hitozanskim oligosaharidima poboljšali su stabilnost kordicepina, zaštitili ga od razgradnje i povećali antioksidativno delovanje. Funkcionalni napici, energetske šotovi, čajevi i mešavine gljiva mogu biti praktični oblici. Superfino mlevenje plodonosnih tela može povećati dostupnost kordicepina i sposobnost uklanjanja slobodnih radikala. Kafa sa *C. militaris* može doprineti unosu cinka, magnezijuma, bakra, kalijuma, natrijuma, kalcijuma i fenolnih kiselina. Moguće su i kombinacije sa sokom od cvekle, lubenice, višnje ili nara, koji obezbeđuju nitrate, citrulin i polifenole [105-109].

Buduće studije treba da uključuju homogenije grupe prema uzrastu, polu, telesnoj masi, nivou utreniranosti i sportskoj disciplini. Potrebno je koristiti validirane testove, kao što su 1RM za mišićnu snagu, ručni dinamometar, maksimalni skok iz počučnja za košarkaše ili specifični test agilnosti za tenisere [110-113].

5.4. Dodatni nalazi

Procena oporavka ne treba da se ograniči samo na umor i mišićno oštećenje. Fizički aktivne osobe često imaju prelome, iščašenja, pomeranja, zapaljenja tetiva, okidačke tačke i bolne sindrome preopterećenja. U jednoj studiji sa 321 osobom, uglavnom vežbačima joge, kapuere i trčanja, čak 78,4% je najmanje jednom imalo hronični bol u ručnom zglobo. Kod najmlađih učesnika učestalost bola bila je najviša, iako trend nije bio statistički značajan [114,115].

Sistematski pregled sedam studija sa 346 sportista pokazao je da je više od polovine koristilo oralne ili lokalne antiinflamatorne lekove. NSAID lekovi delotvorniji su kod akutnog bola, dok njihova efikasnost opada kod hroničnih povreda. U drugim studijama značajan deo mladih elitnih sportista i univerzitetskih sportista koristio je analgetike ili NSAID tokom treninga. Njihova upotreba nosi rizike kao što su poremećaji elektrolita, hipernatremija, oksidativni stres, inflamatorne promene, mišićno oštećenje, akutna povreda bubrega i gastrointestinalne tegobe [116-120].

Zbog bioaktivnog sastava i antiinflamatornog potencijala, *C. militaris* se može razmatrati kao dopunska komponenta ishrane fizički aktivnih osoba, ali ne kao zamena za medicinsko lečenje. I NSAID i *C. militaris* mogu uticati na stvaranje reaktivnih kiseoničnih vrsta, NF- κ B, metabolite arahidonske kiseline i oslobađanje proinflamatornih citokina. Buduće studije mogle bi ispitati kombinacije sa đumbirom, *Boswellia serrata* ili kurkumom. In vitro i životinjski podaci ukazuju da kordicepin može sprečiti gubitak kosti, podstaći osteogenezu i ubrzati zarastanje preloma, dok *C. militaris* sadrži kalcijum, fosfor i vitamin D [37,121-125].

Baza deklaracija dodataka ishrani američkog NIH-a sadrži 733 deklaracije sa pojmom "cordyceps", što predstavlja manje od 1% baze. To pokazuje da kordiceps još nije uobičajen sastojak prehrambene industrije, uprkos popularnosti među potrošačima. Zbog rizika od falsifikovanja i kontaminacije dodataka, proizvodnja i distribucija treba da budu regulisane. Tajvanski propisi predlažu ograničenja proizvodnje i upotrebe *C. militaris* i zahtevaju odgovarajuća upozorenja radi sprečavanja obmanjujućih praksi i zaštite zdravlja potrošača [126-129].

Analiza 50 dodataka iz kategorije "testosterone booster" pokazala je da je 10% sadržalo *C. militaris* ili *O. sinensis*. Moguća povezanost sa hormonskom ravnotežom zasniva se na malom broju studija. Kod osoba sa simptomima benigne hiperplazije prostate preparati *C. militaris* možda su smanjili opstrukciju i veličinu prostate. Kod miševa je ekstrakt održavao testosteron i dihidrotestosteron i ograničio testosteronom izazvanu hiperplaziju prostate. Međutim, kod pacova izloženih duvanskom dimu zabeleženo je smanjenje testosterona i broja Lajdigovih ćelija, što pokazuje da rezultati nisu jednoznačni [130-134].

C. militaris se pojavljuje i u proizvodima reklamiranim kao "neurogena sredstva", iako je taj pojam pre marketinški konstrukt nego naučno utemeljena kategorija. Gljiva je bogata L-fenilalaninom, sa više od 500 mg/100 g suve mase u plodonosnim telima. Fenilalanin je prekursor tirozina i neurotransmitera dopamina, adrenalina i noradrenalina. Mala studija pokazala je da 3 g fenilalanina pre vežbanja

povećava glicerol i glukagon, što može ukazivati na veće sagorevanje masti, ali potrebno je više istraživanja [139-143].

6. Zaključci

Nalazi ovog narativnog pregleda ukazuju da suplementacija *C. militaris* može imati korisne ergogene efekte i doprineti oporavku kod fizički aktivnih osoba. Prijavljena su poboljšanja VO₂max, vremena do iscrpljenja, izlazne snage i održavanja SpO₂ tokom vežbanja visokog intenziteta, kao i povoljne promene CK, BUN i leukocita, markera povezanih sa mišićnim oštećenjem i inflamacijom.

Ipak, ukupna pouzdanost dokaza je ograničena umerenim do visokim rizikom od pristrasnosti, odsustvom standardizovanih preparata i velikom heterogenošću doza, trajanja suplementacije, testova vežbanja i karakteristika učesnika.

Trenutni dokazi nisu dovoljni za definitivne preporuke o primeni *C. militaris* u sportskoj ishrani. Potencijalne koristi za izdržljivost i oporavak treba smatrati istraživačkim, a ne čvrsto dokazanim. Buduća randomizovana kontrolisana ispitivanja treba da koriste hemijski standardizovane preparate sa jasno definisanim profilom bioaktivnih jedinjenja, dobro opisane i homogene sportske populacije i validirane ishode specifične za sport. Potrebno je ispitati odnos doze i efekta, akutnu suplementaciju, parametre snage, bezbednost i poređenje sa etabliranim ergogenim sredstvima.

Dodatne informacije iz originalnog rada

Doprinos autora: konceptualizacija M.J. i K.J.; metodologija M.J., K.J. i D.G.; obrada podataka B.M., A.P. i K.K.; pisanje prvog nacrta M.J.; pregled i uređivanje svi autori; nadzor B.M. i A.P. Svi autori pročitali su i odobrili objavljenu verziju rukopisa.

