

ANNA GRAMZA-MICHAŁOWSKA, MARZENA BUESCHKE, BARTOSZ KULCZYŃSKI

*Katedra Technologii Gastronomicznej i Żywności Funkcjonalnej
Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań
E-mail: anna.gramza@up.poznan.pl*

ZNACZENIE KWERCETYNY JAKO ZWIĄZKU WSPOMAGAJĄCEGO WYDOLNOŚĆ W DIECIE SPORTOWCA

WSTĘP

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania zdrowym stylem życia, którego istotnym elementem jest aktywność fizyczna i związany z nim sposób żywienia. Wiąże się on nie tylko z zaspokojeniem zwiększonych potrzeb organizmu na składniki odżywcze, ale także dietetycznym wspomaganie funkcji psychofizycznych, wydolności fizycznej i regeneracji. Badania naukowe skupiają się na poszukiwaniu związków występujących w żywności, które mogą wpływać korzystnie na osiągnięte wyniki sportowe, a jednocześnie wykazywać działanie prozdrowotne.

Dowiedziano, iż istotną rolę w żywieniu sportowców pełnią przeciwutleniacze (polifenole, karotenoidy, witaminy, składniki mineralne), stanowiące element obrony organizmu przed stresem oksydacyjnym indukowanym intensywnym wysiłkiem fizycznym (YAVARI i współaut. 2015). Udowodniono, iż wzbogacenie diety sportowców w polifenole naturalnie występujące w żywności, może przynosić korzyści zdrowotne oraz zwiększać wydolność i przyspieszać regenerację powysiłkową (SEN 2001, REID 2013). Jednym z badanych pod tym kątem związków z grupy przeciwutleniaczy jest kwercetyna. Należy jednak stwierdzić, że wyniki dotychczasowych badań nie wskazują jednoznacznie na korzyści wynikających ze spożycia kwercetyny przez sportowców. W celu usystematyzowania wiedzy z tego zakresu, dokonano przeglądu aktualnych danych literaturowych dotyczących znaczenia kwercetyny w diecie

osób aktywnych fizycznie. Dokonano kierunkowego przeglądu aktualnych badań naukowych sklasyfikowanych w międzynarodowych bazach, m. in. Web of Science, Science Direct, PubMed, który dotyczył kwercetyny, flawonoidów i przeciwutleniaczy oraz stresu oksydacyjnego, aktywności fizycznej i VO_{2max} .

KWERCETYNA – CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA

Kwercetyna (3,3',4',5,7-pentahydroksyflawon), jako przedstawiciel grupy flawonoidów należących do klasy flawonoli, występuje naturalnie w wielu surowcach oraz produktach spożywczych pochodzenia roślinnego. Źródłem kwercetyny w diecie człowieka są owoce (m. in. czarny bez, aronia, żurawina, jabłka, winogrona, czarna porzeczka), warzywa (cebula, kapusta, brokuły) i rośliny zielne (szczaw, dziurawiec, rumianek, ruta) (AHERNE i O'BRIEN 2002, HARNLY i współaut. 2006, GHERIBI 2011, KULCZYŃSKI i współaut. 2016, GRAMZA-MICHAŁOWSKA i współaut. 2017). Jej zawartość w roślinach waha się w zależności od czynników środowiskowych wzrostu rośliny, stopnia dojrzałości, metod uprawy oraz sposobu ich przechowywania i przetwarzania. Dlatego wielkość spożycia kwercetyny może być różna i trudna do oszacowania (KOBYLIŃSKA i JANAS 2015). W Tabeli 1 przedstawiono średnią zawartość kwercetyny w wybranych surowcach roślinnych. W żywności kwercetyna występuje najczęściej w postaci β -glikozydów, połączonych z glukozą, ramnozą i rutynożą. Silne właściwości przeciwutleniające kwercetyny wa-

Tabela 1. Średnia zawartość kwercetyny w 100 g wybranych surowców roślinnych (wg ¹AHERNE i O'BRIEN 2002, ²HARNLY i współaut. 2006, ³USDA 2014).

