



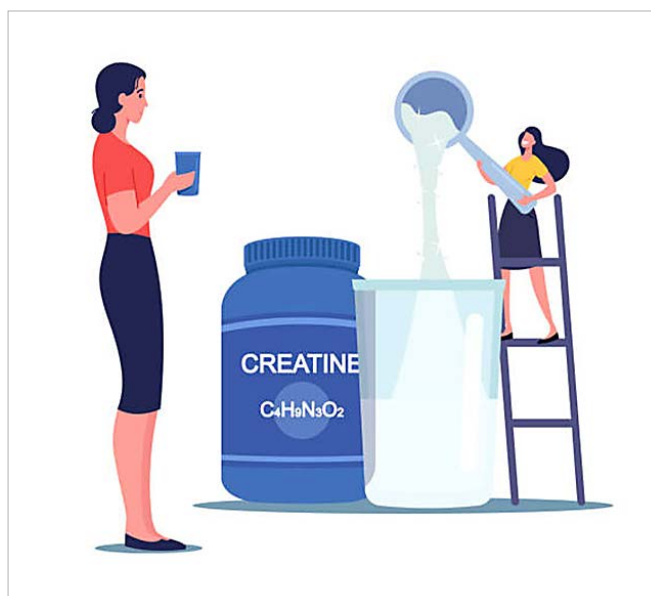
Kaja Kopačin,
Matevž Arčon

Kreatin in žensko telo: vloga prehranskega dopolnila v različnih življenjskih obdobjih

Izvilleček

Kreatin je eno najboljše raziskanih prehranskih dopolnil, ki se pogosto uporablja za izboljšanje posameznikove športne zmogljivosti, povečanje mišične mase in pospešitev regeneracije. V zadnjem obdobju se povečuje zanimanje za njegovo širšo uporabo tudi v povezavi z zdravjem žensk, zlasti v življenjskih obdobjih in procesih, zaznamovanih z večjim hormonskim nihanjem, kot so menstruacija, nosečnost, perimenopavza in menopavza. Ker imajo ženske pogosto manjše zaloge kreatina v mišicah, si lahko z ustreznimi prehranskimi dopolnili pomagajo do boljše telesne zmogljivosti, kognitivnih funkcij in splošnega počutja. Zato smo za ta prispevek pregledali znanstvene članke, v katerih poročajo o učinkih kreatina na žensko telo v različnih življenjskih obdobjih, s poudarkom na njegovem vplivu na mišično maso, regeneracijo, kostno gostoto, hormonsko ravnovesje in živčni sistem. Na podlagi pregleda smo zbrali ključne ugotovitve, ki so lahko v pomoč športnicam, trenerjem, zdravstvenemu osebju in drugim strokovnjakom pri načrtovanju varne in učinkovite uporabe kreatina.

Ključne besede: prehransko dopolnilo, menopavza, mišična masa, žensko telo, nosečnost



Vir slike: istockphoto.com

Creatine And The Female Body: The Role Of A Dietary Supplement Across Different Life Stages

Abstract

Creatine is one of the most extensively researched dietary supplements, commonly used to enhance athletic performance, muscle mass, and recovery. Recently, there has been growing interest in its broader application in the context of women's health, particularly across hormonally influenced life stages such as menstruation, perimenopause, menopause, and pregnancy. Due to generally lower intramuscular creatine stores, women may experience notable benefits from appropriate supplementation—both in terms of physical performance and cognitive function, as well as overall well-being. This paper reviews scientific literature addressing the effects of creatine on the female body throughout different phases of life, with a focus on its role in muscle mass, recovery, bone density, hormonal balance, and neurological health. Based on this review, key findings are summarized to support female athletes, coaches, healthcare professionals, and other experts in developing safe and effective creatine supplementation strategies.

Key words: dietary supplement, menopause, muscle mass, female body, pregnancy

■ UVOD

Uporaba kreatina kot prehranskega dopolnila se še naprej povečuje, delno zaradi njegove čedalje večje razširjenosti, saj se ne uporablja le za spodbujanje mišične rasti, temveč tudi na področjih kognitivnega zdravja, staranja in zdravja žensk (Smith-Ryan idr., 2025). Med ženskami po kreatinu namreč najpogosteje posegajo tiste z višjo izobrazbo, njegova uporaba pa v okviru te skupine narašča s starostjo (Kantor idr., 2016). Kreatin je tudi eden najbolj priljubljenih prehranskih ergogenih pripomočkov za športnike. Njegovi učinki temeljijo na več mehanizmih delovanja in se lahko razlikujejo med spoloma (Smith-Ryan idr., 2021). Številne študije kažejo, da uživanje kreatina poveča razpoložljivost kreatina in fosfokreatina v mišicah, to pa lahko izboljša akutno zmogljivost pri vadbi ter prispeva k prilagoditvam na trening pri mladostnikih (Grindstaff idr., 1997), mlajših odraslih (Ferguson in Syrotuik, 2006) in starejših posameznikov (Aguar idr., 2013). Dokazano je, da lahko dopolnilo s kreatinom izboljša okrevanje po vadbi, preprečuje poškodbe, vpliva na uravnavanje telesne temperature (termoregulacijo) in rehabilitacijo ter ima nevroprotektivni učinek na možgane in hrbtenjačo (Green idr., 1996; Kreider idr., 1998; Prass idr., 2007; Tarnopolsky, 2007; Volek idr., 2001; Watson idr., 2006).

Kreatin je naravna snov, ki jo telo predvsem v jetrih, ledvicah in trebušni slinavki proizvaja iz aminokislin (J. T. Brosnan in Brosnan, 2007). Kreatin so sposobna tvoriti tudi druga tkiva, med njimi možgani in moda (J. T. Brosnan idr., 2011). Sintetizira se s hitrostjo približno 1 g na dan prek medorganskega procesa. Naravno nastaja v dveh korakih iz aminokislin glicina in arginina (Gutiérrez-Hellín idr., 2025). Endogena sinteza kreatina se začne s prenosom amidinske skupine L-arginina na Na-aminsko skupino L-glicina po tako imenovanem mehanizmu ping-pong, ki ga katalizira L-arginin-glicin amidinotransferaza (AGAT-EC) (Humm idr., 1997). Pri tej prvi reakciji nastane L-ornitin in gvanidinoacetat (GAA), ki se nato s pomočjo gvanidinoacetat N-metiltransferaze (GAMT-EC) metilira na prvotnem dušiku glicina z uporabo S-adenozil-L-metionina kot dajalca metilne skupine.

Pri tej reakciji nastane močan nukleofil na deprotoniranem glicinskem N GAA, ki interagira z metilno skupino iz pozitivno nabitega sulfonijevega iona S-adenozil-L-metionina, pri čemer nastane kreatin in S-adenozil-L-cistein (Bonilla idr., 2021). Po sintezi se kreatin prenaša po krvnem obtoku do ciljnih tkiv s pomočjo prenašalcev, odvisnih od natrija (Na⁺) in klorida (Cl⁻) (Brault idr., 2003). Večina kreatina v telesu je v tkivih z velikimi energetskimi potrebami, kot so mišice in možgani, kjer ima ključno vlogo pri recikliranju adenozin trifosfata (ATP). ATP se reciklira s pretvorbo adenozin difosfata (ADP) nazaj v ATP z dodajanjem fosfatne skupine. Kreatin lahko kreatin kinaza fosforilizira v fosfokreatin, ki se uporablja kot zaloga energije v skeletnih mišicah in možganih (Gutiérrez-Hellín idr., 2025). V človeškem telesu je več kot 95 % kreatina shranjenega v skeletnih mišicah, od tega ga je približno tretjina v prosti obliki, preostanek pa je v fosforilirani obliki. Ravni proste in fosforiliranega kreatina v skeletnih mišicah se pri posamezniku razlikujejo. Nanje vplivajo dejavniki, kot so tip mišičnih vlaken, starost in bolezni, ne pa tudi trening ali spol (Balsom idr., 1994). Večje količine kreatina so bile ugotovljene tudi v drugih telesnih celicah, kot so nevroni, kardiomiociti in hepatociti. Poleg proizvodnje energije ima kreatin pomembno vlogo tudi pri intenzivnem telesnem naporu, saj v tkivih z visokimi energijskimi potrebami deluje kot učinkovit pufer in pomaga vzdrževati energijsko ravnovesje (M. E. Brosnan idr., 2007). Končni produkt presnove kreatina je kreatinin, ki nastane z neencimsko pretvorbo fosfokreatina in kreatina. Kreatinin se izloča skozi ledvice v količini približno 1 g/dan in velja za označevalec hitrosti glomerulne filtracije za odkrivanje morebitne ledvične patologije (Smith-Palmer, 2002). Kreatin in fosfokreatin se neencimsko in ireverzibilno razgradita v kreatinin s hitrostjo približno 1,7 % celotnih telesnih zalog na dan (Wyss in Kaddurah-Daouk, 2000). Ta kreatinin se izloči z urinom. Količina te izgube je sorazmerna z mišično maso, zato je večja pri moških kot pri ženskah in večja pri mlajših odraslih v primerjavi s starejšimi. Dnevno izločanje kreatinina (in izguba kreatina) se giblje od približno 1,7 g do približno 0,9 g pri 70 kg težkih moških (M. E. Brosnan idr., 2007).