Finansiranje: istraživanje nije dobilo spoljno finansiranje. Izjava etičkog odbora i informisani pristanak: nije primenljivo. Dostupnost podataka: u ovoj studiji nisu stvarani ni analizirani novi podaci. Sukob interesa: autori izjavljuju da nemaju sukob interesa.

Reference

1. Fowler, W.M. The Facts about Ergogenic Aids and Sports Performance. *J. Health Phys. Educ. Recreat.* 1969, 40, 37–42. [CrossRef]
2. Maughan, R.J. Nutritional Ergogenic Aids and Exercise Performance. *Nutr. Res. Rev.* 1999, 12, 255–280. [CrossRef]
3. Maughan, R.J. Dietary Supplements and the High-Performance Athlete. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2018, 28, 101. [CrossRef]
4. Maughan, R.J.; Burke, L.M.; Dvorak, J.; Larson-Meyer, D.E.; Peeling, P.; Phillips, S.M.; Rawson, E.S.; Walsh, N.P.; Garthe, I.; Geyer, H.; et al. IOC Consensus Statement: Dietary Supplements and the High-Performance Athlete. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2018, 28, 104–125. [CrossRef]
5. Collins, J.; Maughan, R.J.; Gleeson, M.; Bilborough, J.; Jeukendrup, A.; Morton, J.P.; Phillips, S.M.; Armstrong, L.; Burke, L.M.; Close, G.L.; et al. UEFA Expert Group Statement on Nutrition in Elite Football. Current Evidence to Inform Practical Recommendations and Guide Future Research. *Br. J. Sports Med.* 2021, 55, 416–442. [CrossRef] [PubMed]
6. Applegate, E.A.; Grivetti, L.E. Search for the Competitive Edge: A History of Dietary Fads and Supplements. *J. Nutr.* 1997, 127, 869S–873S. [CrossRef]
7. Andrén-Sandberg, Å. The History of Doping and Anti-Doping. A Systematic Collection of Published Scientific Literature 2000–2015; Publishing house of the Department of Surgery, Karolinska Institutet at Karolinska University Hospital: Stockholm, Sweden, 2016.
8. Mottram, D.R.; Chester, N. *Drugs in Sport*; Routledge: London, UK, 2022.
9. Das, G.; Shin, H.-S.; Leyva-Gómez, G.; Del Prado-Audelo, M.L.; Cortes, H.; Singh, Y.D.; Panda, M.K.; Mishra, A.P.; Nigam, M.; Saklani, S.; et al. Cordyceps spp.: A Review on Its Immune-Stimulatory and Other Biological Potentials. *Front. Pharmacol.* 2021, 11, 602364. [CrossRef]
10. European Commission (EC). Novel Food Status Catalogue. Available online: <https://ec.europa.eu/food/food-feed-portal/screen/novel-food-catalogue> (accessed on 1 November 2025).
11. Pal, M.; Misra, K. Cordyceps sp.: The Precious Mushroom for High-Altitude Maladies. In *Management of High Altitude Pathophysiology*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2018; pp. 93–114.
12. Wei, Y.; Zhang, L.; Wang, J.; Wang, W.; Niyati, N.; Guo, Y.; Wang, X. Chinese Caterpillar Fungus (*Ophiocordyceps sinensis*) in China: Current Distribution, Trading, and Futures under Climate Change and Overexploitation. *Sci. Total Environ.* 2021, 755, 142548. [CrossRef]
13. Long, H.; Qiu, X.; Cao, L.; Han, R. Discovery of the Signal Pathways and Major Bioactive Compounds Responsible for the Anti-Hypoxia Effect of Chinese Cordyceps. *J. Ethnopharmacol.* 2021, 277, 114215. [CrossRef] [PubMed]
14. Kang, H.J.; Baik, H.W.; Kim, S.J.; Lee, S.G.; Ahn, H.Y.; Park, J.S.; Park, S.J.; Jang, E.J.; Park, S.W.; Choi, J.Y.; et al. Cordyceps militaris Enhances Cell-Mediated Immunity in Healthy Korean Men. *J. Med. Food* 2015, 18, 1164–1172. [CrossRef] [PubMed]
15. Jung, S.J.; Hwang, J.H.; Oh, M.R.; Chae, S.W. Effects of Cordyceps militaris Supplementation on the Immune Response and Upper Respiratory Infection in Healthy Adults: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study. *J. Nutr. Health* 2019, 52, 258. [CrossRef]
16. Gai, G.-Z.; Jin, S.-J.; Wang, B. The Efficacy of Cordyceps militaris Capsules in Treatment of Chronic Bronchitis. *Chin. New Drug J.* 2004, 13, 169–170.