Surowiec roślinny	mg/100 g
kapary	233,8 ³
szczaw	86,2 ³
kolendra, liście	52,9 ³
koper włoski	48,8 ³
cebula	18-63 ¹ ; 16,4 ² ; 39,2 ³
czarny bez	10,5-24,0 ¹ ; 26,8 ³
aronia	18,5 ³
zurawina	19,4 ² ; 14,8 ³
szparagi	14,0 ³
jagody Goji	13,6 ³
śliwki ciemne	23,1 ² ; 12,5 ³
estragon	10,0 ³
jagody czarne	8,3 ² ; 7,7 ³
oregano	7,3 ³
figi	0,9 ² ; 5,5 ³
acerola	4,7 ³
czarna porzeczka	3,3-6,8 ¹ ; 4,5 ³
jabłka	2,0-26,0 ¹ ; 6,6 ² ; 4,0 ³
szpinak	4,0 ³
jeżyny	4,4 ² ; 3,6 ³
brokuły	0,6-3,7 ¹ ; 4,0 ² ; 3,3 ³
borówki	10,5-16 ¹ ; 3,0 ³
czosnek	1,7 ³
morela	2,5-5,3 ¹ ; 1,6 ³
wiśnie	2,8 ² ; 1,5 ³
truskawki	0,5-2,9 ¹ ; 1,9 ² ; 1,1 ³
maliny	1,1 ³ ; 2,0 ²
daktyle	0,9 ²
czerwona porzeczka	0,2-2,7 ¹ ; 0,8 ³
kalafior	0,1-3,1 ¹ ; 0,5 ³

runkowane są obecnością w cząsteczce grup hydroksylowych (JAKUBOWICZ-GIL 2012). Natomiast potencjalną aktywność prozdrowotną warunkuje biodostępność związku, która zależy od rodzaju diety oraz formy glikozydów kwercetyny zawartych w spożywanym pokarmie. Najczęściej występujące w produktach pochodzenia roślinnego formy glikozydowe nie podlegają absorpcji w jelicie cienkim, z uwagi na dużą masę cząsteczkową i hydrofilność. Metabolizm kwercetyny może przebiegać w świetle jelita cienkiego lub entero-

cytach na drodze deglikolizacji z udziałem enzymów: hydrolazy laktozowo-floryzynowej lub β -glukozydazy cytosolowej. Następnie ulega wchłanianiu i metabolizowaniu m. in. w jelicie cienkim i grubym, wątrobie oraz nerkach w formie aglikonów, a kolejno wydalaniu z organizmu. Z przeprowadzonych badań wynika, iż wyraźne podwyższenie stężenia tego związku we krwi jest możliwe do osiągnięcia tylko w przypadku stałego, regularnego spożywania bogatych w ten związek produktów. Uważa się także, że okres półtrwania kwercetyny wynosi około 25 h, a jej wydalanie z organizmu może być dodatkowo opóźnione poprzez stosowanie diety o dużej zawartości tłuszczu (LESSER i współaut. 2004, GHERIBI 2011, JAKUBOWICZ-GIL 2012, KULCZYŃSKI i współaut. 2016).

WŁAŚCIWOŚCI PROZDROWOTNE

Liczne badania naukowe potwierdziły silne właściwości przeciwutleniające kwercetyny (ZHANG i współaut. 2011, CAI i współaut. 2014, LESJAK i współaut. 2018). Udowodniono, że w warstwach lipidowych komórek może ona przerywać łańcuchowe reakcje wolnorodnikowe, a także dzięki właściwościom chelatującym, zapobiegać inicjowanym przez jony metali przejściowych reakcjom prowadzącym do powstawania wolnych rodników (KIM i współaut. 2011). Kwercetyna ma także zdolność wychwytywania rodnika DPPH oraz redukcji rodników kationowych ABTS (MILACKOVA i współaut. 2013, RAVICHANDRAN i współaut. 2014, WICZKOWSKI i współaut. 2014). W badaniach przeprowadzonych z udziałem zwierząt laboratoryjnych zaobserwowano również, że podawanie kwercetyny istotnie zwiększało aktywność endogennych enzymów przeciwutleniających, takich jak peroksydaza glutationowa, dysmutaza ponadtlenkowa i katalaza (COSKUN i współaut. 2005, GRYSZCZYŃSKA i ISKRA 2008, EDREMITLIOGLU i współaut. 2012, KOBYLEŃSKA i JANAS 2015). Potwierdzono również wielokierunkowe działanie terapeutyczne kwercetyny. Aktualne dane literaturowe dowodzą jej korzystnego wpływu na poprawę metabolizmu lipidów i węglowodanów (JADHAV i PUCHCHAKAYALA 2012, JEONG i współaut. 2012, BASHIR 2014). Ponadto, wykazuje działanie hipotensyjne (EDWARDS i współaut. 2007, EGERT i współaut. 2009), przeciwzapewne oraz przeciwmiażdżycowe (ISLAM i SCHMIDT 2014). Hamuje także rozwój patogennych drobnoustrojów m. in. *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* (SHU i współaut. 2011, PRASAD i współaut. 2014).