Poleg endogene sinteze lahko kreatin v telo vnesemo tudi z uživanjem nekaterih živil (Gutiérrez-Hellín idr., 2025). Tako se ohranja telesna zaloga kreatina, saj se ta, ki se uporablja v telesnih tkivih, lahko dopolnjuje s hrano (rdeče meso in morska hrana) ali z novo sintezo (da Silva idr., 2009). Tipična prehrana vsejedcev vsebuje 1–2 g kreatina na dan in omogoča 60–80 % zasičenost mišičnih zalog. Vendar se ta količina lahko bistveno razlikuje glede na skupni energijski vnos in vrsto zaužite hrane (Kreider idr., 2017). Zato se z dodajanjem kreatina v prehrano mišični kreatin in fosfokreatin povečata za 20–40 % (Balsom idr., 1994).

V zadnjih letih je velik poudarek namenjen odkrivanju in razvoju nevroprotektivnih sredstev, ki bi lahko imela klinični pomen po travmatski poškodbi možganov (traumatic brain injury - TBI) (Mattson in Scheff, 1994). Te poškodbe, ki so pogosto posledica prometnih nesreč, padcev, napadov in različnih športnih aktivnosti, vsako leto prizadenejo zelo veliko ljudi po vsem svetu (Sullivan idr., 2000). Kot so dokazali v študijah, imajo številne živčno-mišične (npr. mišična distrofija) in nevro-metabolne (npr. mitohondrijske citopatije) motnje podobne mehanizme celične okvare, na te pa ugodno vpliva dodaten vnos kreatin monohidrata v telo, saj ima nevroprotektivne učinke (Tarnopolsky, 2007). Ker športne organizacije in mednarodna javnost v ospredje postavljajo skrb, povezano s tveganjem za pretres ali poškodbo možganov pri športnikih v kontaktnih športih, se povečuje tudi zanimanje za raziskovanje morebitne zaščitne vloge kreatina na tem področju. V nekaterih študijah poročajo, da je obseg poškodb možganske skorje manjši za 36–50 %, saj naj bi bila zaščita, ki jo zagotavlja kreatin, povezana z vzdrževanjem mitohondrijske presnovne učinkovitosti nevronov (Sullivan idr., 2000). Hausmann idr. (2002) so raziskovali učinke na podganah, ki so jih hranili s kreatinom (5 g/100 g suhe hrane) pred zmerno poškodbo hrbtenjače (spinal cord injury – SCI) in po njej. Ugotovitve so pokazale, da je uživanje kreatina pripomoglo k izboljšanju rezultatov pri testih lokomotornih funkcij in zmanjšanju velikosti brazgotinskega tkiva po poškodbi hrbtenjače. Sklepali so, da bi lahko predhodno dodajanje kreatina

bolnikom, po operaciji hrbtenice prav tako zagotovilo nevroprotekcijo. Podobno so Prass idr. (2007) poročali o ugotovitvah, da je dajanje kreatina podganam velikost možganskega infarkta po ishemičnem dogodku zmanjšalo za 40%. Pri drugih študijah, opravljenih na podganah ali miših, so dokazali, da kreatin izboljša presnovno učinkovitost možganskih celic in tako zmanjša posledice možganske ishemije ter da je uživanje dodatkov kreatina znatno zmanjšalo izgubo sive snovi po SCI (Adcock idr., 2003; Rabchevsky idr., 2003). Te ugotovitve so pomemben dokaz, da lahko dodaten vnos kreatina prispeva k omejitvi poškodb zaradi pretresa možganov, TBI in SCI, ob upoštevanju tega, da je varen za uporabo, pa bi ga lahko obravnavali tudi kot novo terapevtsko sredstvo za zaviranje ishemične poškodbe možganov pri ljudeh (Balestrino idr., 2016; Zhu idr., 2004).

Kot že navedeno, kreatin večinoma najdemo v mesu, ribah in drugih živilih živalskega izvora, zaradi česar imajo vegetarijanci običajno v mišicah manjše zaloge kreatina (90–110 mmol/kg puste mišične mase) (Braissant idr., 2011). Dodajanje kreatina lahko pri njih učinkoviteje poveča njegovo zalogo v mišicah, kar vodi do izboljšane vadbene zmogljivosti. Poleg tega raziskave nakazujejo, da ima kreatin pri vegetarijancih lahko tudi izrazitejši pozitiven učinek na kognitivne funkcije, zlasti spomin (Benton in Donohoe, 2011). Vendar pa je mogoče, da je učinek prehranskih dopolnil posreden. Rooney idr. (2003) so ugotovili, da je to vplivalo tudi na homeostazo glukoze. Pri oralnem glukoznem tolerančnem testu je bil odziv na glukozo večji, čeprav to ni vplivalo na raven inzulina.

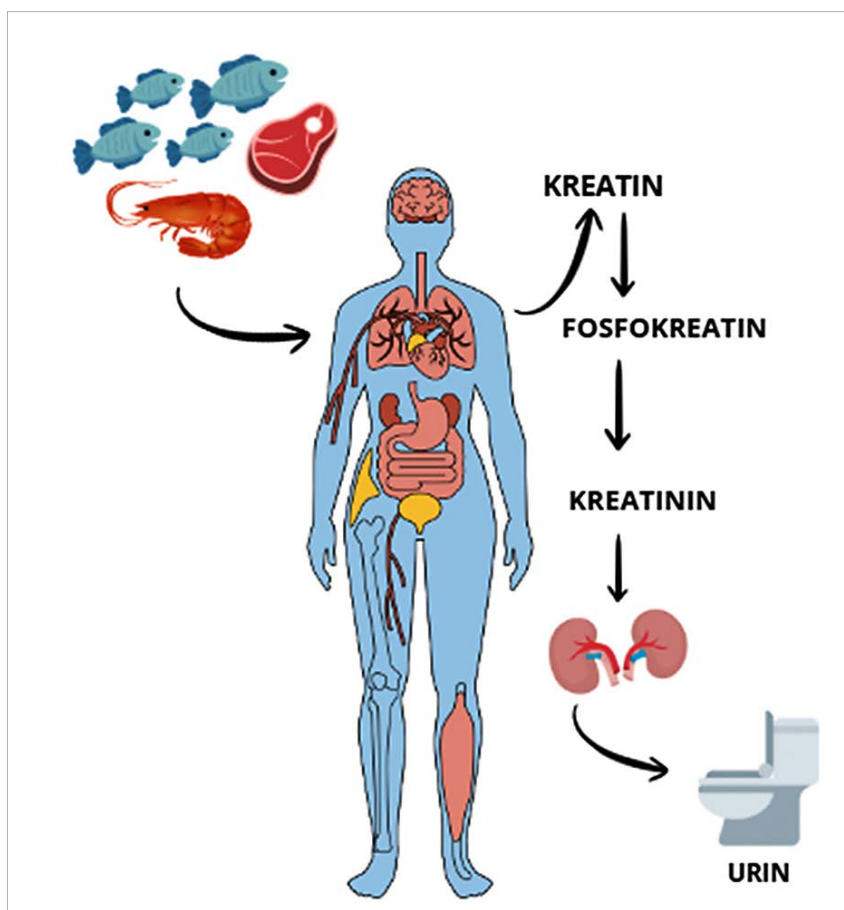
Kreatin je torej pomembna molekula s številnimi ključnimi funkcijami v telesu, od zagotavljanja energije mišicam in možganom do nevroprotektivnih učinkov. Zaradi številnih koristi, pri čemer ne gre le za izboljšanje telesne zmogljivosti, se kreatin čedalje bolj uveljavlja kot pomembno prehransko dopolnilo, še posebej pri specifičnih populacijah, kot so ženske, starejši in vegetarijanci, saj lahko prispeva k izboljšanju zdravja in kognitivnih funkcij ter višji kakovosti življenja.