17. Zhang, J.; Wen, C.; Duan, Y.; Zhang, H.; Ma, H. Advance in Cordyceps militaris (Linn) Link Polysaccharides: Isolation, Structure, and Bioactivities: A Review. *Int. J. Biol. Macromol.* 2019, 132, 906–914. [CrossRef]
18. Song, J.; Wang, Y.; Teng, M.; Cai, G.; Xu, H.; Guo, H.; Liu, Y.; Wang, D.; Teng, L. Studies on the Antifatigue Activities of Cordyceps militaris Fruit Body Extract in Mouse Model. *Evid.-Based Complement. Altern. Med.* 2015, 2015, 174616. [CrossRef]
19. Xu, Y.-F. Effect of Polysaccharide from Cordyceps militaris (Ascomycetes) on Physical Fatigue Induced by Forced Swimming. *Int. J. Med. Mushrooms* 2016, 18, 1083–1092. [CrossRef]
20. Zhong, L.; Zhao, L.; Yang, F.; Yang, W.; Sun, Y.; Hu, Q. Evaluation of Anti-Fatigue Property of the Extruded Product of Cereal Grains Mixed with Cordyceps militaris on Mice. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2017, 14, 15. [CrossRef] [PubMed]
21. Corchane Methods Bias. RoB 2: A Revised Cochrane Risk-of-Bias Tool for Randomized Trials. Available online: <https://methods.cochrane.org/bias/resources/rob-2-revised-cochrane-risk-bias-tool-randomized-trials> (accessed on 1 November 2025).
22. Hirsch, K.R.; Smith-Ryan, A.E.; Roelofs, E.J.; Trexler, E.T.; Mock, M.G. Cordyceps militaris Improves Tolerance to High-Intensity Exercise After Acute and Chronic Supplementation. *J. Diet. Suppl.* 2017, 14, 42–53. [CrossRef] [PubMed]
23. David Dudgeon, W. The Effects of High and Low-Dose Cordyceps Militaris-Containing Mushroom Blend Supplementation After Seven and Twenty-Eight Days. *Am. J. Sports Sci.* 2018, 6, 1. [CrossRef]
24. Wang, R. Effects of Cordyceps militaris Effective Substances on the Physical Function of Athletes. *J. Food Saf. Qual.* 2021, 12, 2802–2806.
25. Nakamura, A.; Shinozaki, E.; Suzuki, Y.; Santa, K.; Kumazawa, Y.; Kobayashi, F.; Nagaoka, I.; Koikawa, N. Effect of the Administration of Cordyceps militaris Mycelium Extract on Blood Markers for Anemia in Long-Distance Runners. *Nutrients* 2024, 16, 1835. [CrossRef]
26. Pasha, S.M.; Rajan, A.N.; Rathod, L.; Musfera, S.; Pasha, C. Improved Oxygen Saturation and Performance of Athletes Using Cordyceps militaris. *Asian J. Biol. Sci.* 2024, 17, 85–92. [CrossRef]
27. Dewi, L.; Khemtong, C. Ergogenic Aid by Cordyceps: Does It Work?? *Curr. Nutr. Rep.* 2025, 14, 97. [CrossRef] [PubMed]
28. Hirsch, K.R.; Mock, M.G.; Roelofs, E.J.; Trexler, E.T.; Smith-Ryan, A.E. Chronic Supplementation of a Mushroom Blend on Oxygen Kinetics, Peak Power, and Time to Exhaustion. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2015, 12, P45. [CrossRef]
29. Ler, H.Y.; Tan, J.Y.; Chan, K.Q. Effect of Cordyceps militaris, Arginine and Citrulline Supplementation on Long Distance Runners in Hot Conditions. In *Proceedings of the 8th International Conference on Movement, Health and Exercise*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2023; pp. 407–416.
30. Jedrejko, K.J.; Lazur, J.; Muszyńska, B. Cordyceps militaris: An Overview of Its Chemical Constituents in Relation to Biological Activity. *Foods* 2021, 10, 2634. [CrossRef]
31. Cheng, C.; Zhang, S.; Chen, C.; Gong, Y.; Ding, K.; Li, G.; Jiang, W.; Zhang, Z.; He, B.; Hu, Z.; et al. Cordycepin Combined with Antioxidant Effects Improves Fatigue Caused by Excessive Exercise. *Sci. Rep.* 2025, 15, 8141. [CrossRef]
32. Jedrejko, K.; Kała, K.; Sułkowska-Ziaja, K.; Krakowska, A.; Szewczyk, A.; Muszyńska, B. Determination of Cordycepin, Ergothioneine, and Other Bioactive Compounds in Cordyceps militaris Fruiting Bodies Cultivated on Different Substrates. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2025, 60, vvaf097. [CrossRef]
33. Cohen, N.; Cohen, J.; Asatiani, M.D.; Varshney, V.K.; Yu, H.-T.; Yang, Y.-C.; Li, Y.-H.; Mau, J.-L.; Wasser, S.P. Chemical Composition and Nutritional and Medicinal Value of Fruit Bodies and Submerged Cultured Mycelia of Culinary-Medicinal Higher Basidiomycetes Mushrooms. *Int. J. Med. Mushrooms* 2014, 16, 273–291. [CrossRef]
34. Labua, S.; Kenkhunhot, T. Comparison of Bioactive Compounds Contained in Discard Solid State Culture and Cordyceps militaris fruiting Bodywines. *J. Curr. Sci. Technol.* 2023, 13, 74–82.
35. Radhi, M.; Ashraf, S.; Lawrence, S.; Tranholm, A.A.; Wellham, P.A.D.; Hafeez, A.; Khamis, A.S.; Thomas, R.; McWilliams, D.; de Moor, C.H. A Systematic Review of the Biological Effects of Cordycepin. *Molecules* 2021, 26, 5886. [CrossRef] [PubMed]
36. Qin, P.; Li, X.; Yang, H.; Wang, Z.-Y.; Lu, D. Therapeutic Potential and Biological Applications of Cordycepin and Metabolic Mechanisms in Cordycepin-Producing Fungi. *Molecules* 2019, 24, 2231. [CrossRef]
37. Ashraf, S.A.; Elkhaila, A.E.O.; Siddiqui, A.J.; Patel, M.; Awadelkareem, A.M.; Snoussi, M.; Ashraf, M.S.; Adnan, M.; Hadi, S. Cordycepin for Health and Wellbeing: A Potent Bioactive Metabolite of an Entomopathogenic Medicinal Fungus Cordyceps with Its Nutraceutical and Therapeutic Potential. *Molecules* 2020, 25, 2735. [CrossRef]
38. Ahmad, M.F.; Ashraf, S.A.; Ahmad, F.A.; Ansari, J.A.; Siddiquee, M.R.A. Nutraceutical Market and Its Regulation. *Am. J. Food Technol.* 2011, 6, 342–347. [CrossRef]
39. Choi, E.; Oh, J.; Sung, G.-H. Beneficial Effect of Cordyceps militaris on Exercise Performance via Promoting Cellular Energy Production. *Mycobiology* 2020, 48, 512–517. [CrossRef]
40. Chai, X.; Pan, M.; Wang, J.; Feng, M.; Wang, Q.; Sun, Y. Cordycepin Exhibits Anti-Fatigue Effect via Activating TIGAR/SIRT1/PGC-1 α Signaling Pathway. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2022, 637, 127–135. [CrossRef] [PubMed]
41. Ma, L.; Li, Y. SIRT1: Role in Cardiovascular Biology. *Clin. Chim. Acta* 2015, 440, 8–15. [CrossRef] [PubMed]
42. Ontawong, A.; Pengnet, S.; Thim-Uam, A.; Munkong, N.; Narkprasom, N.; Narkprasom, K.; Kuntakut, K.; Kamkeaw, N.; Amornlerdpison, D. A Randomized Controlled Clinical Trial Examining the Effects of Cordyceps militaris Beverage on the Immune Response in Healthy Adults. *Sci. Rep.* 2024, 14, 7994. [CrossRef]
43. Chan, J.S.L.; Barseghyan, G.S.; Asatiani, M.D.; Wasser, S.P. Chemical Composition and Medicinal Value of Fruiting Bodies and Submerged Cultured Mycelia of Caterpillar Medicinal Fungus Cordyceps militaris CBS-132098 (Ascomycetes). *Int. J. Med. Mushrooms* 2015, 17, 649–659. [CrossRef] [PubMed]
44. Borodina, I.; Kenny, L.C.; McCarthy, C.M.; Paramasivan, K.; Pretorius, E.; Roberts, T.J.; van der Hoek, S.A.; Kell, D.B. The Biology of Ergothioneine, an Antioxidant Nutraceutical. *Nutr. Res. Rev.* 2020, 33, 190–217. [CrossRef]
45. Jedrejko, M.; Kała, K.; Muszyńska, B. Anserine, Balenine, and Ergothioneine: Impact of Histidine-Containing Compounds on Exercise Performance—A Narrative Review. *Nutrients* 2025, 17, 828. [CrossRef]
46. Halliwell, B.; Cheah, I. Ergothioneine, Where Are We Now? *FEBS Lett.* 2022, 596, 1227–1230. [CrossRef]
47. Cheah, I.K.; Feng, L.; Tang, R.M.Y.; Lim, K.H.C.; Halliwell, B. Ergothioneine Levels in an Elderly Population Decrease with Age and Incidence of Cognitive Decline: a Risk Factor for Neurodegeneration? *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2016, 478, 162–167. [CrossRef]
48. Meng, X.; Ohara, T.; Nishioka, K.; Shibata, M.; Katsube, M.; Tateishi, N.; Nakamura, Y.; Oishi, E.; Sakata, S.; Furuta, Y.; et al. Serum Ergothioneine and Risk of Dementia in a General Older Japanese Population: The Hisayama Study. *Psychiatry Clin. Neurosci.* 2025, 79, 808–816. [CrossRef] [PubMed]