W literaturze pojawiają się także doniesienia na temat pozytywnego wpływu suple-

mentacji kwercetyną na organizm poddawany intensywnemu wysiłkowi fizycznemu. W ostatnich latach zainteresowanie naukowców skupia się nie tylko na aktywności fizycznej w aspekcie zdrowego stylu życia, ale także na jego negatywnych następstwach. Niewątpliwie, skutkiem intensywnych ćwiczeń fizycznych jest wzrost poziomu stresu oksydacyjnego, rozumianego jako brak równowagi pomiędzy ilością produkowanych wolnych rodników i innych reaktywnych form tlenu a szybkością ich inaktywacji. Wykazano, że zaburzenia równowagi redox w konsekwencji mogą się przyczyniać do zwiększonego powstawania uszkodzeń oksydacyjnych oraz zmęczenia mięśni, tym samym istotnie pogarszając wydolność podczas ćwiczeń fizycznych. Powstające w trakcie aktywności sportowej reaktywne formy tlenu mogą także prowadzić do zwiększonego powstawania uszkodzeń mięśni szkieletowych (BELVIRANLI i OKUDAN 2015). Dlatego obecnie poszukuje się związków i składników żywności, mogących wpływać na zwiększenie wydolności, sprawności fizycznej oraz przyspieszenie regeneracji powysiłkowej, a włączenie przeciwutleniaczy do diety osób aktywnych fizycznie jest tematem coraz częściej podejmowanym przez naukowców.

KWERCETYNA W SPORCIE – DZIAŁANIE ERGOGENICZNE

Niska tolerancja wysiłkowa jest niewątpliwie jedną z głównych przeszkód w osiąganiu wyników sportowych. Uważa się, że dysfunkcje mitochondriów w mózgu i tkankach odpowiedzialne są za obniżenie tolerancji na ćwiczenia fizyczne, natomiast zwiększenie biogenezy mitochondrialnej może wspomóc zdolności wysiłkowe. W badaniach wykonanych przez zespół DAVISA i współaut. (2009) na modelu zwierzęcym, oceniano wpływ krótkoterminowej suplementacji kwercetyną na biogenezę mitochondrialną w mózgu i mięśniach oraz tolerancję wysiłku wytrzymałościowego. Udowodniono, że 7-dniowa suplementacja w dawce 12,5 lub 25,0 mg/kg masy ciała na dobę w porównaniu do placebo istotnie wpływała na intensyfikację biogenezy mitochondrialnej, która jednocześnie wiązała się ze zwiększeniem wytrzymałości suplementowanych myszy w teście na bieżni oraz kole biegowym. W oparciu o wyniki powyższego badania autorzy zaproponowali kwercetynę, jako ergogeniczny suplement dedykowany sportowcom, mogący pobudzać indukowaną wysiłkiem biogenezę mitochondriów w mięśniach szkieletowych. W kolejnych latach wykonano podobne doświadczenie z wykorzystaniem szczurów rasy Wistar, którego celem była analiza wpływu długo-

