

Kreatyna w sporcie

Część I. Potencjalne możliwości zastosowania kreatyny u sportowców

Creatine in sport

Part I. Potential applications of creatine in sportsmen

Hanna Czczot, Weronika Domańska-Leśniak

Wyższa Szkoła Rehabilitacji

Streszczenie

Praca pt. „Kreatyna” w sporcie” składa się z dwóch części. Pierwsza część pracy przedstawia aktualny stan wiedzy na temat roli kreatyny w metabolizmie mięśni i potencjalnych możliwości jej zastosowania w sporcie. II część pracy dotyczy celowości stosowania suplementów diety zawierających kreatynę i i uzyskiwanie po jej zastosowaniu poprawy wyników sportowych.

Źródłem kreatyny w organizmie jest jej endogenna synteza, spożywane pokarmy oraz suplementy. Najbogatszym naturalnym źródłem kreatyny jest czerwone mięso i ryby. Kreatyna jako fosforan kreatyny (fosfokreatyna) jest głównie magazynowana w mięśniach. Pełni w nich rolę niewielkiej, ale szybko mobilizowanej rezerwy wysokoenergetycznych fosforanów, które mogą być odwracalnie przenoszone na ADP (adenozynodifosforan), w celu utrzymania w ciągu kilku minut intensywnej pracy mięśni wewnątrzkomórkowego stężenia ATP (adenozynotryfosforan). Ponieważ kreatyna/fosfokreatyna są źródłem łatwo dostępnej energii, niezbędnej do resyntezy ATP – głównego związku wysokoenergetycznego organizmu, to stwarza to możliwość ich zastosowania w sporcie. Stosowanie kreatyny (różnych jej form chemicznych) pozytywnie wpływa na metabolizm mięśni i ich wydolność wysiłkową. Wiąże się to ze wzrostem siły, masy mięśniowej oraz masy ciała. Dzięki kreatynie zwiększają się także zasoby glikogenu w mięśniach i zmniejsza zużycie tlenu podczas wysiłku fizycznego. Kreatyna wpływa również na zmniejszenie zakwaszenia mięśni i rozpadu białek mięśniowych np. podczas intensywnych ćwiczeń. Korzystne oddziaływanie kreatyny na mięśnie i związana z tym poprawa wyników sportowych sprawia, że stanowi ona jeden z najczęściej stosowanych w sporcie suplementów.

Słowa kluczowe: kreatyna, synteza, metabolizm, funkcje biologiczne, suplementy kreatynowe, sport

Abstract

Publication titled „Creatine” in sport „consists of two parts. The first part of the work presents the current state of knowledge on the role of creatine in muscle metabolism and its potential applications in sport. The second part of the work concerns the advisability of using creatine supplements and obtaining improvement in sports results after its application.

The source of creatine in the body is its endogenous synthesis, consumed foods and supplements. The richest natural source of creatine is red meat and fish. Creatine as creatine phosphate (phosphocreatine) is stored mainly in the muscles. They play the role of a small but rapidly mobilized reserve of high-energy phosphates that can be reversibly transferred to ADP (adenosine diphosphate) to maintain intense cellular ATP (adenosine triphosphate) concentration within minutes. Because creatine/phosphocreatine is a source of readily

Hanna Czeczot, Weronika Domańska-leśniak

available energy, necessary for the resynthesis of ATP – the main energy-rich compound of the body, it creates the possibility of their use in sport. Currently, thanks to its biological functions, creatine is one of the most commonly used supplements in sport. The use of creatine (its various chemical forms) is positively influenced by muscle metabolism and exercise capacity. It is connected with the increase of strength, muscle mass and body weight. Thanks to creatine, the glycogen resources in the muscles are also increased and the oxygen consumption during exercise is reduced. Creatine also affects the reduction of muscle acidity and the breakdown of muscle proteins, e.g. during intense exercise. The beneficial effects of creatine on the muscles and the associated improvement in sports results makes it one of the most commonly used supplements in sport.

Key words: creatine, synthesis, metabolism, biological functions, creatine supplements, sport

Wstęp

Kreatyna jest jednym z najbardziej intensywnie badanych suplementów diety dostępnych w sporcie. Wpływ kreatyny na fizjologię mięśni i wydolność wysiłkową, został opisany w ponad 500 pracach naukowych. W licznych badaniach udokumentowany został pozytywny wpływ stosowania doustnej suplementacji kreatyną na poprawę wyników sportowych, zwiększanie wytrzymałości i masy mięśniowej [15, 27].

Ze względu na funkcje jakie pełni kreatyna/fosfokreatyna w organizmie człowieka, zwłaszcza jej udział w skurczu mięśni Centralny Ośrodek Medycyny Sportowej i Komisji Medycznej Polskiego Komitetu Olimpijskiego opublikował rekomendacje dla polskich związków sportowych odnośnie stosowania kreatyny – suplementów diety i żywności funkcjonalnej w sporcie. Kreatyna przypisana została w nim do grupy A, czyli substancji rekomendowanych, których korzystny wpływ na zdolność do wysiłku fizycznego potwierdzony został rzetelnymi badaniami naukowymi [16, 19].