49. Kondoh, H.; Teruya, T.; Kameda, M.; Yanagida, M. Decline of Ergothioneine in Frailty and Cognition Impairment. *FEBS Lett.* 2022, 596, 1270–1278. [CrossRef]
50. Nishioka, K.; Ishimoto, T.; Katsube, M.; Yamada, S.; Araragi, Y.; Yamashita, R.; Kato, Y. Characteristics of Ergothioneine Distribution across Skeletal Muscles and Adipose Tissues. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2025, 776, 152210. [CrossRef]
51. Chen, L.; Zhang, L.; Ye, X.; Deng, Z.; Zhao, C. Ergothioneine and Its Congeners: Anti-Ageing Mechanisms and Pharmacophore Biosynthesis. *Protein Cell* 2024, 15, 191–206. [CrossRef]
52. Dare, A.; Channa, M.L.; Nadar, A. L-Ergothioneine and Its Combination with Metformin Attenuates Renal Dysfunction in Type-2 Diabetic Rat Model by Activating Nrf2 Antioxidant Pathway. *Biomed. Pharmacother.* 2021, 141, 111921. [CrossRef]
53. Apparoo, Y.; Phan, C.W.; Kuppusamy, U.R.; Sabaratnam, V. Ergothioneine and Its Prospects as an Anti-Ageing Compound. *Exp. Gerontol.* 2022, 170, 111982. [CrossRef] [PubMed]
54. Sprenger, H.-G.; Mittenbühler, M.J.; Sun, Y.; Van Vranken, J.G.; Schindler, S.; Jayaraj, A.; Khetarpal, S.A.; Vargas-Castillo, A.; Puzynska, A.M.; Spinelli, J.B.; et al. Ergothioneine Boosts Mitochondrial Respiration and Exercise Performance via Direct Activation of MPST. *bioRxiv* 2024. [CrossRef]
55. Fovet, T.; Guilhot, C.; Delobel, P.; Chopard, A.; Py, G.; Brioché, T. Ergothioneine Improves Aerobic Performance Without Any Negative Effect on Early Muscle Recovery Signaling in Response to Acute Exercise. *Front. Physiol.* 2022, 13, 834597. [CrossRef]
56. Adah, A.S.; Ayo, J.O.; Rekwot, P.I.; Aluwong, T.; Adah, D.A. Haematological Profiles and Erythrocyte Fragility of Arabian Stallions Subjected to a 2000-m Maximal Race Following Administration of Ergothioneine. *Comp. Clin. Path.* 2021, 30, 641–646. [CrossRef]
57. Adah, A.; Ayo, J.; Rekwot, P.; Aluwong, T.; Adah, D. Ergothioneine Modulates Biomarkers of Oxidative Stress, Biochemical Profiles and Rectal Temperatures of Arabian Stallions Following Exercise in A Hot-Humid Environment. *Media Kedokt. Hewan* 2022, 33, 163–176. [CrossRef]
58. Adah, A.S.; Ayo, J.O.; Adah, D.A.; Nwonuma, C.O.; Lawal, T.A. Molecular Docking and Experimental Validation of the Effect of Ergothioneine on Heat Shock Protein-70 Following Endurance Exercise by Arabian Stallions. *BMC Vet. Res.* 2023, 19, 27. [CrossRef]
59. Zembron-Lacny, A.; Gajewski, M.; Naczek, M.; Siatkowski, I. Effect of Shiitake (*Lentinus edodes*) Extract on Antioxidant and Inflammatory Response to Prolonged Eccentric Exercise. *J. Physiol. Pharmacol.* 2013, 64, 249–254. [PubMed]
60. Cheah, I.K.; Tang, R.M.Y.; Yew, T.S.Z.; Lim, K.H.C.; Halliwell, B. Administration of Pure Ergothioneine to Healthy Human Subjects: Uptake, Metabolism, and Effects on Biomarkers of Oxidative Damage and Inflammation. *Antioxid. Redox Signal.* 2017, 26, 193–206. [CrossRef]
61. Yau, Y.F.; Cheah, I.K.; Mahendran, R.; Tang, R.M.; Chua, R.Y.; Goh, R.E.; Feng, L.; Li, J.; Kua, E.H.; Chen, C.; et al. Investigating the Efficacy of Ergothioneine to Delay Cognitive Decline in Mild Cognitively Impaired Subjects: A Pilot Study. *J. Alzheimer's Dis.* 2024, 102, 841–854. [CrossRef]
62. Zajac, I.; Kakoschke, N.; May-Zhang, L. The Effect of Ergothioneine Supplementation on Cognitive Function and Other Health-Related Outcomes in Older Adults with Subjective Memory Complaints. *Curr. Dev. Nutr.* 2024, 8, 103219. [CrossRef]
63. Zajac, I.T.; Kakoschke, N.; Kuhn-Sherlock, B.; May-Zhang, L.S. The Effect of Ergothioneine Supplementation on Cognitive Function, Memory, and Sleep in Older Adults with Subjective Memory Complaints: A Randomized Placebo-Controlled Trial. *Nutraceuticals* 2025, 5, 15. [CrossRef]