VPLIV KREATINA NA MIŠIČNO MASO

Rast mišic vključuje povečanje mišične mase, običajno z vadbo za moč in uživanjem beljakovinskih dopolnil (Hartono idr., 2022). Uživanje beljakovin je ključna sestavina sodobnih prehranskih strategij, namenjenih kar najboljši regeneraciji po vadbi (Jäger idr., 2017). Uživanje beljakovin po vadbi prispeva k preoblikovanju skeletnih mišic, saj spodbuja sintezo beljakovin v mišicah ter optimizira povečanje mišične mase in moči po vadbi proti uporabi (Hartono idr., 2022). Rast mišic je že desetletja pomembna tema na področju športa v zadnjih letih pa je postala priljubljena tudi tema v klinični medicini (Wu idr., 2022).

Od osemdesetih let prejšnjega stoletja se na trgu pojavljajo številni dodatki za rast mišic, kot so sirotkine beljakovine, kazein, beta-hidroksi beta-metil butir, maščobne kisline omega-3 in kreatin (Nabuco idr., 2018). Kreatin, ergogena

spojina, je pomemben vmesni produkt pri presnovi v mišicah, možganih in drugih tkivih z velikimi energetskimi potrebami in pretoki (J. T. Brosnan in Brosnan, 2007). Ta spojina vpliva na mišično maso predvsem prek svojega delovanja kot fosfokreatin, ki omogoča hitro regeneracijo ATP med kratkotrajnimi in visoko intenzivnimi naporami (Wyss in Kaddurah-Daouk, 2000). Encim kreatin kinaza katalizira reakcijo, pri kateri fosfokreatin fosfatno skupino odda ADP in s tem obnovi ATP. Ta proces deluje kot hiter fosfatni rezervoar in omogoča takojšnjo energijsko podporo med intenzivno mišično aktivnostjo (J. T. Brosnan in Brosnan, 2007). Sistem kreatin, fosfokreatin in kreatin kinaza ima dve osnovni fiziološki funkciji. Pri prvi deluje kot pufer, ki pomaga vzdrževati stabilno razmerje med ATP in ADP ter tako omogoča neprekinjeno delovanje encimov, odgovornih za razgradnjo ATP, tudi med obremenitvami (Wallimann idr., 1992). Druga funkcija je transportna, tako imenovani model



Slika 1: Presnovna pot kreatina skozi človeško telo

»shuttle«, pri katerem fosfokreatin prenaša visokoenergijsko fosfatno skupino iz mitohondrijev do mest porabe, kot so miofibrili. Na teh mestih kreatin kinaza lokalno tvori ATP iz ADP, s čimer omogoča učinkovito in ciljno oskrbo z energijo brez potrebe po neposrednem prenosu ATP skozi celico (Turner in Gant, 2014).

Uživanje dodatkov kreatina dokazano poveča skupno vsebnost kreatina in fosfokreatina v mišicah, in sicer za približno 25–37 %. To posameznikom omogoča intenzivnejše treninge, saj se ATP hitreje obnavlja. Tako nastane večji mišični dražljaj, to pa vodi do večje rasti mišične mase. Potrjeno je, da kreatin v kombinaciji z vadbo poveča premer mišičnih vlaken in spodbuja izražanje mišičnih rastnih faktorjev, kot sta miogenin in MRF-4 (J. T. Brosnan in Brosnan, 2007). Kreatin se sicer v telesu sintetizira predvsem v ledvicah in jetrih iz aminokislin arginina in glicina. Mišice same nimajo zmoglosti za njegovo sintezo, zato morajo kreatin aktivno prevzemati iz krvi prek specifičnega kreatinskega transporterja, odvisnega od Na^+ in Cl^- (Fitch in Shields, 1966). Približno 94 % kreatina v telesu najdemo v mišicah, kar pomeni, da je učinkovit prenos kreatina v mišično tkivo ključen za vzdrževanje njegove funkcije. Mišične celice tako delujejo kot rezervoar visokoenergijskih fosfatov, saj je v njih velika koncentracija kreatina in fosfokreatina (Daly in Seifter, 1980). Vnos kreatina v mišice je saturabilen proces, kar pomeni, da ob dodatnem uživanju kreatina pride do nasičenja mišičnih zalog, nato pa se aktivnost kreatinskega transporterja zmanjša. Ta proces se uravnava tudi na hormonski ravni; na primer inzulin, β_2 -agonisti (kot je klenbuterol) in tiroidni hormoni lahko vplivajo na delovanje transporterjev, s tem pa na hitrost in obseg vnosa kreatina v celice (Haugland in Chang, 1975).

Sistem kreatin kinaze je zelo prilagodljiv in se lahko spremeni glede na potrebe tkiva. Na primer, mišice z veliko oksidativno sposobnostjo imajo višji delež mitohondrijskega kreatina kot mišice s pretežno hitrimi mišičnimi vlakni, pri katerih prevladuje citosolna oblika encima. To pomeni, da se sistem kreatin, fosfokreatin in kreatin kinaza lahko dinamično prilagaja fiziološkim spremembam

in telesnim obremenitvam, kar potrjuje njegovo ključno vlogo pri ohranjanju mišične zmogljivosti (Wyss in Kaddurah-Daouk, 2000).

■ VPLIV KREATINA NA ŽENSKO TELO

Kreatin je ena najboljše raziskanih in učinkovitih ergogenih snovi, predvsem med športniki moškega spola. Raziskav, v katerih bi bile vključene ženske, je precej manj. Razlike v telesni sestavi, hormonskem ozadju in metabolizmu lahko vplivajo na to, kako se ženske odzivajo na dodatke s kreatinom (Smith-Ryan idr., 2025). Ženske imajo običajno manj mišične mase in zato tudi manj kreatina v mišicah. Čeprav imajo lahko večjo relativno koncentracijo intramuskularnega kreatina, je njegova skupna telesna zaloga pri ženskah manjša, zato so možnosti za povečanje zalog s prehranskimi dopolnili večje (Tam idr., 2025). Ob tem so ženske morda manj občutljive za dodatke kreatina v smislu povečanja moči ali zmogljivosti – deloma zaradi manjše začetne mišične mase in razlike v hormonski regulaciji kreatinske homeostaze (Ellery idr., 2016).

Kreatin pri športnicah

Čeprav številne športnice navajajo, da uporabljajo prehranska dopolnila za povečanje moči, mišične mase in energije, dejansko posegajo predvsem po multivitaminskih pripravkih in energijskih napitkih. Kreatin in sirotkine beljakovine, ki dokazano izboljšujejo zmogljivost, se v tej populaciji uporabljajo precej manj. Razlogi za to so lahko pomanjkanje znanja in napačne predstave o učinkih kreatina (Eckerson, 2016). Z dodatnim vnosom kreatina se poveča količina fosfokreatina v mišicah, to pa omogoča večjo intenzivnost treningov, hitreje okrevanje ter večje prilagoditve v moči, mišični masi in zmogljivosti. Kambis in Pizzedaz (2003) sta dokazala, da so ženske, ki so ob vadbi za moč uživale kreatin, dosegle znatno večji napredek pri maksimalni moči in eksplozivnosti v primerjavi s skupinami s placebom. Moč se je še zlasti povečala pri vajah, kot so počepi, potiski s prsi in mrtvi dvigi, torej

pri kompleksnih večsklepnih vajah, pri katerih ima sposobnost hitrega regeneriranja ATP ključno vlogo. Ena najpomembnejših študij, ki je trajala deset tednov, je pokazala, da so udeležanke, ki so jemale kreatin, pridobile več mišične mase in moči, zlasti v spodnjem delu telesa (Vandenbergh idr., 1997). Tudi pri športnicah, kot so nogometašice in igralkе lacrossa, je kreatin pripomogel k izboljšanju rezultatov pri anaerobnih testih in povečanju maksimalne teže enkratne ponovitve pri vajah za moč ter k izboljšanju zmogljivosti pri ponavljajočih se sprintih in skokih (Brenner idr., 2000; Larson-Meyer idr., 2000). Z vidika telesne sestave, večina raziskav ni pokazala bistvenih sprememb pri količini telesne maščobe ali skupni telesni teži. Čeprav lahko nekatere ženske ob uživanju kreatina zaznajo rahlo povečanje telesne mase – običajno zaradi povečane znotrajcelične hidracije in mišičnega glikogena, pa se to ne izraža z negativnimi spremembami v videzu ali s povečano maščobno maso (Mihic idr., 2000). Nasprotno, kreatin lahko zaradi izboljšane zmogljivosti omogoči intenzivnejši trening, to pa sčasoma pripomore k večji mišični definiciji in zmanjšanju telesne maščobe (Stout idr., 2000). Pomembno je poudariti, da kreatin prispeva k boljši regeneraciji med intenzivno vadbo, kar omogoča večjo vadbeno frekvenco in volumen, brez povečanja tveganja za pretreniranost. To je še posebej koristno za športnice v disciplinah, pri katerih je ključna kombinacija moči, hitrosti in ponovljive eksplozivnosti, na primer v atletiki, borilnih veščinah, ekipnih športih ali pri funkcionalni vadbi (Eckerson, 2016). Vse to potrjuje, da je kreatin učinkovit pripomoček za ženske, ki želijo izboljšati svojo telesno zmogljivost, povečati mišično maso brez pridobivanja neželene maščobe in optimizirati rezultate treninga.