Kreatyna w organizmie człowieka

Kreatyna (N-metyloguanidynoocjan) występuje naturalnie w organizmach zwierzęcych oraz w mniejszej ilości w roślinach, gdzie jest syntetyzowana z trzech aminokwasów: glicyny, argininy i metioniny [2, 3].

Biosynteza kreatyny *de novo* zachodzi głównie w wątrobie oraz nerkach, skąd transportowana jest dalej z krwią do mięśni szkieletowych. Może

też być syntetyzowana w sercu, mózgu i trzustce [2, 3, 16].

Proces syntezy endogennej kreatyny odbywa się w dwóch reakcjach. W pierwszej reakcji syntezy kreatyny katalizowanej przez transamidynazę glicynową, w wątrobie z glicyny i argininy powstaje guanidynoocjan i ornityna. Druga reakcja zachodzi w nerkach, jest katalizowana przez N-metylotransferazę guanidynoocjanową i polega na nieodwracalnym przeniesieniu grupy metylowej z S-adenozylometioniny (metylacją guanidynoocjanu) i powstaniu kreatyny [2, 3, 17].

Kreatyna w mięśniach magazynowana jest głównie jako fosfokreatyna, jeden z głównych związków wysokoenergetycznych w organizmie człowieka [2,3,16,17].

Całkowita pula kreatyny w organizmie wynosi 120–140g, z czego 95–98% znajduje się w komórkach mięśni (30–40%) jako kreatyna wolna i 60–75% jako fosfokreatyna) [27].

Kreatyna i fosfokreatyna są buforami utrzymującymi stałe stężenie ATP w mięśniu. Reszta fosforanowa w cząsteczce fosfokreatyny, cechuje się podobnie jak cząsteczka ADP wysokim potencjałem energetycznym, dzięki czemu może być z łatwością przenoszona z fosfokreatyny na ADP, w okresie wzmożonej pracy mięśni i odwrotnie, w czasie spoczynku, z ATP na kreatynę [2, 3, 14].

Niewykorzystana w mięśniach szkieletowych na cele energetyczne fosfokreatyna, ulega nieenzymatycznej i nieodwracalnej dehydratacji i cyklizacji prowadzącej do powstania kreatyniny [2, 28]. Kreatynina po dostaniu się na drodze dyfuzji prostej do krążenia, filtrowana jest przez kłębuszki nerkowe i zostaje wydalona z moczem [2, 3, 14, 17].

Kreatyna w sporcie. Część I. Potencjalne możliwości zastosowania kreatyny u sportowców

Mechanizm działania fosfokreatyny, polega na magazynowaniu wysokoenergetycznych reszt kwasu fosforowego oraz ich dalszej dystrybucji do skurczów mięśni oraz syntezy białek [2, 3, 14].

Adenozynotrójfosforan (ATP) transportowany jest przy udziale białka – translokazy ATP/ADP, z macierzy mitochondrialnej do przestrzeni pomiędzy wewnętrzną, a zewnętrzną błoną mitochondrialną. W wyniku działania znajdującej się tam mitochondrialnej izoformy kinazy kreatynowej wysokoenergetyczny fosforan przenoszony jest z ATP na kreatynę, co prowadzi do powstania fosfokreatyny i ADP. ADP po powrocie do macierzy mitochondrialnej, ulega ponownej fosforylacji oksydacyjnej do ATP. Natomiast fosfokreatyna dyfunduje do aparatu kurczliwego komórki mięśniowej, gdzie przy udziale miofibrylarnej izoformy kinazy kreatynowej, wysokoenergetyczny fosforan przeniesiony zostaje z fosfokreatyny na ADP, co prowadzi do powstania ATP, który to bezpośrednio wykorzystany zostanie na potrzeby aparatu kurczliwego. Pozostała po tej reakcji wolna kreatyna powraca do mitochondrium [4, 27].

W intensywnie pracujących mięśniach, proces resyntezy ATP nie jest wystarczająco szybki, co przyczynia się do zmęczenia mięśni oraz zmniejszenia ich zdolności do wykonywania silnych skurczów. Występująca dzięki fosfokreatynie, szybsza resynteza ATP umożliwia mięśniom wzrost siły i wytrzymałości oraz wzrost beztłuszczowej masy ciała [4, 16].

Fosfokreatyna w mięśniach jest czasowym buforem energii, dostarczającym większość energii potrzebnej na pierwsze 6–8 sekund skurczu mięśni, zanim dominującym źródłem energii stanie się glikoliza [4, 29].