64. Ishimoto, T.; Yamashita, R.; Matsumoto, R.; Matsumoto, S.; Matsuo, Y.; Nakao, S.; Masuo, Y.; Suzuki, M.; Kato, Y. TrkB Phosphorylation in Serum Extracellular Vesicles Correlates with Cognitive Function Enhanced by Ergothioneine in Humans. *NPJ Sci. Food* 2024, 8, 11. [CrossRef] [PubMed]
65. Hu, Y.; Wu, Y.; Song, J.; Ma, M.; Xiao, Y.; Zeng, B. Advancing Cordyceps *militaris* Industry: Gene Manipulation and Sustainable Biotechnological Strategies. *Bioengineering* 2024, 11, 783. [CrossRef]
66. Meshram, V.; Jadhav, S.K.; Chandrawanshi, N.K. Strain Improvement of Cordyceps *militaris* for Optimized Bioactive Metabolite Biosynthesis: Current Progress and Prospective Approaches. *Antonie Van Leeuwenhoek* 2025, 118, 162. [CrossRef]
67. Chen, B.-X.; Xue, L.-N.; Wei, T.; Ye, Z.-W.; Li, X.-H.; Guo, L.-Q.; Lin, J.-F. Enhancement of Ergothioneine Production by Discovering and Regulating Its Metabolic Pathway in Cordyceps *militaris*. *Microb. Cell Fact.* 2022, 21, 169. [CrossRef]
68. Chamyuang, S.; Owatworakit, A.; Honda, Y. New Insights into Cordycepin Production in Cordyceps *militaris* and Applications. *Ann. Transl. Med.* 2019, 7, S78. [CrossRef]
69. Masuda, M.; Das, S.K.; Hatashita, M.; Fujihara, S.; Sakurai, A. Efficient Production of Cordycepin by the Cordyceps *militaris* Mutant G81-3 for Practical Use. *Process Biochem.* 2014, 49, 181–187. [CrossRef]
70. Kang, N.; Lee, H.-H.; Park, I.; Seo, Y.-S. Development of High Cordycepin-Producing Cordyceps *militaris* Strains. *Mycobiology* 2017, 45, 31–38. [CrossRef]
71. Masuda, M.; Urabe, E.; Honda, H.; Sakurai, A.; Sakakibara, M. Enhanced Production of Cordycepin by Surface Culture Using the Medicinal Mushroom Cordyceps *militaris*. *Enzym. Microb. Technol.* 2007, 40, 1199–1205. [CrossRef]
72. Turk, A.; Lee, S.; Yeon, S.W.; Ryu, S.H.; Han, Y.K.; Kim, Y.J.; Ko, S.M.; Kim, B.S.; Hwang, B.Y.; Lee, K.Y.; et al. Adenosine Deaminase Inhibitory Activity of Medicinal Plants: Boost the Production of Cordycepin in Cordyceps *militaris*. *Antioxidants* 2023, 12, 1260. [CrossRef]
73. Lee, S.K.; Lee, J.H.; Kim, H.R.; Chun, Y.; Lee, J.H.; Yoo, H.Y.; Park, C.; Kim, S.W. Improved Cordycepin Production by Cordyceps *militaris* KYL05 Using Casein Hydrolysate in Submerged Conditions. *Biomolecules* 2019, 9, 461. [CrossRef]
74. Long, L.; Liu, Z.; Wang, Y.; Lin, Q.; Ding, S.; Li, C.; Deng, C. High-Level Production of Cordycepin by the Xylose-Utilising Cordyceps *militaris* Strain 147 in an Optimised Medium. *Bioresour. Technol.* 2023, 388, 129742. [CrossRef] [PubMed]
75. Phoungthong, K.; Aiphuk, W.; Maneerat, T.; Suwunwong, T.; Choto, P.; Chomnunti, P. Utilization of Corncob Biochar in Cultivation Media for Cordycepin Production and Biomass of Cordyceps *militaris*. *Sustainability* 2022, 14, 9362. [CrossRef]
76. Fan, D.; Wang, W.; Zhong, J.-J. Enhancement of Cordycepin Production in Submerged Cultures of Cordyceps *militaris* by Addition of Ferrous Sulfate. *Biochem. Eng. J.* 2012, 60, 30–35. [CrossRef]
77. Dong, J.Z.; Lei, C.; Ai, X.R.; Wang, Y. Selenium Enrichment on Cordyceps *militaris* Link and Analysis on Its Main Active Components. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2012, 166, 1215–1224. [CrossRef] [PubMed]
78. Hu, T.; Liang, Y.; Zhao, G.; Wu, W.; Li, H.; Guo, Y. Selenium Biofortification and Antioxidant Activity in Cordyceps *militaris* Supplied with Selenate, Selenite, or Selenomethionine. *Biol. Trace Elem. Res.* 2019, 187, 553–561. [CrossRef]
79. Turk, A.; Abdelhamid, M.A.A.; Yeon, S.W.; Ryu, S.H.; Lee, S.; Ko, S.M.; Kim, B.S.; Pack, S.P.; Hwang, B.Y.; Lee, M.K. Cordyceps mushroom with Increased Cordycepin Content by the Cultivation on Edible Insects. *Front. Microbiol.* 2022, 13, 1017576. [CrossRef]