Kreatin in menstruacija

Običajni menstrualni cikel traja od 26 do 35 dni (Mihm idr., 2011). Razdelimo ga lahko na dve glavni fazi, folikularno in lutealno fazo, ki ju ločuje ovulacija. Za vsako od teh faz je značilno nihanje estrogena, progesterona, luteinizirajočega hormona (LH) in folikle stimulirajočega

hormona (Sherman in Korenman, 1975). V standardnem 28-dnevem ciklu menstruacija začne cikel v zgodnji folikularni fazi (1. – 7. dan); v tej fazi so ravni hormonov najnižje. V pozni folikularni fazi (7. – 14. dan) se v dneh pred ovulacijo (14. dan) zviša raven estrogena, LH in progesterona. Za zgodnjo lutealno fazo (15. – 21. dan) je značilno veliko povečanje ravni progesterona in tudi ravni estrogena. V srednji lutealni fazi (21. dan) sta ravni estrogena in progesterona najvišji, v pozni lutealni fazi (22. – 28. dan) pa se znižata (Draper idr., 2018; Elliott-Sale idr., 2021).

Menstrualni cikel pomembno vpliva na presnovo energije, sintezo beljakovin, zadrževanje vode in razpoložljivost energijskih virov, kar lahko vpliva na učinek kreatina pri ženskah. V lutealni fazi menstrualnega ciklusa, ko sta estrogen in progesteron povišana, ženske težje ohranjajo visoko intenzivnost vadbe, delno tudi zaradi večje razgradnje beljakovin, zmanjšanih zalog glikogena in povečanega oksidativnega stresa (Volek idr., 2006). Kot poudarjajo Tam idr. (2025), lahko kreatin te fiziološke spremembe omili tako, da izboljša mišično regeneracijo, zmanjša razgradnjo ATP in blaži utrujenost. Poleg tega vpliva tudi na zadrževanje vode v mišicah, kar je lahko še posebej pomembno v fazi, ko hormonska nihanja porušijo ravnotežje tekočin (Sherman in Korenman, 1975). Druga raziskava je pokazala, da lahko dodajanje kreatina monohidrata pozitivno vpliva na nekatere vidike športne zmogljivosti pri ženskah, še posebej v lutealni fazi menstrualnega cikla. V tej fazi so opazili približno 5-odstotno zmanjšanje utrujenosti pri ženskah, ki so prejemale prehransko dopolnilo, v primerjavi z manj kot 1-odstotno spremembo pri tistih, ki so dobivale placebo. Čeprav te razlike niso bile statistično značilne, podatki kažejo, da bi lahko kreatin pomagal ublažiti zmanjšanje zmogljivosti, ki se pogosto pojavi v tej fazi menstrualnega cikla. Na podlagi tega lahko predlagamo, da bi kratkotrajno dodajanje kreatina, približno pet dni pred začetkom ovulacije, lahko pomagalo optimizirati športno pripravljenost in zmogljivost pri aktivnih ženskah (Gordon idr., 2023).

Kreatin med nosečnostjo

Kreatin je bil že leta 1974 prepoznan kot pomemben za feto-placenti sistem, saj se aktivno prenaša iz materine krvi v posteljico. Tam se kopiči in se nato prek koncentracijskega gradienta prenese v plod (Ellery idr., 2016). V človeški posteljici je gen za kreatinski transporter (SLC6A8) že od 13. tedna nosečnosti. Hormoni, kot sta IGF-1 in trijodtironin, ki sta med nosečnostjo povišana, povečujeta izražanje tega transporterja in s tem vnos kreatina v posteljico (Osathanondh idr., 1976). Posteljica je zelo metabolično aktivna in verjetno neposredno potrebuje kreatin in fosfokreatin za učinkovito proizvodnjo in prenos energije. To omogoča encim kreatin kinaza, katerega izražanje se v posteljici močno poveča v tretjem tromesečju (Haas idr., 1989). Ta povečana izražnost sovпада z večjimi energetske potrebe posteljice proti koncu nosečnosti. Povišane ravni estrogena med nosečnostjo naj bi vplivala na povečano izražanje kreatin kinaze (Stallings idr., 1988). Čeprav kreatin trenutno ni uradno priznan kot esencialni metabolit za rast ploda, obstajajo dokazi, da lahko nizke ravni kreatina pri materi negativno vplivajo na razvoj ploda. To se lahko zgodi pri dietah brez mesa ali pri motnjah v sintezi kreatina. Ni pa znano, kdaj plod razvije sposobnost lastne sinteze kreatina (Ellery idr., 2016). Študije na živalih kažejo, da se med nosečnostjo ravnovesje kreatina močno spremeni – znižajo se ravni kreatina v krvi, spremeni se izločanje, hkrati pa se poveča sinteza v nekaterih organih (Ellery idr., 2015). Te prilagoditve v homeostazi kreatina so namenjene temu, da se zadovoljijo energijske potrebe ploda in posteljice. Raziskave kažejo, da je količina kreatina, ki ga mati izloči z urinom, povezana s težo novorojenčka, kar kaže na pomembnost kreatina za rast ploda (Braissant idr., 2005). Novorojenčki imajo zelo visoke ravni kreatin kinaze v krvi, kar kaže na velike energijske potrebe v prvih dneh življenja, vendar natančen pomen teh povišanih ravni še ni povsem jasan (O'Connell idr., 2013). Kreatin uradno ni opredeljen kot esencialno prehransko dopolnilo v nosečnosti, a je na voljo vse več dokazov o njegovi pomembnosti za zdrav razvoj ploda. Potrebne so dodatne raziskave o sintezi kreatina pri plodu,

posteljici in materi ter o vplivih pomanjkanja kreatina na potek nosečnosti.

Kreatin v perimenopavzi

Perimenopavza je prehodna faza v postproduktivno življenjsko obdobje ženske. V perimenopavzi se zmanjša delovanje jajčnikovih foliklov, kar povzroči nihanje in na koncu znižanje ravni estrogena in progesterona ter visoke ravni folikle stimulirajočega hormona (FSH) (de Kruif idr., 2016). Ta nihanja v ravni ženskih spolnih hormonov pogosto spremljajo negativni simptomi, ki lahko poslabšajo kakovost življenja (Gibbs idr., 2013). Med pogoste stranske učinke perimenopavze spadajo presnovne težave, ki vodijo do neželenih sprememb v telesni sestavi, povečanje vazomotornih simptomov ter poslabšanje duševnega zdravja in kognitivnih funkcij. To prehodno obdobje je ključna faza, v kateri bi lahko imelo dodajanje kreatina pomembne koristi (Smith-Ryan idr., 2025). Upadanje ravni estrogena, progesterona in testosterona v perimenopavzi vodi v izgubo mišične mase in mišične moči (Smith-Ryan idr., 2023). Kreatin, zlasti v kombinaciji z vadbo za moč, lahko pomaga ublažiti to izgubo in prispeva k ohranjanju moči, kar je izjemno pomembna v obdobju, ko se mišična masa zmanjšuje za približno 0,7 kg na leto (Greendale idr., 2019). To obdobje je povezano tudi z zmanjševanjem kostne gostote, zaradi česar se povečuje tveganje za nastanek osteoporoze (Smith-Ryan idr., 2021). K zdravju kosti lahko kreatin prispeva tako, da poveča mišično moč in izboljša ravnotežje, s čimer se zmanjša tveganje za padce. Raziskave so pokazale, da kreatin ugodno vpliva na mineralno kostno gostoto pri starejših ženskah po menopavzi, prehranska dopolnila pa bi bilo smiselno začeti jemati že prej, v starosti 40–50 let, ko se začne kostna masa naravno upadati (Smith-Ryan idr., 2025). Utrujenost je ena najpogostejših težav žensk v perimenopavzi. Kreatin povečuje razpoložljivost energije v celicah, kar je še posebej pomembno v obdobjih hormonskega nihanja. Kreatin dodatno pripomore k večji intenzivnosti vadbe, večji količini treninga, boljši regeneraciji in daljšemu trajanju spanja po vadbi za moč, kar posredno vpliva na mišično maso, telesno sestavo in zdravje kosti. V perimenopavzi