Kreatyna poza swoim ergogenicznym potencjałem, poprzez zmniejszenie rozpadu białek mięśniowych (następującego po intensywnych ćwiczeniach) wykazuje także działanie antykataboliczne. Zwiększając uwodnienie komórek mięśniowych, wpływa na nasilenie tempa syntezy białek, zwiększenie siły mięśni oraz ich zdolność do hipertrofii. Mechanizm ten oparty jest na aktywności osmotycznej kreatyny. Gdy jej koncentracja w komórce rośnie, woda przesącza się do wnętrza komórek, zwiększając grubość

poszczególnych włókien mięśniowych o 15%. Mechaniczne rozciąganie zewnętrznych błon komórek, wywołuje reakcje anaboliczne, pobudza syntezę białek i wpływa na wzrost masy mięśniowej [3].

Kreatyna dostarczona z dietą i/lub suplementów najprawdopodobniej jest wchłaniana z przewodu pokarmowego w sposób aktywny, podobny jak w przypadku aminokwasów i peptydów. Jej dystrybucja w organizmie zależy w dużej mierze od obecności transporterów kreatyny, które służą również do wyłapywania jej przez mięśnie szkieletowe [18].

Za transport kreatyny do wnętrza komórki odpowiedzialne jest białko transportowe CreaT (ang. *Creatine Transporter* – *CreaT*). Zidentyfikowano dwie izoformy tego białka – CreaT1 i Crea T2, znajdujące się w różnych tkankach organizmu. Zaobserwowano, że pula kreatyny pochodzącej z suplementów, wchłaniania jest do komórek wyłącznie za pośrednictwem CreaT1. Aktywność biologiczna transportera CreaT zależna jest od wielu czynników, takich jak: wewnątrzkomórkowego i zewnątrzkomórkowego stężenia kreatyny, fosforylacja i glikozylacja transportera, śródbłonowego gradientu jonów Na⁺, lokalizacji komórkowej czy działania niektórych hormonów [7, 23, 24].

Transporter CreaT1 jest bardzo wrażliwy na wewnątrzkomórkowe i zewnątrzkomórkowe stężenie kreatyny. Aktywowany jest, gdy całkowite stężenie kreatyny w komórce ulega zmniejszeniu. Zaobserwowano, że osoby z miopatią mięśniową cechują się nie tylko zmniejszonymi poziomami kreatyny i fosfokreatyny, ale także ilości białka CreaT1 [7].

Mięśnie szkieletowe, stanowiące największy magazyn kreatyny w organizmie, wykazują ograniczoną zdolność do jej magazynowania. Na dystrybucję kreatyny w organizmie ma wpływ dieta, wiek czy stan fizjologiczny [22]. Zaobserwowano, że insulina i składniki diety stymulujące jej wydzielanie zwiększają pobieranie kreatyny przez mięśnie, z tym, że posiłki bogate w węglowodany mogą także spowalniać jelitowe wchłanianie kreatyny [18, 22].

Korzystne oddziaływania kreatyny na pracę mięśni wskazuje ma potencjalne możliwości jej

Hanna Czeczot, Weronika Domańska-leśniak

Tabela 1. Zawartość kreatyny w produktach żywnościowych [12]

Źródło	Zawartość kreatyny w 100mg
Burgery wołowe	0,9
Śledź	0,4–0,9
Łosoś	0,5–0,9
Wieprzowina	0,5–0,7
Wołowina	0,4–0,7
Kaszanka (kielbasa)	0,6
Stek wołowy, niegotowany	0,6
Jagnięcina, golonka, polędwica, niegotowane	0,5
Stek wołowy, część wewnętrzna, gotowany w temperaturze 60°C	0,5
Jagnięcina, przed gotowaniem	0,5
Piersi z kurczaka, gotowane 20–40 minut	0,3–0,4
Mięso królicze, zanurzone we wrzącej wodzie na mniej niż jedną minutę	0,4
Tuńczyk	0,4
Dorsz	0,3
Szynka gotowana	0,3
Duszona wołowina	0,3
Komercyjna szynka gotowana, konserwowa	0,3
Flądra	0,2
Parówki (hot-dogi), gotowane	0,2

zastosowania w sporcie. Szczególnie jest ono zasadne w sportach siłowych i szybkościowo-siłowych, takich jak: podnoszenie ciężarów, kulturystyka, sporty walki, biegi krótkodystansowe, lekkoatletyka, gry zespołowe czy wioślarstwo.

Źródła kreatyny w diecie

Zasoby kreatyny w organizmie uzupełniane są poprzez endogenną syntezę oraz spożywane pokarmy. Około 1–2 g kreatyny na dobę pozyskiwane jest na drodze biosyntezy. Natomiast dieta dostarcza dziennie dodatkowe 0,25–1 g kreatyny. Organizm dziennie traci około 2 g kreatyny, wydalając ją z moczem w postaci kreatyniny. Najbogatszym źródłem kreatyny jest czerwone mięso i ryby. Zawartość kreatyny w produktach żywnościowych może ulec zmniejszeniu w trakcie obróbki termicznej [29].