trwałej suplementacji kwercetyną na zwiększenie adaptacji do wysiłku fizycznego (CASUSO i współaut. 2014). CAUSO i współaut. (2014) przez 6 tygodni podawali szczurom 25 mg kwercetyny/kg masy ciała na dobę lub placebo w warunkach intensywnego treningu bądź braku aktywności fizycznej. Stwierdzili, że ćwiczenia fizyczne są bodźcem do zwiększenia ochrony przeciwutleniającej organizmu, powodując obniżenie wartości głównych markerów stresu oksydacyjnego, a suplementacja kwercetyną znosi ten efekt, utrudniając adaptację organizmu do stresu indukowanego aktywnością fizyczną. Ponadto suplementacja kwercetyną zwiększała uszkodzenia oksydacyjne u szczurów zarówno nie- jak i poddawanych aktywności fizycznej, poprzez indukowanie większych ilości białkowych grup karbonylowych, będących markerem oksydacyjnego uszkodzenia białek. W grupie, która nie była poddawana treningom, suplementacja kwercetyną zwiększała aktywność niektórych egzogennych enzymów przeciwutleniających (katalaza, dysmutaza ponadtlenkowa), jednakże efekt ten nie występował, gdy suplementację prowadzono podczas intensywnych treningów. Suplementacja kwercetyną zwiększała także ekspresję sirtuliny 1, która zaburza procesy biogenezy, jednakże przy jednoczesnej ekspozycji na wysiłek fizyczny, efekt ten był znoszony. W grupie przyjmującej kwercetynę przy jednoczesnym wysiłku fizycznym zaobserwowano mniejszą zawartość mitochondrialnego DNA i aktywność syntazy cytrynianowej w porównaniu do grupy poddawanej jedynie wysiłkowi fizycznemu, bez suplementacji. Wykazano, że podawanie kwercetyny nie zmieniało zdolności wytrzymałościowych szczurów, ale prawdopodobnie przyczyniało się do zwiększenia ilości mitochondriów w mięśniach szkieletowych (CASUSO i współaut. 2014). Badania CURETONA i współaut. (2009) nie potwierdziły działania ergogenicznego kwercetyny u ludzi. W eksperymencie wzięło udział 30 zdrowych, młodych mężczyzn rekreacyjnie uprawiających aktywność fizyczną, których losowo przydzielono do jednej z dwóch grup. Połowa badanych osób przez 16 dni otrzymywała napój wzbogacony w kwercetynę w dawce 1 g na dobę, a druga placebo. Wykazano, że suplementacja istotnie zwiększyła poziom wolnej kwercetyny w surowicy krwi. W grupie przyjmującej kwercetynę zaobserwowano 2,8-krotny wzrost stężenia, natomiast w grupie placebo stężenie nieznacznie się zmniejszyło. Po zakończeniu doświadczenia, maksymalny minutowy pobór tlenu (VO_{2max}) w teście wysiłkowym na cykloergometrze rowerowym zwiększył się nieistotnie względem wartości początkowych w grupie suplementującej kwercetynę, na-

tomiast u osób przyjmujących placebo nie uległ zmianie. Zaobserwowano jednak tendencję wzrostową dla VO_{2max} w grupie otrzymującej kwercetynę względem placebo. Nie zaobserwowano natomiast wpływu suplementacji kwercetyną na wartości współczynnika oddechowego (RQ), odzwierciedlającego odsetek energii uzyskanej z metabolizmu węglowodanów i tłuszczów (CURETON i współaut. 2009).