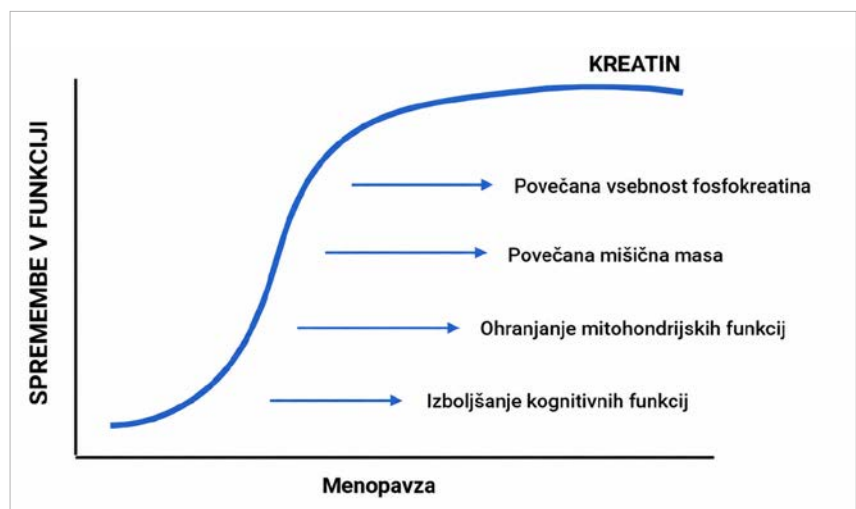
so prav tako pogosti kognitivni upadi, kot so težave s spominom in zbranostjo. Ker kreatin podpira regeneracijo ATP tudi v možganih, lahko izboljša možganske funkcije, zmanjša duševno utrujenost in pomaga ohraniti kognitivne sposobnosti (Rawson idr., 2011). Pogosto se pojavljajo tudi čustvena občutljivost nihanj in spremembe razpoloženja. Kreatin lahko z izboljšanjem ravni energije in kognitivnega delovanja prispeva k stabilnejšem razpoloženju (Allen, 2012). Ta spojina je obetavno prehransko dopolnilo za ženske v perimenopavzi, saj lahko blaži številne fiziološke in psihološke spremembe v tem občutljivem obdobju. Kljub pomanjkanju neposrednih raziskav razpoložljivi dokazi poudarjajo nujnost nadaljnega, poglobljenega proučevanja potenciala kreatina v tej življenjski fazi.

Kreatin v menopavzi

Po menopavzi ženske doživljajo velik upad estrogena, kar ima večsmerne negativne posledice na mišično-kostni in presnovni sistem (Evans, 2004). Ta hormonski primanjkljaj vodi v povečano mišično proteolizo, zmanjšano sintezo kolagena, nižjo mineralizacijo kosti in povečano oksidativno obremenitev celic (Ellery idr., 2016). Posledično se razvijata sarkopenija ter osteopenija oziroma osteoporoza (zmanjšana kostna gostota), ki povečujeta tveganje za padce, zlome in izgubo funkcionalne samostojnosti (Hernandez idr., 2003). Kreatin se je v tem pogledu izkazal kot učinkovito prehransko dopolnilo, ki deluje zaščitno na več ravneh. Povečuje mišično vsebnost fosfokreatina, izboljšuje regeneracijo ATP med vadbo in po njej ter s tem omogoča večjo zmogljivost, boljše okrevanje in večjo telesno vzdržljivost. V kombinaciji z vadbo za moč kreatin dokazano pomaga ohraniti oziroma celo povečevati mišično maso ter zmanjša izgubo kostne gostote, saj večja mišična sila deluje kot mehanski dražljaj za aktivacijo osteoblastov, tj. celic odgovornih za gradnjo kostnine (Candow idr., 2019). Poleg tega kreatin prispeva k ohranjanju mitohondrijske funkcije z izboljšanjem fosfotransferaznih mehanizmov in zmanjšanjem nastajanja reaktivnih kisikovih spojin, kar je pomembno za zmanjšanje oksidativnega



Slika 2: Fiziološke spremembe v telesu med menopavzo



Slika 3: Fiziološke spremembe v telesu med menopavzo ob uporabi kreatina

stresa (Meyer idr., 2006). Poleg telesnih koristi pomembno vpliva tudi na kognitivno zdravje, ki je v obdobju menopavze pogosto prizadeto. Študije so pokazale, da kreatin izboljša cerebralno energetsko preskrbo, zlasti v frontalnem in hipokampusovem režnju možganov, kar se odraža v boljši delovni pozornosti, kratkoročnem spominu in zmanjšanju depresivnih simptomov (Allen, 2012). V dvoletni randomizirani študiji na postmenopavznih ženskah so raziskovalci ugotovili, da redno uživanje kreatina izboljša strukturne značilnosti kosti in zavira izgubo mišične mase (Chilibeck idr., 2023). Kreatin torej ne prispeva le k izboljšani telesni sestavi, večji zmogljivosti in boljšemu počutju, temveč pomeni tudi obetavno strategijo za ohranjanje fizičnega in duševnega zdravja ter kakovosti življenja pri ženskah v zrelejšem življenjskem obdobju.

STRATEGIJE ODMERJANJA KREATINA

Običajna strategija jemanja kreatina predvideva od 4- do 7-dnevno fazo nalaganja, v kateri posameznik zaužije 20 g kreatina na dan, in sicer v štirih odmerkih po 5 g na približno vsake 4 ure. Po tej fazi sledi vzdrževalna faza, v kateri kjer se jemlje po 3–5 g na dan, da se ohranijo povišane ravni kreatina v mišicah. Alternativna strategija, ki upošteva telesno maso, priporoča 0,3 g/kg/dan v fazi nalaganja in 0,03 g/kg/dan v vzdrževalni fazi (Volek idr., 2008). Čeprav je običajno priporočeno nalaganje 4–7 dni, ugotovitve kažejo, da se največje kopičenje kreatina v mišicah zgodi že v prvih dveh dneh (Harris idr., 1992). Poleg tega se je izkazalo, da lahko dnevni odmerek 3 g kreatina v obdobju 28 dneh

doseže podobne rezultate kot klasična faza nalaganja – torej se kreatin lahko »počasni nalaga« in s tem morda zmanjša pojav neželenih učinkov (Hultman idr., 1996).

Več študij je pokazalo, da se žensko telo na nalaganje kreatina odzove podobno kot moško. Večina raziskav poroča o povečanju skupne vsebnosti kreatina v mišicah za 18–20 %, medtem ko se je raven fosfokreatina zvišala za 6,0–7,8 % (Eckerson, 2016). McKenna idr. (1999) so ugotovili, da so tako moški kot ženske po petih dneh nalaganja dosegli podobno povečanje vsebnosti kreatina v mišicah (21,5 % pri moških in 19 % pri ženskah). Harris idr. (1992) so prav tako poročali o 17,2-odstotnem povečanju, ne glede na spol ali starost.

Kljub splošno priznani učinkovitosti uživanja kreatina se pri približno 20–30 % posameznikov opazno izboljšanje ne pokaže, zaradi česar jih uvrščamo med tako imenovane neodzivnike (Hausmann idr., 2002). Stout idr. (2000) so ugotovili, da so se na kreatin najboljše odzvali posamezniki z nižjima začetnima ravnema prostega kreatina in fosfokreatina v mišicah, z višjim deležem hitrih mišičnih vlaken in z večjo mišično maso oziroma večjo pusto telesno maso. Čeprav je bila ta raziskava izvedena le pri moških, druge študije kažejo, da je razporeditev počasnih in hitrih mišičnih vlaken podobna pri obeh spolih. Zato lahko sklepamo, da bi tudi ženske s podobnimi fiziološkimi značilnostmi lahko dosegle boljši odziv na dodajanje kreatina (Staron idr., 2000).

Kreatin se izkaže za učinkovit ergogeni dodatek, zlasti pri ženskah z nižjo začetno ravniyo kreatina. To vključuje številne športnice in še posebej vegetarijance. Učinek kreatina je pri večini žensk podoben kot pri moških, vendar je odziv odvisen od posameznih fizioloških značilnosti in začetnega stanja mišičnih zalog.

■ ZAKLJUČEK

Kreatin je ena najtemeljiteje raziskanih ergogenih snovi v športni in klinični prehrani, a so bile raziskave dolgo časa osredotočene predvsem na moško populacijo. V

zadnjem desetletju čedalje več dokazov potrjuje, da ima kreatin pomembne fiziološke in funkcionalne učinke tudi pri ženskah, in to ne le v športnem kontekstu, temveč tudi v različnih življenjskih obdobjih in pri različnih fizioloških procesih, kot so menstrualni cikel, perimenopavza, menopavza in celo nosečnost.