Zaobserwowano, że wegetarianie, z uwagi na znacząco niższą podaż kreatyny z diety, stanowią grupę o niższym poziomie kreatyny w mięśniach,

przez co są bardziej wrażliwi na suplementację kreatyną [5, 6].

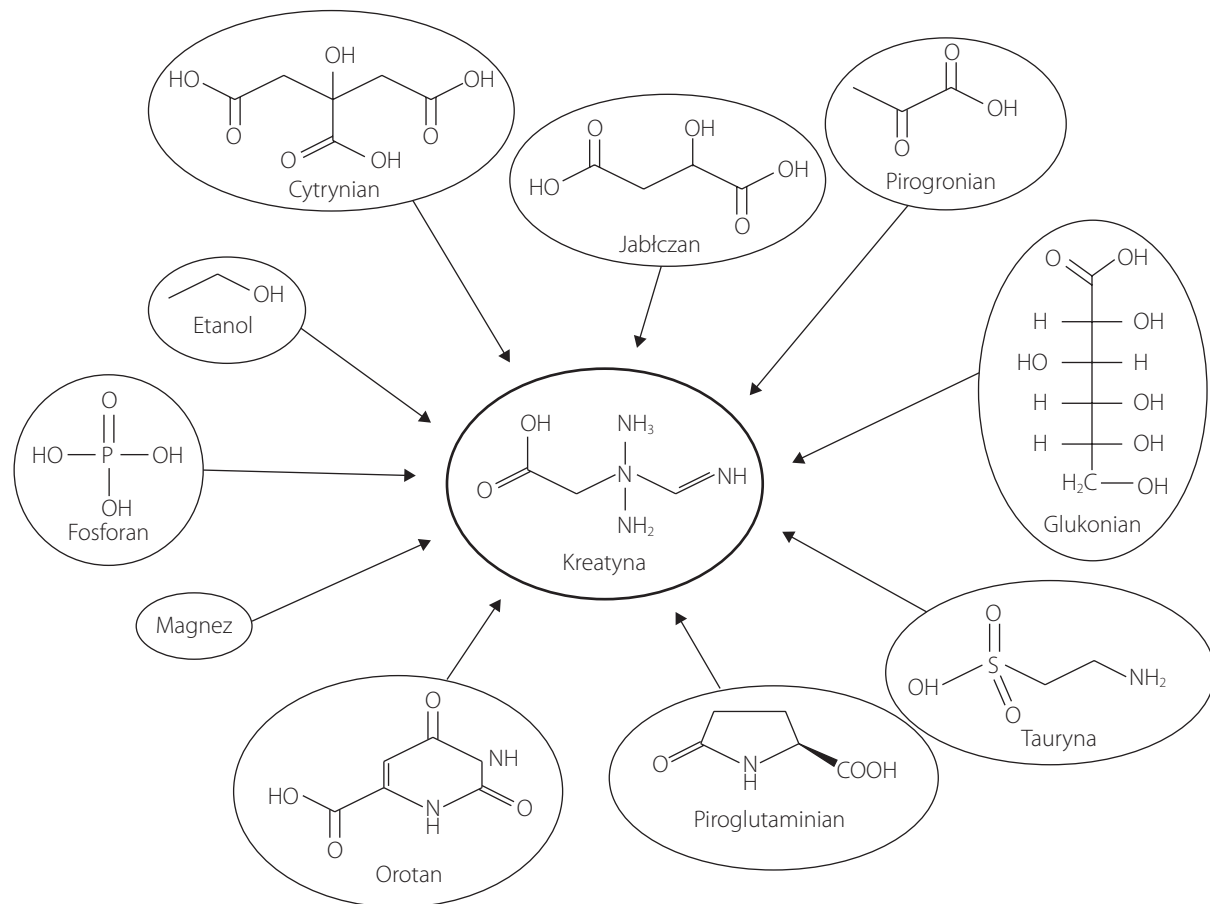
Kreatyna pochodząca z diety w niemal 100% ulega absorpcji w świetle przewodu pokarmowego. Ponad 90% puli kreatyny, z udziałem wysoko specyficznego białka transportującego CreaT, przedostaje się do mięśni szkieletowych. Proces ten zależny jest od obecności sodu [26].

Formy chemiczne kreatyny stosowane w sporcie

Najbardziej rozpowszechnioną, a jednocześnie najlepiej przebadaną formą kreatyny stosowaną w sporcie jest jej monowodzian/monohydrat – składający się cząsteczki kreatyny + cząsteczki wody [3].