USZKODZENIA MIĘŚNI SZKIELETOWYCH I STAN ZAPALNY

W doświadczeniu O'FALLONA i współaut. (2012), którego celem było zbadanie wpływu suplementacji kwercetyną na objawy uszkodzeń mięśni wywołanych wysiłkiem fizycznym, wzięło udział 30 osób w wieku 18-25 lat. Badani podczas trwania eksperymentu przez 3 tygodnie otrzymywali 1 mg/dobę aglikonu kwercetyny lub placebo. Podczas trwania próby wysiłkowej z użyciem dynamometru izokinetycznego oceniano siłę skurczów izometrycznych i izokinetycznych kończyny górnej dominującej oraz poziom bólu odczuwanego przez badane osoby. Po 15-minutowym odpoczynku pobierano próbki krwi i badano stężenie kwercetyny w osoczu, kinazy kreatynowej, białka C-reaktywnego, oraz interleukiny 6 (IL-6). W grupie przyjmującej aglikon kwercetyny zanotowano znaczący wzrost stężenia kwercetyny. Suplementacja nie spowodowała istotnych zmian w stężeniu analizowanych wskaźników w porównaniu do placebo. Nie wykazano zatem pozytywnego wpływu suplementacji kwercetyną na objawy uszkodzeń mięśni szkieletowych indukowanych ćwiczeniami fizycznymi (O'FALLON i współaut. 2012). W doświadczeniu MCANULTYIEGO i współaut. (2008) również nie wykazano silnego działania przeciwutleniającego w organizmie poddawanych aktywności fizycznej. W grupie 40 rowerzystów przeprowadzono 6-tygodniową suplementację dawką 1000 mg kwercetyny na dobę, jednocześnie poddając badanych wysiłkowi fizycznemu przy 57% siły maksymalnej. Kwercetyna przyjmowana przez badane osoby nie wykazała działania ochronnego przed stresem oksydacyjnym i stanem zapalnym organizmu (MCANULTY i współaut. 2008). W późniejszym doświadczeniu MCANULTYIEGO i współaut. (2013), grupę aktywnych sportowo mężczyzn przez 6 dni suplementowano kwercetyną (225 mg/dobę) w połączeniu z resweratolem (120 mg/dobę), a w dniu intensywnego treningu fizycznego zwiększono dawkę do 450 mg kwercetyny i 240 mg resweratolu na dobę. W eksperymencie tym również nie potwierdzono korzystnego wpływu suplementacji na stan

zapalny indukowany aktywnością fizyczną. Wykazano, że suplementacja kwercetyną i resweratolem znacząco zmniejszyła peroksydację lipidów wywołaną wysiłkiem fizycznym. Jednocześnie nie wpłynęła na wartości wskaźników stanu zapalnego oraz stężenia przeciwutleniaczy w osoczu (MCANULTY i współaut. 2013). Powyższe wyniki badań znalazły również potwierdzenie w doświadczeniu przeprowadzonym przez ABBEYA i RANKINA (2011). W badaniu tym określano wpływ tygodniowego spożycia kwercetyny (1000 mg/dobę) w porównaniu do placebo, na zdolność do wykonywania wielokrotnie powtarzanego sprintu oraz stężenie IL-6 w grupie 15 mężczyzn rekreacyjnie uprawiających aktywność fizyczną. Suplementacja nie zmniejszyła odpowiedzi zapalnej po aktywności fizycznej oraz nie zwiększyła zdolności do wykonywania intensywnego wysiłku. Co więcej, zdolność do powtarzania sprintu w grupie przyjmującej kwercetynę była istotnie niższa niż w grupie placebo (ABBEY i RANKIN 2011).

ZDOLNOŚĆ WYTRZYMAŁOŚCIOWA

W badaniach DAVISA i współaut. (2010) wykazano, że spożycie kwercetyny zwiększyło VO_{2max} oraz zdolność wytrzymałościową u niewytrenowanych zawodników. W badaniu wzięło udział 12 osób, które zostały przydzielone losowo do dwóch grup: przyjmujących 2 razy na dobę 500 mg kwercetyny oraz placebo przez 7 dni. Po zakończeniu tygodniowej suplementacji przeprowadzono test na cykloergometrze rowerowym, z wykorzystaniem którego badani wykonywali wysiłek do momentu wyczerpania fizycznego. Dowiedziano, że siedmiodniowa suplementacja wiązała się z niewielkim, lecz istotnym statystycznie wzrostem VO_{2max} (3,9% w porównaniu do placebo) oraz znacznym wydłużeniem czasu zdolności do wykonywania wysiłku wytrzymałościowego (13,2%). Natomiast w doświadczeniu wykonanym przez DANESHAWARA i współaut. (2013) zaobserwowano, że 8-tygodniowa suplementacja w grupie badmintonistów taką samą dawką kwercetyny również istotnie wydłużyła czas zdolności do wykonywania wysiłku, w porównaniu do placebo. Jednocześnie nie zanotowano istotnej różnicy w wartości VO_{2max} . Podobne badania przeprowadzone przez BIGELMANA i współaut. (2010) nie wykazały zależności pomiędzy spożyciem kwercetyny a poprawą zdolności wysiłkowych. Badaniom poddano 58 zdrowych kobiet i mężczyzn rekrutowanych z Rezerwy Armii i Sił Powietrznych Korpusu Szkoleniowego Oficerów, o umiarkowanym poziomie wytrenowania, których podzielono na dwie grupy i poddano 6 ty-