Na fiziološki ravni deluje kot ključni medij za hitro regeneracijo adenozin trifosfata preko sistema fosfokreatin in kreatin kinaza. Ker se večina kreatina skladišči v skeletnih mišicah in možganih, njegovo uživanje v obliki dopolnil neposredno vpliva na mišično moč, vzdržljivost, okrevanje, kognitivne sposobnosti in celično homeostazo. Pri ženskah, ki imajo praviloma manjšo skupno mišično maso in manjše zaloge intramuskularnega kreatina, so možnosti za pozitiven učinek še večje. Študije so pokazale, da kreatin izboljšuje mišično zmogljivost, povečuje učinkovitost regeneracije med vadbo, spodbuja ohranjanje mišične mase in zmanjša utrujenost. Ti učinki so še posebej izraziti v hormonsko občutljivih obdobjih, kot sta lutealna faza menstrualnega cikla ali perimenopavza.

Pomembno je tudi, da kreatin ob priporočenih odmerkih ne kaže klinično pomembnih negativnih stranskih učinkov. V znanstveni literaturi glede jemanja kreatina ni zaznani večjih varnostnih tveganj, prav tako ne pri njegovi dolgotrajni uporabi. Seveda pa je treba poudariti, da je uporaba kreatina pri ženskah še vedno precej neraziskana, zlasti z vidika različnih hormonskih statusov, življenjskih obdobjih in potencialne vloge v duševnem zdravju.

Zato se morajo raziskave nujno usmeriti v poglobljeno proučevanje kreatina kot večdimenzionalnega prehranskega dopolnila za ženske. Treba bo natančneje opredeliti protokole odmerjanja, časovno usklajenost z menstrualnim ciklom ter njegove dolgotrajne učinke na mišično-kostni, hormonski in nevrološki sistem. Kreatin pomeni velik potencial – ne le za športnice, temveč tudi za splošno žensko populacijo, ki si prizadeva za ohranjanje fizičnega zdravja in kognitivne ostrine ter za kakovostno preživljanje staranja.

■ LITERATURA

1. Adcock, K. H., Nedelcu, J., Loenneker, T., Martin, E., Wallimann, T. in Wagner, B. P. (2003). Neuroprotection of Creatine Supplementation in Neonatal Rats with Transient Cerebral Hypoxia-Ischemia. *Developmental Neuroscience*, 24(5), 382–388. <https://doi.org/10.1159/000069043>
2. Aguiar, A. F., Januário, R. S. B., Junior, R. P., George, A. M., Pina, F. L. C., do Nascimento, M. A., Padovani, C. R. in Cyrino, E. S. (2013). Long-term creatine supplementation improves muscular performance during resistance training in older women. *European Journal of Applied Physiology*, 113(4), 987–996. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2514-6>
3. Allen, P. J. (2012). Creatine metabolism and psychiatric disorders: Does creatine supplementation have therapeutic value? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(5), 1442–1462. <https://doi.org/10.1016/j.neubio-rev.2012.03.005>
4. Balestrino, M., Sarocchi, M., Adriano, E. in Spallarossa, P. (2016). Potential of creatine or phosphocreatine supplementation in cerebrovascular disease and in ischemic heart disease. *Amino Acids*, 48(8), 1955–1967. <https://doi.org/10.1007/s00726-016-2173-8>
5. Balsom, P. D., Söderlund, K. in Ekblom, B. (1994). Creatine in Humans with Special Reference to Creatine Supplementation. *Sports Medicine*, 18(4), 268–280. <https://doi.org/10.2165/00007256-199418040-00005>
6. Benton, D. in Donohoe, R. (2011). The influence of creatine supplementation on the cognitive functioning of vegetarians and omnivores. *British Journal of Nutrition*, 105(7), 1100–1105. <https://doi.org/10.1017/S0007114510004733>
7. Bonilla, D. A., Kreider, R. B., Stout, J. R., Forero, D. A., Kerkick, C. M., Roberts, M. D. in Rawson, E. S. (2021). Metabolic Basis of Creatine in Health and Disease: A Bioinformatics-Assisted Review. *Nutrients*, 13(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/nu13041238>
8. Braissant, O., Henry, H., Béard, E. in Uldry, J. (2011). Creatine deficiency syndromes and the importance of creatine synthesis in the brain. *Amino Acids*, 40(5), 1315–1324. <https://doi.org/10.1007/s00726-011-0852-z>
9. Braissant, O., Henry, H., Villard, A.-M., Speer, O., Wallimann, T. in Bachmann, C. (2005). Creatine synthesis and transport during rat embryogenesis: Spatiotemporal expression of AGAT, GAMT and CT1. *BMC Developmental Biology*, 5(1), 9. <https://doi.org/10.1186/1471-213X-5-9>
10. Brault, J. J., Abraham, K. A. in Terjung, R. L. (2003). Muscle creatine uptake and creatine transporter expression in response to creatine supplementation and depletion. *Journal of Applied Physiology*, 94(6), 2173–2180. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01171.2002>