W odpowiedzi na potrzeby sportu, nieustannie poszukiwane są nowe formy tej substancji, łączące cząsteczkę kreatyny z cząsteczkami innych substancji, zwiększające jej biodostępność. Dlatego w ofercie handlowej można spotkać

Kreatyna w sporcie. Część I. Potencjalne możliwości zastosowania kreatyny u sportowców



Rycina 1. Formy chemiczne kreatyny [1]

się z takimi formami jak: bezwodna kreatyna (monohydrat kreatyny, z którego usunięta jest cząsteczka wody), sole kreatyny (pirogronian, cytrynian, jabłczan, fosforan), kreatyna magnezowa, orotonian kreatyny czy Kre-Alkalyn® (kreatyna połączona z sodą oczyszczoną) (Rycina 1). Dostępne są również na rynku estry m.in. ester etylowy kreatyny (chlorowoderek) czy glukonian kreatyny (kreatyna związana z glukozą). Występuje także musująca forma kreatyny – połączenie monohydratu kreatyny z kwasem cytrynowym i wodorowęglanem, które razem wywołują podczas spożywania efekt musujący [7].

Przeprowadzono szereg badań porównujących suplementację monohydratem kreatyny a innymi formami kreatyny [27].

I tak, sole kreatyny, takie jak jej pirogronian, alfa-ketoglutaran, cytrynian, orotan, czy jabłczan dobrze rozpuszczalne w wodzie, w porównaniu do monohydratu kreatyny charakteryzują

się większą biodostępnością oraz brakiem potencjalnych niepożądanych działań ze strony przewodu pokarmowego. Producenci soli kreatyny zapewniają także o ich zwiększonej skuteczności działania polegającej nie tylko na lepszym ich wchłanianiu, ale również dodatkowym działaniom fizjologicznym (np. zmniejszenie retencji wody). Niestety nie ma wystarczających dowodów w literaturze naukowej o wyższości tych form kreatyny nad monohydratem kreatyny, tym bardziej, że badania bardzo często prowadzone są na zbyt małych grupach [7].

Badania wpływu suplementacji monohydratem kreatyny i fosforanem kreatyny na siłę mięśniową i ciśnienie krwi nie wykazały istotnych różnic w efektach działania obydwu form kreatyny [21].

Cytrynian kreatyny to połączenie cząsteczki kreatyny z kwasem cytrynowym, gdzie stosunek kreatyny do cytrynianu w suplementach

Hanna Czeczot, Weronika Domańska-leśniak

wynosi 1:1, 2:1 lub 3:1. Wykazano, że suplementacja kreatyny w tej postaci wydaje się jednak mieć podobną biodostępność jak monohydrat [1].

Badania oceniające efektywność suplementacji chelatem magnezowym kreatyny wykazały, że dokomórkowa absorpcja tej formy kreatyny jest większa niż monohydratu kreatyny, jednak nie stwierdzono różnic w wydajności ćwiczeń między badanymi grupami. Chelaty magnezowe kreatyny mogą mieć różne zawartości magnezu w zależności od stosunku molowego kreatyny do magnezu. Stosowanie chelatów magnezowych kreatyny może skutkować przekroczeniem ustalonych, dopuszczalnych poziomów dziennego spożycia magnezu, powodując u osób wrażliwych dolegliwości żołądkowo-jelitowe [1].

Natomiast badania suplementacji buforowaną formą monohydratu kreatyny (Kre-Alkalyn®) w grupie mężczyzn stosujących trening oporowy (trening podczas, którego mięśnie pracują wbrew dodatkowej sile lub obciążeniu) wykazały, że nie jest ona bardziej skuteczna i/lub bezpieczniejsza niż suplementacja monohydratem kreatyny. W grupie przyjmującej buforowaną kreatynę nie został odnotowany większy przyrost poziomu kreatyny w mięśniach ani wzrost adaptacji treningowej w stosunku do grupy stosującej monohydrat [11, 12].

W celu zwiększenia biodostępności preparatów kreatyny, zastosowano jej estryfikację, dzięki czemu zmniejszona została jej hydrofilowość, co zwiększało przepuszczalność sarkolemy dla tej formy kreatyny – estru etylowego kreatyny bez udziału transportera CreaT [25].

Również badania wpływu suplementacji estrem etylowym kreatyny i monohydratu kreatyny połączonej z treningiem oporowym na skład ciała, masę i siłę mięśniową, poziom kreatyny w mięśniach oraz poziom kreatyny i kreatyniny w surowicy krwi nie wykazały znaczących różnic między tymi formami. Zaobserwowano jedynie wzrost poziomu kreatyniny w osoczu krwi w grupie suplementującej ester etylowy kreatyny, bez znaczącego wzrostu stężenia kreatyny w surowicy i mięśniach. Oznaczać to może, że duża część estru etylowego kreatyny degradowana była w przewodzie pokarmowym od razu po jego spożyciu, prawdopodobnie w wyniku

niestabilności estryfikowanej kreatyny w warunkach niskiego pH żołądka [25].