godniowej suplementacji kwercetyną (1 g/dobę) lub placebo. Wpływ suplementacji na zdolności wysiłkowe badano za pomocą pomiaru VO_{2max} podczas wykonywania testów sprawnościowych. Nie wykazano różnic w wartościach badanych parametrów pomiędzy grupą przyjmującą kwercetynę i placebo. Analogiczne wyniki uzyskali GANIO i współaut. (2010) w grupie 11 niewytrenowanych kobiet i mężczyzn.

KRESSLER i współaut. (2011) przeprowadzili metaanalizę obejmującą 11 badań naukowych dotyczących wpływu kwercetyny na wydolność fizyczną w odpowiedzi na trening wytrzymałościowy. W badaniach obejmujących metaanalizę mediana czasu trwania suplementacji kwercetyną wynosiła 11 dni a mediana dawki 1000 mg/d. Metaanaliza obejmowała łącznie 254 badane osoby. Wyliczono średnią znormalizowaną różnicę, biorąc pod uwagę wskaźnik VO_{2max} oraz zdolność do wysiłków wytrzymałościowych, odzwierciedlającą wielkość efektów suplementacji kwercetyną. Wykazano istotny ($p < 0,05$), korzystny wpływ kwercetyny na analizowane parametry w porównaniu do placebo, a wielkość tego efektu w praktyce odpowiada poprawie wskaźników o około 3%. Ponadto, analiza wykazała brak istotnego związku pomiędzy wielkością efektów suplementacji kwercetyną w stosunku do poziomu sprawności badanych osób lub stężenia kwercetyny w surowicy krwi osiągniętego dzięki suplementacji. Suplementacja kwercetyną zapewnia zatem statystycznie istotną korzyść w zdolności do wykonywania ćwiczeń wytrzymałościowych.

PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych badań nad znaczeniem suplementacji kwercetyną w sporcie są niejednoznaczne. Niewątpliwie kwercetyna może być rozpatrywana jako związek o potencjalnie korzystnym działaniu z punktu widzenia żywieniowego, z uwagi na udowodnione liczne właściwości prozdrowotne.

Mimo obiecujących wyników badań przeprowadzonych na modelu zwierzęcym, nie zaobserwowano związku suplementacji kwercetyną ze zwiększeniem biogenezy mitochondrialnej u ludzi. Suplementacja kwercetyną w przeprowadzonych doświadczeniach nie wykazała oczekiwanego działania ochronnego przed stresem oksydacyjnym, stanem zapalnym organizmu oraz uszkodzeniami mięśni szkieletowych indukowanymi intensywnym wysiłkiem fizycznym. Jednak wpływ suplementacji na zdolności wytrzymałościowe organizmu został częściowo potwierdzony w badaniach z udziałem zawodników niewy-

trenowanych lub o umiarkowanym poziomie wytrenowania.

Podsumowując, opublikowane jak dotąd wyniki badań nie umożliwiają wysunięcia jednoznacznego wniosku dotyczącego zasadności stosowania suplementacji kwercetyną w sporcie. Niewątpliwie, do dalszych rozważań niezbędne jest poszerzenie badań dotyczących wpływu przyjmowania kwercetyny na poprawę adaptacji organizmu do obciążeń treningowych w dyscyplinach zarówno wytrzymałościowych, jak i siłowych, ale także poznanie dokładnych mechanizmów działania kwercetyny w organizmie. Ważnym aspektem przyszłych doświadczeń jest także zdefiniowanie dokładnej dawki suplementu, wykazującej pożądane działanie przy określonym natężeniu wysiłku fizycznego oraz sprecyzowanie potencjalnych działań niepożądanych nadmiernego spożycia kwercetyny i interakcji pomiędzy innymi stosowanymi przez sportowców suplementami.