80. Tang, J.; Qian, Z.; Wu, H. Enhancing Cordycepin Production in Liquid Static Cultivation of *Cordyceps militaris* by Adding Vegetable Oils as the Secondary Carbon Source. *Bioresour. Technol.* 2018, 268, 60–67. [CrossRef]
81. Park, H.-J. Influence of Culture Conditions on Bioactive Compounds in *Cordyceps militaris*: A Comprehensive Review. *Foods* 2025, 14, 3408. [CrossRef]
82. Adnan, M.; Ashraf, S.A.; Khan, S.; Alshammari, E.; Awadelkareem, A.M. Effect of PH, Temperature and Incubation Time on Cordycepin Production from *Cordyceps militaris* Using Solid-State Fermentation on Various Substrates. *CyTA-J. Food* 2017, 15, 617–621. [CrossRef]
83. Lin, Y.-W.; Lee, T.-M.; Chung, C.-P.; Tsai, Y.-C.; Huang, D.-W.; Huang, P.-H. Growth of *Cordyceps militaris* Cultivation and Its Bioactive Component Accumulation as Affected by Various Single-Wavelength Light-Emitting Diodes (LED) Light Sources. *Int. J. Food Prop.* 2024, 27, 897–908. [CrossRef]
84. Wang, Y.; Yang, Z.; Bao, D.; Li, B.; Yin, X.; Wu, Y.; Chen, H.; Tang, G.; Li, N.; Zou, G. Improving Hypoxia Adaption Causes Distinct Effects on Growth and Bioactive Compounds Synthesis in an Entomopathogenic Fungus *Cordyceps militaris*. *Front. Microbiol.* 2021, 12, 698436. [CrossRef] [PubMed]
85. Kontogiannatos, D.; Koutrotsios, G.; Xekalaki, S.; Zervakis, G.I. Biomass and Cordycepin Production by the Medicinal Mushroom *Cordyceps militaris*—A Review of Various Aspects and Recent Trends towards the Exploitation of a Valuable Fungus. *J. Fungi* 2021, 7, 986. [CrossRef]
86. Trung, N.Q.; Quyen, P.D.T.; Ngoc, N.T.T.; Minh, T.N. Diversity of Host Species and Optimized Cultivation Practices for Enhanced Bioactive Compound Production in *Cordyceps militaris*. *Appl. Sci.* 2024, 14, 8418. [CrossRef]
87. Borde, M.; Singh, S.K. Enhanced Production of Cordycepin under Solid-State Fermentation of *Cordyceps militaris* by Using Combinations of Grains/Substrates. *Braz. J. Microbiol.* 2023, 54, 2765–2772. [CrossRef]
88. Turck, D.; Bresson, J.; Burlingame, B.; Dean, T.; Fairweather-Tait, S.; Heinonen, M.; Hirsch-Ernst, K.I.; Mangelsdorf, I.; McArdle, H.J.; Naska, A.; et al. Statement on the Safety of Synthetic L-ergothioneine as a Novel Food—Supplementary Dietary Exposure and Safety Assessment for Infants and Young Children, Pregnant and Breastfeeding Women. *EFSA J.* 2017, 15, e05060. [CrossRef]
89. Valiño-Marques, A.; Lamas, A.; Miranda, J.M.; Cepeda, A.; Regal, P. Nutritional Ergogenic Aids in Cycling: A Systematic Review. *Nutrients* 2024, 16, 1768. [CrossRef]
90. Bongiovanni, T.; Genovesi, F.; Carling, C.; Greco, G.; Jäger, R. From Science to Dressing Room: Dietary Supplements for Elite Soccer Performance. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2025, 10, 408. [CrossRef] [PubMed]
91. Chen, B.-X.; Wei, T.; Xue, L.-N.; Zheng, Q.-W.; Ye, Z.-W.; Zou, Y.; Yang, Y.; Yun, F.; Guo, L.-Q.; Lin, J.-F. Transcriptome Analysis Reveals the Flexibility of Cordycepin Network in *Cordyceps militaris* Activated by L-Alanine Addition. *Front. Microbiol.* 2020, 11, 577. [CrossRef] [PubMed]
92. Yu, W.; Zhao, Z.; Zeng, B.; Tu, Y.; He, B. Alanine Supplementation Enhancing Cordycepin Production in *Cordyceps militaris* via Upregulation of Cns2 and Cns3 Genes Expression Levels. *J. Food Drug Anal.* 2024, 32, 589–602. [CrossRef] [PubMed]
93. Schroer, A.B.; Saunders, M.J.; Baur, D.A.; Womack, C.J.; Luden, N.D. Cycling Time Trial Performance May Be Impaired by Whey Protein and L-Alanine Intake During Prolonged Exercise. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2014, 24, 507–515. [CrossRef]
94. Klein, J.; Nyhan, W.L.; Kern, M. The Effects of Alanine Ingestion on Metabolic Responses to Exercise in Cyclists. *Amino Acids* 2009, 37, 673–680. [CrossRef] [PubMed]
95. Ueda, K.; Nakamura, Y.; Yamaguchi, M.; Mori, T.; Uchida, M.; Fujita, S. Amino Acid Mixture Enriched With Arginine, Alanine, and Phenylalanine Stimulates Fat Metabolism During Exercise. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2016, 26, 46–54. [CrossRef] [PubMed]
96. Ueda, K.; Sanbongi, C.; Takai, S.; Ikegami, S.; Fujita, S. Combination of Aerobic Exercise and an Arginine, Alanine, and Phenylalanine Mixture Increases Fat Mobilization and Ketone Body Synthesis. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2017, 81, 1417–1424. [CrossRef] [PubMed]
97. Ueda, K.; Sanbongi, C.; Ikegami, S. An Arginine, Alanine, and Phenylalanine Mixture Increases Synthesis of Ketone Bodies during Low-Intensity Exercise via Stimulating Glucagon Secretion in Men with Obesity. *J. Phys. Fit. Sports Med.* 2017, 6, 325–333. [CrossRef]
98. Mantuano, P.; Bianchini, G.; Cappellari, O.; Boccanegra, B.; Conte, E.; Sanarica, F.; Mele, A.; Camerino, G.M.; Brandolini, L.; Allegretti, M.; et al. Ergogenic Effect of BCAAs and L-Alanine Supplementation: Proof-of-Concept Study in a Murine Model of Physiological Exercise. *Nutrients* 2020, 12, 2295. [CrossRef]
99. Leite, J.S.M.; Raizel, R.; Hypólito, T.M.; dos Santo Rosa, T.; Cruzat, V.F.; Tirapegui, J. L-Glutamine and L-Alanine Supplementation Increase Glutamine-Glutathione Axis and Muscle HSP-27 in Rats Trained Using a Progressive High-Intensity Resistance Exercise. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2016, 41, 842–849. [CrossRef]
100. Rhodes, K.M.; Baker, D.F.; Smith, B.T.; Braakhuis, A.J. Acute Effect of Oral N-Acetylcysteine on Muscle Soreness and Exercise Performance in Semi-Elite Rugby Players. *J. Diet. Suppl.* 2019, 16, 443–453. [CrossRef] [PubMed]
101. Fernández-Lázaro, D.; Domínguez-Ortega, C.; Busto, N.; Santamaría-Peláez, M.; Roche, E.; Gutiérrez-Abejón, E.; Mielgo-Ayuso, J. Influence of N-Acetylcysteine Supplementation on Physical Performance and Laboratory Biomarkers in Adult Males: A Systematic Review of Controlled Trials. *Nutrients* 2023, 15, 2463. [CrossRef] [PubMed]
102. Ferreira, L.F.; Campbell, K.S.; Reid, M.B. Effectiveness of Sulfur-Containing Antioxidants in Delaying Skeletal Muscle Fatigue. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2011, 43, 1025–1031. [CrossRef] [PubMed]
103. Hara, T.; Igawa, T.; Ishizaka, M.; Sawaya, Y.; Ito, A.; Yakabi, A.; Kubo, A. Effects of Pycnogenol-Containing Supplement on Professional Cycling Performance: A Single-Group Pretest-Posttest Pilot Study. *J. Phys. Fit. Sports Med.* 2021, 10, 219–224. [CrossRef]
104. Fernández-Lázaro, D.; Arribalzaga, S.; Gutiérrez-Abejón, E.; Azarbayjani, M.A.; Mielgo-Ayuso, J.; Roche, E. Omega-3 Fatty Acid Supplementation on Post-Exercise Inflammation, Muscle Damage, Oxidative Response, and Sports Performance in Physically Healthy Adults—A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Nutrients* 2024, 16, 2044. [CrossRef]
105. Jiao, Y.; Zhao, X.-Q.; Chang, Y.; Chen, H.-D. Chitosan Oligosaccharides-Modified Nanoliposome Improve the Stability, Antioxidant, and Anti-Inflammatory Activity of Cordycepin. *Carbohydr. Polym. Technol. Appl.* 2025, 11, 101002. [CrossRef]
106. Yang, J.; Tao, L.; Lou, D.; Patabendige, N.M.; Ediriweera, A.N.; Liu, S.; Lu, W.; Tarafder, E.; Rapior, S.; Hapuarachchi, K.K. Innovative Applications of Medicinal Mushrooms in Functional Foods and Nutraceuticals: A Focus on Health-Boosting Beverages. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 2025, 15, 1605301. [CrossRef]
107. Shi, H.; Zhang, M.; Bhandari, B.; Wang, Y.; Yi, S. Effects of Superfine Grinding on the Properties and Qualities of *Cordyceps militaris* and Its Spent Substrate. *J. Food Process. Preserv.* 2019, 43, e14169. [CrossRef]
108. Kała, K.; Cicha-Jeleń, M.; Hnatyk, K.; Krakowska, A.; Sułkowska-Ziaja, K.; Szewczyk, A.; Lazur, J.; Muszyńska, B. Coffee with *Cordyceps militaris* and *Hericium erinaceus* Fruiting Bodies as a Source of Essential Bioactive Substances. *Pharmaceuticals* 2024, 17, 955. [CrossRef]