Stymulatory działania kreatyny w organizmie

Skuteczność działania kreatyny zależna jest nie tylko od formy chemicznej, ale także od zastosowanych stymulatorów jej działania, czyli substancji przyspieszających bądź wspomagających jej działanie lub dających dodatkowe efekty fizjologiczne. Zaliczyć można do nich m.in. węglowodany proste, aminokwasy rozgałęzione, taurynę, kwas alfa-liponowy, kofeinę, L-argininę, L-cytrulinę, kwas guanidyno octowy i inne.

Wiele badań wykazało, że na stopień retencji kreatyny w mięśniu wpływa nie tylko jej wewnątrzmięśniowa koncentracja, ale również pozakomórkowe stężenie glukozy i insuliny [9]. Głównym stymulatorem działania kreatyny w organizmie są węglowodany proste. Inicjują one wyrzut insuliny, która zwiększa dokomórkowy transport kreatyny, a to z kolei powoduje zwiększenie zawartości kreatyny i glikogenu w mięśniach. Określenie dokładnej ilości węglowodanów, jakie są potrzebne do wytworzenia dodatkowej ilości insuliny, pozostaje wciąż przedmiotem badań i waha się w przedziałach od 35 g do około 100 g w zależności od źródła [3]. Połączenie treningu siłowego z suplementacją 10 g kreatyny w ciągu doby, po dodaniu do niej już 56 g węglowodanów prostych, powoduje zwiększenie poziomu kreatyny w mięśniu o 9% [8].

Greenwood i wsp. przeprowadzili badanie ze ślepą próbą, porównujące trzy sposoby suplementacji, samym monohydratem kreatyny, połączeniem monohydratu z 18 g dekstrozy oraz musującą formą kreatyny. Wyniki wykazały, że retencja kreatyny wzrosła po suplementacji kreatyny we wszystkich grupach, jednak w grupie przyjmującej kreatynę z dekstrozą była znacznie większa niż w pozostałych grupach. Potwierdza to wcześniejsze doniesienia, że przyjmowanie dekstrozy z monohydratem kreatyny, zwiększa retencję kreatyny w organizmie. Jednocześnie stosowanie musującej kreatyny nie jest bardziej skuteczne od jej monohydratu [9].

Kreatyna w sporcie. Część I. Potencjalne możliwości zastosowania kreatyny u sportowców

Efekt insulinogenny wykazują również niektóre aminokwasy m.in. leucyna, co może być uzasadnieniem dla zalecanego w niektórych źródłach spożywanie kreatyny łącznie z posiłkiem białkowo-węglowodanowym. Steenge i wsp. przeprowadzili badanie, w którym wykazali, że spożycie kreatyny z dodatkiem 50 g białka i 50g węglowodanów było równie skuteczne jak ze spożyciem prawie 100 g węglowodanów [26].

Kolejnym, często występującym składnikiem złożonych suplementów kreatyny są aminokwasy rozgałęzione: leucyna, izoleucyna i walina (BCAA; ang. *branched-chain amino acids*). Celem ich stosowania w złożonych suplementach jest zwiększenie szybkości syntezy białek mięśniowych, zmniejszenie ich rozpadu i redukcja indukowanych wysiłkiem uszkodzeń mięśni. Jednak Wolfe nie wykazał, że doustne przyjmowanie BCAA sprzyja syntezie białek mięśniowych [30].

Często pojawiającym się składnikiem suplementów keratynowych jest kofeina, która wydaje się być składnikiem odpowiedzialnym za ich efekt ergogeniczny. Jest ona szybko wchłaniana do krwi, w 60 minut po spożyciu. Kofeina działa jak antagonist receptoru adenozyliny i jak wykazano w badaniach jej spożycie w dawkach 3–6 mg na kg masy ciała, poprawia wydajność podczas ćwiczeń wytrzymałościowych i oporowych [10].

Ergogeniczne i przeciwutleniające działanie wykazuje także tauryna. Zbadano, że spożycie tauryny w dawce 1,5 g, jako składnika złożonych preparatów przed treningowych, poprawia wytrzymałość mięśni w czasie ćwiczeń oporowych, a jej długotrwała suplementacja może również wydłużyć czas wystąpienia wyczerpania podczas ćwiczeń wytrzymałościowych [10].

Badania wykazują, że tlenek azotu potencjalnie może zwiększać wydajność ćwiczeń, z uwagi na większy przepływ krwi do aktywnych mięśni. Składniki przed treningowych preparatów dla sportowców, takie jak L-arginina i L-cytrulina, mają zwiększać poziom tlenu azotu, wywołując tym samym wyżej wspomniany efekt. L-arginina jest aminokwasem będącym prekursorem wymaganym do syntezy tlenu azotu. Choć istnieją badania, które wykazały ergogeniczne efekty doustnej suplementacji L-argininą, większość dowodów sugeruje, że L-arginina ma ograniczoną

skuteczność w zwiększeniu przepływu krwi lub wydajności ćwiczeń. L-Cytrulina natomiast jest aminokwasem, który przekształcany w organizmie do L-argininy sprzyja syntezie tlenu azotu. Wykazano, że długotrwała suplementacja L-cytruliny, w dawkach 6–8 g dziennie, często w połączeniu z jabłczanem kreatyny zwiększa rozszerzenie naczyń oraz poprawia wydajność ćwiczeń [30].