11. Brenner, M., Rankin, J. W. in Sebolt, D. (2000). The Effect of Creatine Supplementation During Resistance Training in Women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(2), 207.
12. Brosnan, J. T. in Brosnan, M. E. (2007). Creatine: Endogenous Metabolite, Dietary, and Therapeutic Supplement. *Annual Review of Nutrition*, 27([Volume 27, 2007, Volume 27]), 241–261. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.27.061406.093621>
13. Brosnan, J. T., da Silva, R. P. in Brosnan, M. E. (2011). The metabolic burden of creatine synthesis. *Amino Acids*, 40(5), 1325–1331. <https://doi.org/10.1007/s00726-011-0853-y>
14. Brosnan, M. E., Edison, E. E., da Silva, R. in Brosnan, J. T. (2007). New insights into creatine function and synthesis. *Advances in Enzyme Regulation*, 47(1), 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.advenreg.2006.12.005>
15. Candow, D. G., Forbes, S. C., Chilibeck, P. D., Cornish, S. M., Antonio, J. in Kreider, R. B. (2019). Effectiveness of Creatine Supplementation on Aging Muscle and Bone: Focus on Falls Prevention and Inflammation. *Journal of Clinical Medicine*, 8(4), 488. <https://doi.org/10.3390/jcm8040488>
16. Chilibeck, P. D., Candow, D. G., Gordon, J. J., Duff, W. R. D., Mason, R., Shaw, K., Taylor-Gjevrev, R., Nair, B. in Zello, G. A. (2023). A 2-yr Randomized Controlled Trial on Creatine Supplementation during Exercise for Postmenopausal Bone Health. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 55(10), 1750–1760. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003202>
17. da Silva, R. P., Nissim, I., Brosnan, M. E. in Brosnan, J. T. (2009). Creatine synthesis: hepatic metabolism of guanidinoacetate and creatine in the rat in vitro and in vivo. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 296(2), E256–E261. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.90547.2008>
18. Daly, M. M. in Seifter, S. (1980). Uptake of creatine by cultured cells. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 203(1), 317–324. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(80\)90182-4](https://doi.org/10.1016/0003-9861(80)90182-4)
19. de Kruif, M., Spijker, A. T. in Molendijk, M. L. (2016). Depression during the perimenopause: A meta-analysis. *Journal of Affective Disorders*, 206, 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.07.040>
20. Draper, C. F., Duisters, K., Weger, B., Chakrabarti, A., Harms, A. C., Brennan, L., Hankemeier, T., Goulet, L., Konz, T., Martin, F. P., Moco, S. in van der Greef, J. (2018). Menstrual cycle rhythmicity: metabolic patterns in healthy women. *Scientific Reports*, 8(1), 14568. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32647-0>
21. Eckerson, J. M. (2016). Creatine as an Ergogenic Aid for Female Athletes. *Strength & Conditioning Journal*, 38(2), 14. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000208>
22. Ellery, S. J., LaRosa, D. A., Kett, M. M., Della Gatta, P. A., Snow, R. J., Walker, D. W. in Dickinson, H. (2015). Maternal creatine homeostasis is altered during gestation in the spiny mouse: is this a metabolic adaptation to pregnancy? *BMC Pregnancy and Childbirth*, 15(1), 92. <https://doi.org/10.1186/s12884-015-0524-1>
23. Ellery, S. J., Walker, D. W. in Dickinson, H. (2016). Creatine for women: a review of the relationship between creatine and the reproductive cycle and female-specific benefits of creatine therapy. *Amino Acids*, 48(8), 1807–1817. <https://doi.org/10.1007/s00726-016-2199-y>
24. Elliott-Sale, K. J., Minahan, C. L., de Jonge, X. A. K. J., Ackerman, K. E., Sipilä, S., Constantini, N. W., Lebrun, C. M. in Hackney, A. C. (2021). Methodological Considerations for Studies in Sport and Exercise Science with Women as Participants: A Working Guide for Standards of Practice for Research on Women. *Sports Medicine*, 51(5), 843–861. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01435-8>
25. Evans, N. A. (2004). Current Concepts in Anabolic-Androgenic Steroids. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(2), 534–542. <https://doi.org/10.1177/0363546503262202>
26. Ferguson, T. B. in Syrotuik, D. G. (2006). EFFECTS OF CREATINE MONOHYDRATE SUPPLEMENTATION ON BODY COMPOSITION AND STRENGTH INDICES IN EXPERIENCED RESISTANCE TRAINED WOMEN. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(4), 939.
27. Fitch, C. D. in Shields, R. P. (1966). Creatine Metabolism in Skeletal Muscle: I. CREATINE MOVEMENT ACROSS MUSCLE MEMBRANES. *Journal of Biological Chemistry*, 241(15), 3611–3614. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)99874-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)99874-1)
28. Gibbs, Z., Lee, S. in Kulkarni, J. (2013). Factors Associated with Depression During the Perimenopausal Transition. *Women's Health Issues*, 23(5), e301–e307. <https://doi.org/10.1016/j.whi.2013.07.001>
29. Gordon, A. N., Moore, S. R., Patterson, N. D., Hostetter, M. E., Cabre, H. E., Hirsch, K. R., Hackney, A. C. in Smith-Ryan, A. E. (2023). The Effects of Creatine Monohydrate Loading on Exercise Recovery in Active Women throughout the Menstrual Cycle. *Nutrients*, 15(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/nu15163567>
30. Green, A. L., Hultman, E., Macdonald, I. A., Sewell, D. A. in Greenhaff, P. L. (1996). Carbohydrate ingestion augments skeletal muscle creatine accumulation during creatine supplementation in humans. *The American Journal of Physiology*, 271(5 Pt 1), E821–E826. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1996.271.5.E821>
31. Greendale, G. A., Sternfeld, B., Huang, M., Han, W., Karvonen-Gutierrez, C., Ruppert, K., Cauley, J. A., Finkelstein, J. S., Jiang, S.-F. in Karlamangla, A. S. (2019). Changes in body composition and weight during the menopause transition. *JCI Insight*, 4(5), e124865. <https://doi.org/10.1172/jci.insight.124865>
32. Grindstaff, P. D., Kreider, R., Bishop, R., Wilson, M., Wood, L., Alexander, C. in Almada, A. (1997). Effects of Creatine Supplementation on Repetitive Sprint Performance and Body Composition in Competitive Swimmers. <https://doi.org/10.1123/ijsn.74.330>
33. Gutiérrez-Hellín, J., Del Coso, J., Franco-Andrés, A., Gamonales, J. M., Espada, M. C., González-García, J., López-Moreno, M. in Varillas-Delgado, D. (2025). Creatine Supplementation Beyond Athletics: Benefits of Different Types of Creatine for Women, Vegans, and Clinical Populations—A Narrative Review. *Nutrients*, 17(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/nu17010095>
34. Haas, R. C., Korenfeld, C., Zhang, Z. F., Perryman, B., Roman, D. in Strauss, A. W. (1989). Isolation and characterization of the gene and cDNA encoding human mitochondrial creatine kinase. *Journal of Biological Chemistry*, 264(5), 2890–2897. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)81696-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)81696-4)
35. Harris, R. C., Söderlund, K. in Hultman, E. (1992). Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation. *Clinical Science*, 83(3), 367–374. <https://doi.org/10.1042/cs0830367>
36. Hartono, F. A., Martin-Arrowsmith, P. W., Peeters, W. M. in Churchward-Venne, T. A. (2022). The Effects of Dietary Protein Supplementation on Acute Changes in Muscle Protein Synthesis and Longer-Term Changes in Muscle Mass, Strength, and Aerobic Capacity in Response to Concurrent Resistance and Endurance Exercise in Healthy Adults: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 52(6), 1295–1328. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01620-9>
37. Haugland, R. B. in Chang, D. T. (1975). Insulin effect on creatine transport in skeletal muscle (38464). *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine. Society for Experimental Biology and Medicine (New York, N.Y.)*, 148(1), 1–4.
38. Hausmann, O. N., Fouad, K., Wallimann, T. in Schwab, M. E. (2002). Protective effects of oral creatine supplementation on spinal cord injury in rats. *Spinal Cord*, 40(9), 449–456. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101330>
39. Hernandez, C. J., Beaupré, G. S. in Carter, D. R. (2003). A theoretical analysis of the relative influences of peak BMD, age-related bone loss and menopause on the development of osteoporosis. *Osteoporosis International*, 14(10), 843–847. <https://doi.org/10.1007/s00198-003-1454-8>
40. Hultman, E., Soderlund, K., Timmons, J. A., Cederblad, G. in Greenhaff, P. L. (1996). Muscle creatine loading in men. *Journal of Applied Physiology*, 81(1), 232–237. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.1.232>