109. Vitošević, B.; Filipović, M.; Popović, L.; Sterkowicz-Przybycień, K.; Purenović-Ivanović, T. Juice-Based Supplementation Strategies for Athletic Performance and Recovery: A Systematic Review. *Sports* 2025, 13, 269. [CrossRef]
110. Lvinger, I.; Goodman, C.; Hare, D.L.; Jerums, G.; Toia, D.; Selig, S. The Reliability of the 1RM Strength Test for Untrained Middle-Aged Individuals. *J. Sci. Med. Sport* 2009, 12, 310–316. [CrossRef]
111. de Cássia Macedo, M.; Souza, M.A.; Ferreira, K.R.; Campos, L.O.; Souza, I.S.O.; Barbosa, M.A.; Brito, C.J.; Intelangelo, L.; Barbosa, A.C. Validity and Test-Retest Reliability of a Novel Push Low-Cost Hand-Held Dynamometer for Knee Strength Assessment during Different Force Ranges. *Diagnostics* 2022, 12, 186. [CrossRef]
112. Gál-Potytöndy, A.; Petró, B.; Czétényi, A.; Négyesi, J.; Nagatomi, R.; Kiss, R.M. Collection and Advice on Basketball Field Tests—A Literature Review. *Appl. Sci.* 2021, 11, 8855. [CrossRef]
113. Jansen, M.; Elferink-Gemser, M.; Hoekstra, A.; Faber, I.; Huijgen, B. Design of a Tennis-Specific Agility Test (TAT) for Monitoring Tennis Players. *J. Hum. Kinet.* 2021, 80, 239–250. [CrossRef]
114. Saffarijournshari, M.; Zolala, E. Sports Musculoskeletal Injury in the Professional Athlete with Clinical and Rehabilitation Point. *Eurasian J. Chem. Med. Pet. Res.* 2025, 4, 116–128.
115. Martonovich, N.; Maman, D.; Mahamid, A.; Alfandari, L.; Behrbalk, E. The Wrist as a Weightbearing Joint in Adult Handstand Practitioners: A Cross-Sectional Survey of Chronic Pain and Training-Related Factors. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2025, 10, 372. [CrossRef]
116. Pham, H.; Spaniol, F. The Efficacy of Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs in Athletes for Injury Management, Training Response, and Athletic Performance: A Systematic Review. *Sports* 2024, 12, 302. [CrossRef] [PubMed]
117. Larsen, A.C.; Pedersen, J.R.; Møller, M.; Storm, L.K.; Koes, B.; Thorlund, J.B. The Impact of Injuries on Sports-Related Analgesic Use in Danish Youth Elite Athletes: A 4-Week Prospective Cohort Study. *J. Sci. Med. Sport* 2025, 28, 39–45. [CrossRef] [PubMed]
118. Christopher, S.; Tadlock, B.A.; Veroneau, B.J.; Harnish, C.; Perera, N.K.P.; Knab, A.M.; Vallabhajosula, S.; Bullock, G.S. Epidemiological Profile of Pain and Non-Steroid Anti-Inflammatory Drug Use in Collegiate Athletes in the United States. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2020, 21, 561. [CrossRef]
119. Pannone, E.; Abbott, R. What Is Known about the Health Effects of Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drug (NSAID) Use in Marathon and Ultraendurance Running: A Scoping Review. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2024, 10, e001846. [CrossRef]
120. Cornu, C.; Grange, C.; Regalin, A.; Munier, J.; Ounissi, S.; Reynaud, N.; Kassai-Koupai, B.; Sallet, P.; Nony, P. Effect of Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs on Sport Performance Indices in Healthy People: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Sports Med. Open* 2020, 6, 20. [CrossRef] [PubMed]
121. Phull, A.-R.; Ahmed, M.; Park, H.-J. Cordyceps militaris as a Bio Functional Food Source: Pharmacological Potential, Anti-Inflammatory Actions and Related Molecular Mechanisms. *Microorganisms* 2022, 10, 405. [CrossRef]
122. Broeckel, J.; Estes, L.; Leonard, M.; Dickerson, B.L.; Gonzalez, D.E.; Purpura, M.; Jäger, R.; Sowinski, R.J.; Rasmussen, C.J.; Kreider, R.B. Effects of Ginger Supplementation on Markers of Inflammation and Functional Capacity in Individuals with Mild to Moderate Joint Pain. *Nutrients* 2025, 17, 2365. [CrossRef]
123. Salter, D.; Yalamanchi, H.; Yalamanchi, A.; Yalamanchi, A. Ten Days of Supplementation with a Standardized Boswellia Serrata Extract Attenuates Soreness and Accelerates Recovery after Repeated Bouts of Downhill Running in Recreationally Active Men. *Front. Sports Act. Living* 2025, 7, 1488821. [CrossRef] [PubMed]
124. Ramakrishnan, B.; Muhamad, A.S.; Kuan, G. Combined Effects of Turmeric Supplementation and Strengthening Exercises on Knee Pain, Physical Function, and Quality of Life among Knee Osteoarthritis Patients. *Ann. Appl. Sport Sci.* 2025, 13, 1–13. [CrossRef]
125. Jedrejko, K.; Kała, K.; Sułkowska-Ziaja, K.; Pytko-Polończyk, J.; Muszyńska, B. Effect of Cordyceps spp. and Cordycepin on Functions of Bones and Teeth and Related Processes: A Review. *Molecules* 2022, 27, 8170. [CrossRef]
126. National Institutes of Health (NIH). Dietary Supplement Label Database. Available online: <https://dslid.od.nih.gov/> (accessed on 20 November 2025).
127. Walpurgis, K.; Thomas, A.; Geyer, H.; Mareck, U.; Thevis, M. Dietary Supplement and Food Contaminations and Their Implications for Doping Controls. *Foods* 2020, 9, 1012. [CrossRef]
128. Pokrywka, A.; Morawin, B.; Krzywański, J.; Zembroń-Lacny, A. An Overview on Tribulus terrestris in Sports Nutrition and Energy Regulation. In *Sustained Energy for Enhanced Human Functions and Activity*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2017; pp. 155–165.
129. Food and Drug Administration Ministry of Health and Welfare. Act Governing Food Safety and Sanitation. Available online: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/tw137915E.pdf> (accessed on 20 November 2025).
130. Jedrejko, K.; Lazarev, A.; Jedrejko, M.; Muszyńska, B. Ergogenic Properties, Safety Evaluation and Regulations of Selected Ingredients in Testosterone Booster Dietary Supplements. *Food Rev. Int.* 2024, 40, 1825–1853. [CrossRef]
131. Hsieh, S.-A.; Lin, T.-H.; Wang, J.-S.; Chen, J.-J.; Hsu, W.-K.; Ying, L.-C.; Liang, Z.-C. The Effects of Cordyceps militaris Fruiting Bodies in Micturition and Prostate Size in Benign Prostatic Hyperplasia Patients: A Pilot Study. *Pharmacol. Res.-Mod. Chin. Med.* 2022, 4, 100143. [CrossRef]
132. Kusama, K.; Miyagawa, M.; Ota, K.; Kuwabara, N.; Saeki, K.; Ohnishi, Y.; Kumaki, Y.; Aizawa, T.; Nakasone, T.; Okamatsu, S.; et al. Cordyceps militaris Fruit Body Extract Decreases Testosterone Catabolism and Testosterone-Stimulated Prostate Hypertrophy. *Nutrients* 2020, 13, 50. [CrossRef]
133. Salim, A.; Pangkahila, W.I.; Sriwidyani, N.P. The Administration of Cordyceps militaris Inhibited the Decrease of Leydig Cell Number and Testosterone Level in Male Wistar Rats (Rattus norvegicus) Exposed with Cigarette Smoke. *Eur. J. Biomed. Res.* 2023, 2, 1–4. [CrossRef]
134. Kopalli, S.R.; Cha, K.-M.; Lee, S.-H.; Hwang, S.-Y.; Lee, Y.-J.; Koppula, S.; Kim, S.-K. Cordycepin, an Active Constituent of Nutrient Powerhouse and Potential Medicinal Mushroom Cordyceps militaris Linn., Ameliorates Age-Related Testicular Dysfunction in Rats. *Nutrients* 2019, 11, 906. [CrossRef]
135. Isenmann, E.; Ambrosio, G.; Joseph, J.F.; Mazzarino, M.; de la Torre, X.; Zimmer, P.; Kazlauskas, R.; Goebel, C.; Botrè, F.; Diel, P.; et al. Ecdysteroids as Non-Conventional Anabolic Agent: Performance Enhancement by Ecdysterone Supplementation in Humans. *Arch. Toxicol.* 2019, 93, 1807–1816. [CrossRef] [PubMed]
136. Chan, K.Q.; Stewart, C.; Chester, N.; Hamzah, S.H.; Yusof, A. The Effect of Eurycoma longifolia on the Regulation of Reproductive Hormones in Young Males. *Andrologia* 2021, 53, e14001. [CrossRef]
137. Sankhwar, S.N.; Kumar, P.; Bagchi, M.; Rungta, M.; Bagchi, D. Safety and Efficacy of Furosap®, a Patented Trigonella foenum-graecum Seed Extract, in Boosting Testosterone Level, Reproductive Health and Mood Alleviation in Male Volunteers. *J. Am. Nutr. Assoc.* 2023, 42, 27–35. [CrossRef]