Betaina (trimetyloglicyna) jest występującą naturalnie, głównie w czerwonych burakach, pochodną aminokwasu glicyny. Dzięki zdolności do zwiększania szybkości syntezy kreatyny, podwyższania poziomu tlenu azotu we krwi, utrzymania homeostazy płynów oraz właściwej termoregulacji, wpływa ona na poprawę wydajności ćwiczeń. Długotrwała suplementacja w dawkach 1,25–2,5 g betainy dziennie wpływa na zwiększenie ilości powtórzeń i całkowitego obciążenia w trakcie treningu oporowego [30].

Powszechnie stosowaną w złożonych preparatach dla sportowców jest beta-alanina. Beta-alanina stanowi prekursor karnozyny, dipeptydu, który działa jak bufor domięśniowy. Jak wskazują badania 2-tygodniowa suplementacja beta-alaniny w dawce 4–6 g dziennie poprawia wydajność ćwiczeń o wysokiej intensywności [30].

Badania sugerują także możliwy większy wzrost stężenia kreatyny w mięśniach przy równoczesnym przyjmowaniu jej z antyutleniaczem – kwasem alfa-liponowym [3].

Istnieją przesłanki, że optymalne wykorzystanie kreatyny w deficytach bioenergetycznych może być zmniejszone ze względu na ograniczone wchłanianie egzogennej kreatyny przez transporter kreatyny CRT1. Ostojic sugeruje, że stosowanie kreatyny wraz z kwasem guanidynoocowym może wykorzystywać inne kanały transportowe oprócz CRT1 i tym samym zwiększać poziom kreatyny w komórkach [20].

Podsumowanie

Ze względu na rolę jaką pełni kreatyna w metabolizmie mięśni i bezpieczeństwo stosowania rynek suplementów kreatynowych dostępnych

Hanna Czeczot, Weronika Domańska-leśniak

dla sportowców jest bardzo rozwinięty. Bogata oferta produktów umożliwia sportowcom wybór suplementu dostosowanego do ich potrzeb treningowych, możliwości finansowych czy też preferencji, co do smaku i formy farmaceutycznej. Kupujący muszą jednak zwracać dużą uwagę na informacje zawarte na etykietach, zwłaszcza w zakresie zawartości kreatyny w rekomendowanej przez producenta dawce. Pomimo braku

badan naukowych potwierdzających wyższość nowych form kreatyny nad jej monohydratem, rynek suplementów kreatynowych zawiera całą gamę różnorodnych form. Niewłaściwy dobór preparatu może jednak powodować, że suplementacja będzie przynosić znikome efekty, a powodem takiej sytuacji będzie niewłaściwa forma lub zbyt mała dawka kreatyny.