41. Humm, A., Fritsche, E., Steinbacher, S. in Huber, R. (1997). Crystal structure and mechanism of human L-arginine:glycine amidinotransferase: a mitochondrial enzyme involved in creatine biosynthesis. *The EMBO Journal*, 16(12), 3373–3385. <https://doi.org/10.1093/emboj/16.12.3373>
42. Jäger, R., Kerksick, Chad M., Campbell, Bill I., Cribb, Paul J., Wells, Shawn D., Skwiat, Tim M., Purpura, Martin, Ziegenfuss, Tim N., Ferrando, Arny A., Arent, Shawn M., Smith-Ryan, Abbie E., Stout, Jeffrey R., Arciero, Paul J., Ormsbee, Michael J., Taylor, Lem W., Wilborn, Colin D., Kalman, Doug S., Kreider, Richard B., Willoughby, Darryn S., ... and Antonio, J. (2017). International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0177-8>
43. Kambis, K. W. in Pizzedaz, S. K. (2003). *Short-term Creatine Supplementation Improves Maximum Quadriceps Contraction in Women*. <https://doi.org/10.1123/ijnsnm.13.1.87>
44. Kantor, E. D., Rehm, C. D., Du, M., White, E. in Giovannucci, E. L. (2016). Trends in Dietary Supplement Use Among US Adults From 1999–2012. *JAMA*, 316(14), 1464–1474. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.14403>
45. Kreider, R. B., Ferreira, M., Wilson, M., Grindstaff, P., Plisk, S., Reinardy, J., Cantler, E. in Almada, A. L. (1998). Effects of creatine supplementation on body composition, strength, and sprint performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(1), 73.
46. Kreider, R. B., Kalman, D. S., Antonio, J., Ziegenfuss, T. N., Wildman, R., Collins, R., Candow, D. G., Kleiner, S. M., Almada, A. L. in Lopez, H. L. (2017). International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0173-z>
47. Larson-Meyer, D. E., Hunter, G. R., Trowbridge, C. A., Turk, J. C., Ernest, J. M., Torman, S. L. in Harbin, P. A. (2000). The Effect of Creatine Supplementation on Muscle Strength and Body Composition During Off-Season Training in Female Soccer Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(4), 434.
48. Mattson, M. P. in Scheff, S. W. (1994). Endogenous neuroprotection factors and traumatic brain injury: mechanisms of action and implications for therapy. *Journal of Neurotrauma*, 11(1), 3–33. <https://doi.org/10.1089/neu.1994.11.3>
49. McKenna, M. J., Morton, J., Selig, S. E. in Snow, R. J. (1999). Creatine supplementation increases muscle total creatine but not maximal intermittent exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 87(6), 2244–2252. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.6.2244>
50. Meyer, L. E., Machado, L. B., Santiago, A. P. S. A., da-Silva, W. S., Felice, F. G. D., Holub, O., Oliveira, M. F. in Galina, A. (2006). Mitochondrial Creatine Kinase Activity Prevents Reactive Oxygen Species Generation: ANTIOXIDANT ROLE OF MITOCHONDRIAL KINASE-DEPENDENT ADP RE-CYCLING ACTIVITY*. *Journal of Biological Chemistry*, 281(49), 37361–37371. <https://doi.org/10.1074/jbc.M604123200>
51. Mihic, S., MacDonald, J. R., McKenzie, S. in Tarnopolsky, M. A. (2000). Acute creatine loading increases fat-free mass, but does not affect blood pressure, plasma creatinine, or CK activity in men and women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(2), 291.
52. Mihm, M., Gangooly, S. in Muttukrishna, S. (2011). The normal menstrual cycle in women. *Animal Reproduction Science*, 124(3–4), 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.08.030>
53. Nabuco, H. C. G., Tomeleri, C. M., Sugihara Junior, P., Fernandes, R. R., Cavalcante, E. F., Antunes, M., Ribeiro, A. S., Teixeira, D. C., Silva, A. M., Sardinha, L. B. in Cyrino, E. S. (2018). Effects of Whey Protein Supplementation Pre- or Post-Resistance Training on Muscle Mass, Muscular Strength, and Functional Capacity in Pre-Conditioned Older Women: A Randomized Clinical Trial. *Nutrients*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/nu10050563>
54. O'Connell, B. A., Moritz, K. M., Walker, D. W. in Dickinson, H. (2013). Sexually dimorphic placental development throughout gestation in the spiny mouse (*Acomys cahirinus*). *Placenta*, 34(2), 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2012.11.009>
55. OSATHANONDH, R., TULCHINSKY, D. in CHOPRA, I. J. (1976). Total and Free Thyroxine and Triiodothyronine in Normal and Complicated Pregnancy. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 42(1), 98–104. <https://doi.org/10.1210/jcem-42-1-98>
56. Prass, K., Royle, G., Lindauer, U., Freyer, D., Megow, D., Dirnagl, U., Stöckler-Psiroglu, G., Wallimann, T. in Priller, J. (2007). Improved Reperfusion and Neuroprotection by Creatine in a Mouse Model of Stroke. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 27(3), 452–459. <https://doi.org/10.1038/sj.jcbfm.9600351>
57. Rabchevsky, A. G., Sullivan, P. G., Fugaccia, I. in Scheff, S. W. (2003). Creatine Diet Supplement for Spinal Cord Injury: Influences on Functional Recovery and Tissue Sparing in Rats. *Journal of Neurotrauma*, 20(7), 659–669. <https://doi.org/10.1089/089771503322144572>
58. Rawson, E. S., Stec, M. J., Frederickson, S. J. in Miles, M. P. (2011). Low-dose creatine supplementation enhances fatigue resistance in the absence of weight gain. *Nutrition*, 27(4), 451–455. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2010.04.001>
59. Rooney, K. B., Bryson, J. M., Digney, A. L., Rae, C. D. in Thompson, C. H. (2003). Creatine supplementation affects glucose homeostasis but not insulin secretion in humans. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 47(1), 11–15. <https://doi.org/10.1159/000068908>
60. Sherman, B. M. in Korenman, S. G. (1975). Hormonal characteristics of the human menstrual cycle throughout reproductive life. *The Journal of Clinical Investigation*, 55(4), 699–706. <https://doi.org/10.1172/JCI107979>
61. Smith-Palmer, T. (2002). Separation methods applicable to urinary creatine and creatinine. *Journal of Chromatography B*, 781(1), 93–106. [https://doi.org/10.1016/S1570-0232\(02\)00617-7](https://doi.org/10.1016/S1570-0232(02)00617-7)
62. Smith-Ryan, A. E., Cabre, H. E., Eckerson, J. M. in Candow, D. G. (2021a). Creatine Supplementation in Women's Health: A Lifespan Perspective. *Nutrients*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/nu13030877>
63. Smith-Ryan, A. E., Cabre, H. E., Eckerson, J. M. in Candow, D. G. (2021b). Creatine Supplementation in Women's Health: A Lifespan Perspective. *Nutrients*, 13(3), 877. <https://doi.org/10.3390/nu13030877>
64. Smith-Ryan, A. E., DelBiondo, Gabrielle M., Brown, Ann F., Kleiner, Susan M., Tran, Nhi T. in and Ellery, S. J. (2025). Creatine in women's health: bridging the gap from menstruation through pregnancy to menopause. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 22(1), 2502094. <https://doi.org/10.1080/15502783.2025.2502094>
65. Smith-Ryan, A. E., Hirsch, K. R., Cabre, H. E., Gould, L. M., Gordon, A. N. in Ferrando, A. A. (2023). Menopause Transition: A Cross-Sectional Evaluation on Muscle Size and Quality. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 55(7), 1258–1264. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003150>
66. Stallings, R. L., Olson, E., Strauss, A. W., Thompson, L. H., Bachinski, L. L. in Siciliano, M. J. (1988). Human creatine kinase genes on chromosomes 15 and 19, and proximity of the gene for the muscle form to the genes for apolipoprotein C2 and excision repair. *American Journal of Human Genetics*, 43(2), 144–151.
67. Staron, R. S., Hagerman, F. C., Hikida, R. S., Murray, T. F., Hostler, D. P., Crill, M. T., Ragg, K. E. in Toma, K. (2000). Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *The Journal of Histochemistry and Cytochemistry: Official Journal of the Histochemistry Society*, 48(5), 623–629. <https://doi.org/10.1177/002215540004800506>
68. Stout, J., Eckerson, J., Ebersole, K., Moore, G., Perry, S., Housh, T., Bull, A., Cramer, J. in Batheja, A. (2000). Effect of creatine loading on neuromuscular fatigue threshold. *Journal of Applied Physiology*, 88(1), 109–112. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.1.109>

69. Sullivan, P. G., Geiger, J. D., Mattson, M. P. in Scheff, S. W. (2000). Dietary supplement creatine protects against traumatic brain injury. *Annals of Neurology*, 48(5), 723–729.
70. Tam, R., Mitchell, L. in Forsyth, A. (2025). Does Creatine Supplementation Enhance Performance in Active Females? A Systematic Review. *Nutrients*, 17(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/nu17020238>
71. Tarnopolsky, M. A. (2007). Clinical Use of Creatine in Neuromuscular and Neurometabolic Disorders. V G. S. Salomons in M. Wyss (ur.), *Creatine and Creatine Kinase in Health and Disease* (str. 183–204). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6486-9_10
72. Turner, C. E. in Gant, N. (2014). Chapter 2.2 - The Biochemistry of Creatine. V C. Stagg in D. Rothman (ur.), *Magnetic Resonance Spectroscopy* (str. 91–103). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-401688-0.00007-0>
73. Vandenberghe, K., Goris, M., Van Hecke, P., Van Leemputte, M., Vangerven, L. in Hespel, P. (1997). Long-term creatine intake is beneficial to muscle performance during resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 83(6), 2055–2063. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.83.6.2055>
74. Volek, J. S., Ballard, K. D. in Forsythe, C. E. (2008). Overview of Creatine Metabolism. V J. R. Stout, J. Antonio in D. Kalman (ur.), *Essentials of Creatine in Sports and Health* (str. 1–23). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-573-2_1
75. Volek, J. S., Forsythe, C. E. in Kraemer, W. J. (2006). *Nutritional aspects of women strength athletes*. <https://doi.org/10.1136/bjbm.2004.016709>
76. Volek, J. S., Mazzetti, S. A., Farquhar, W. B., Barnes, B. R., Gómez, A. L. in Kraemer, W. J. (2001). Physiological responses to short-term exercise in the heat after creatine loading. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(7), 1101–1108. <https://doi.org/10.1097/00005768-200107000-00006>
77. Wallimann, T., Wyss, M., Brdiczka, D., Nicolay, K. in Eppenberger, H. M. (1992). Intracellular compartmentation, structure and function of creatine kinase isoenzymes in tissues with high and fluctuating energy demands: the „phosphocreatine circuit“ for cellular energy homeostasis. *The Biochemical Journal*, 281 (Pt 1)(Pt 1), 21–40. <https://doi.org/10.1042/bj2810021>
78. Watson, G., Casa, D. J., Fiala, K. A., Hile, A., Roti, M. W., Healey, J. C., Armstrong, L. E. in Maresh, C. M. (2006). Creatine use and exercise heat tolerance in dehydrated men. *Journal of Athletic Training*, 41(1), 18–29.
79. Wu, S.-H., Chen, K.-L., Hsu, C., Chen, H.-C., Chen, J.-Y., Yu, S.-Y. in Shiu, Y.-J. (2022). Creatine Supplementation for Muscle Growth: A Scoping Review of Randomized Clinical Trials from 2012 to 2021. *Nutrients*, 14(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/nu14061255>
80. Wyss, M. in Kaddurah-Daouk, R. (2000). Creatine and Creatinine Metabolism. *Physiological Reviews*, 80(3), 1107–1213. <https://doi.org/10.1152/physrev.2000.80.3.1107>
81. Zhu, S., Li, M., Figueroa, B. E., Liu, A., Stavrovskaya, I. G., Pasinelli, P., Beal, M. F., Brown, R. H., Kristal, B. S., Ferrante, R. J. in Friedlander, R. M. (2004). Prophylactic Creatine Administration Mediates Neuroprotection in Cerebral Ischemia in Mice. *Journal of Neuroscience*, 24(26), 5909–5912. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1278-04.2004>

Kaja Kopačin
Univerza na Primorskem,
Fakulteta za vede o zdravju,
Izola, Slovenija
97240375@student.upr.si