138. Steels, E.; Rao, A.; Vitetta, L. Physiological Aspects of Male Libido Enhanced by Standardized *Trigonella foenum-graecum* Extract and Mineral Formulation. *Phytother. Res.* 2011, 25, 1294–1300. [CrossRef] [PubMed]
139. Pokrywka, A.; Surala, O.; Grabowska, K.; Przybyla, M.; Granda, D.; Malecki, A.; Faiss, R.; Nowacka-Chmielewska, M. „Brain Doping” Substances: Prohibited or Not in Sports? *Biol. Sport* 2025, 42, 189–202. [CrossRef]
140. Qiu, M.; Jiang, J.; Jiang, W.; Zhang, W.; Jiang, Y.; Xin, F.; Jiang, M. The Biosynthesis of L-Phenylalanine-Derived Compounds by Engineered Microbes. *Biotechnol. Adv.* 2024, 77, 108448. [CrossRef] [PubMed]
141. Akram, M.; Daniyal, M.; Ali, A.; Zainab, R.; Ali Shah, S.M.; Munir, N.; Tahir, I.M. Role of Phenylalanine and Its Metabolites in Health and Neurological Disorders. In *Synucleins: Biochemistry and Role in Disease*; Surguchov, A., Ed.; IntechOpen: London, UK, 2020; pp. 49–57.
142. National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 6140, L-Phenylalanine. Available online: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/L-Phenylalanine> (accessed on 16 November 2025).
143. Ueda, K.; Sanbongi, C.; Yamaguchi, M.; Ikegami, S.; Hamaoka, T.; Fujita, S. The Effects of Phenylalanine on Exercise-Induced Fat Oxidation: A Preliminary, Double-Blind, Placebo-Controlled, Crossover Trial. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2017, 14, 34. [CrossRef] [PubMed]

Napomena izdavača

Izjave, mišljenja i podaci sadržani u svim publikacijama pripadaju isključivo pojedinačnim autorima i saradnicima, a ne MDPI-ju niti urednicima. MDPI i urednici ne prihvataju odgovornost za povrede ljudi ili imovine koje mogu nastati usled ideja, metoda, uputstava ili proizvoda navedenih u sadržaju.