Piśmiennictwo

1. Andres S, Ziegenhagen R, Trefflich I, Pevny S, Schultrich K, Braun H, Schänzer W, Hirsch-Ernst KI, Schäfer B, Lampen A. Creatine and creatine forms intended for sports nutrition. *Mol Nutr Food Res* 2017; 61(6):1600772–1600790:1–18.
2. Bańkowski E. *Biochemia. Podręcznik dla studentów uczelni medycznych*. Wrocław: Elsevier Urban & Partner; 2013: 67–68, 264–266.
3. Bean A. *Żywnie w sporcie. Kompletny przewodnik*. Poznań: Zysk i S-ka Wydawnictwo; 2008: 22, 87.
4. Beręsewicz A. (red.). *Patofizjologia miażdżycy i choroby niedokrwiennej serca*. Warszawa: Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego; 2011, 59–73.
5. Burke DG, Candow DG, Chilibeck PD, MacNeil LG, Roy BD, Tarnopolsky MA, Ziegenfuss T. Effect of creatine supplementation and resistance-exercise training on muscle insulin-like growth factor in young adults. *Inter J Sport Nutr Exerc Metab* 2008; 18(4): 389–398.
6. Burke DG, Chilibeck PD, Parise G, Candow DG, Mahoney D, Tarnopolsky M. Effect of creatine and weight training on muscle creatine and performance in vegetarians. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35(11): 1946–1955.
7. Cooper R, Naclerio F, Allgrove J, Jimenez A. Creatine supplementation with specific view to exercise/sports performance: an update. *J Inter Soc Sports Nutr* 2012; 9(1): 33.
8. Frączek B, Grzelak A. Suplementacja kreatyną w grupie młodych mężczyzn podejmujących rekreacyjnie trening siłowy. *Probl Hig Epidemiol* 2012; 93(1): 425–431.
9. Greenwood M, Kreider RB, Earnest CP, Rasmussen C, Almada AL. Differences in creatine retention among three nutritional formulations of oral creatine supplements. *J Exerc Physiol* 2003; 6(2): 37–43.
10. Harty PS, Zabriskie HA, Erickson JL, Molling PE, Kerksick ChM, Jagim AR. Multi-ingredient pre-workout supplements, safety implications, and performance outcomes: a brief review. *J Int Soc Sports Nutr* 2018;15(1):41.
11. Hongu N, Wells MJ, Gallaway PJ, Bilgic P. Resistance training: health benefits and recommendations. *Cooperative Extension* 2015; az1659: 1–5.
12. https://chrismasterjohnphd.com/creatine-foods-search_results/?Food&Category&pass_field&frm-page-6277=1 [dostęp 20.04.19].
13. Jagim A, Oliver J, Sanchez A, Galvan E, Fluckey J, Riechman S, Greenwood M, Kelly K, Meininger C, Rasmussen C, Kreider RB. A buffered form of creatine does not promote greater changes in muscle creatine content, body composition, or training adaptations than creatine monohydrate. *J Inter Soc Sports Nutr* 2012; 9 (1): 9–43.
14. Koolman J, Rohm K-H. *Biochemia. Ilustrowany przewodnik*. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL; 2005: 336–337.
15. Kreider R, Greenwood M. Kreatyna. *Sport Wyczynowy* 2003; 1–2: 457–458.
16. Krzysztofik H, Krzywański J, Frączek B, Podkowska J, Misiorowska J, Chłoń K, Parol D. Wspólne Stanowisko Centralnego Ośrodka Medycyny Sportowej i Komisji Medycznej Polskiego Komitetu Olimpijskiego: Stosowanie suplementów diety i żywności funkcjonalnej w sporcie. Rekomendacje dla polskich związków

Kreatyna w sporcie. Część I. Potencjalne możliwości zastosowania kreatyny u sportowców

- sportowych. Warszawa 2012. https://www.zak-judo-kielce.pl/wp-content/uploads/2013/12/suplementy_diety-2013.pdf [dostęp 20.04.19].
17. Maughan RJ. Nutrition in sport. Volume VII of the encyclopaedia of sports medicine an IOC medical commission publication. Blackwell Science 2000:367–378.
 18. McCall W, Persky AM. Pharmacokinetics of creatine. *Subcell Biochem* 2007;46: 261–273.
 19. Nastaj M. Wpływ suplementacji monohydratem kreatyny diety mężczyzn uprawiających sporty siłowe. *Bromat Chem Toksykol* 2012; 3: 936–942.
 20. Ostojic SM. Co-administration of creatine and guanidinoacetic acid for augmented tissue bioenergetics: A novel approach? *Biomed Pharmacother* 2017: 91: 238–240.
 21. Peeters B, Lantz C, Mayhew J. Effect of oral creatine monohydrate and creatine phosphate supplementation on maximal strength indices, body composition, and blood pressure. *J Strength Condit Res* 1999; 13(1): 3–9.
 22. Persky AM, Brazeau GA, Hochhaus G. Pharmacokinetics of the dietary supplement creatine. *Clin Pharmacokinetics* 2003; 42(6): 557–574.
 23. Schoch RD, Willoughby D, Greenwood M. The regulation and expression of the creatine transporter: a brief review of creatine supplementation in humans and animals. *J Inter Soc Sports Nutr* 2006; 3(1): 60–66.
 24. Snow RJ, Murphy RM. Creatine and the creatine transporter: a review. *Mol Cell Biochem* 2001;224(1–2):169–181.
 25. Spillane M, Schoch R, Cooke M, Harvey T, Greenwood M, Kreider R, Willoughby D. The effects of creatine ethyl ester supplementation combined with heavy resistance training on body composition, muscle performance, and serum and muscle creatine levels. *J Intra Soc Sports Nutr* 2009; 6(19):6.
 26. Steenge GR, Lambourne J, Casey A, Macdonald IA, Greenhaff PL. Stimulatory effect of insulin on creatine accumulation in human skeletal muscle. *Am J Physiol* 1998;275 (6): E974–979.
 27. Szewczyk P, Poniewierka E. Kreatyna – zastosowanie w sporcie i medycynie. *Piel Zdr Publ* 2015; 5(4):409–416.
 28. Ścibor D, Czeczot H. Arginina – metabolizm i funkcje w organizmie człowieka. *Postępy Hig Med Dosw* 2004;58: 321–332.
 29. Tarnopolsky M. Caffeine and creatine use in sport. *Ann Nutr Metab* 2010;57(2):1–8.
 30. Wolfe RR. Branched-chain amino acids and muscle protein synthesis in humans: myth or reality? *J Int Soc Sports Nutr* 2017;14(30):1–7.