Streszczenie

Kwercetyna (3,3',4',5,7-pentahydroksyflawon) naturalnie występująca w wielu surowcach oraz produktach spożywczych pochodzenia roślinnego, stanowi stały składnik diety człowieka. Udowodniono jej wielokierunkowe działanie prozdrowotne oraz przeciwutleniające, istotne z punktu widzenia dietetycznego. Wyniki wykonanych badań nad znaczeniem kwercetyny w diecie osób aktywnych fizycznie, jako związku o działaniu wspomagającym adaptację organizmu do obciążeń treningowych są jednak niejednoznaczne.

Celem usystematyzowania wiedzy z tego zakresu, dokonano kierunkowego przeglądu aktualnych (nie starszych niż 10 lat) badań naukowych sklasyfikowanych w międzynarodowych bazach, m. in. Web od Science, Science Direct, PubMed, który dotyczył kwercetyny, flawonoidów i przeciwutleniaczy oraz stresu oksydacyjnego, aktywności fizycznej i VO_{2max} . Obiecujące wyniki badań nad związkiem suplementacji kwercetyną ze zwiększeniem biogenezy mitochondrialnej, wykonanych na modelu zwierzęcym, nie zostały potwierdzone u ludzi. Nie wykazano również działania ochronnego przed stresem oksydacyjnym, stanem zapalnym organizmu oraz uszkodzeniami mięśni szkieletowych indukowanymi intensywnym wysiłkiem fizycznym. Jednakże wpływ suplementacji na zdolności wytrzymałościowe organizmu został częściowo potwierdzony wśród niewytrenowanych, lub o umiarkowanym poziomie wytrenowania zawodników.

Opublikowane jak dotąd wyniki badań nie umożliwiają wysunięcia wniosku dotyczącego zasadności stosowania suplementacji kwercetyną w sporcie. Niewątpliwie, temat ten wciąż jest niedostatecznie poznany i stanowi potencjał dla dalszych badań, których ważnym aspektem jest także określenie dokładnej dawki suplementu, wykazującej pożądane działanie i określenie potencjalnych działań niepożądanych nadmiernego spożycia kwercetyny oraz interakcji z innymi suplementami.

LITERATURA

ABBEY E. L., RANKIN J. W., 2011. *Effect of quercetin supplementation on repeated-sprint performance, xanthine oxidase activity, and inflam-*

- tion. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 21, 91-96.
- AHERNE A. S., O'BRIEN N. M., 2002. *Dietary flavonols: chemistry, food content and metabolism.* *Nutrition* 18, 75-81.
- BASHIR S. O., 2014. *Hepatoprotective role for quercetin in diabetic rats: hypolipidemic and antioxidant effects.* *Med. J. Cairo Univ.* 82, 169-178.
- BELVIRANLI M., OKUDAN N., 2015. *Well-known antioxidants and newcomers in sport nutrition: coenzyme Q10, quercetin, resveratrol, pterostilbene, pycnogenol and astaxanthin.* [W:] *Antioxidants in sport nutrition.* LAMPRECHT M. (red.). Tylor and Francais Gorup, Abingdon, 79-102.
- BIGELMAN K. A., FAN H. E., CHAPMAN D. P., FRESSE E. C., TRILK J. L., CURETON K. J., 2010. *Effects of six weeks of quercetin supplementation on physical performance in ROTC cadets.* *Mil. Med.* 175, 791-798.
- CAI W., CHEN Y., XIE L., ZHANG H., HOU CH., 2014. *Characterization and density functional theory study of the antioxidant activity of quercetin and its sugar-containing analogues.* *Eur. Food Res. Technol.* 238, 121-128.
- CASUSO R. A., MARTÍNEZ-LÓPEZ E. J., NORDSBORG N. B., HITA-CONTRERAS F., MARTÍNEZ-ROMERO R., CAÑUELO A., MARTÍNEZ-AMAT. A., 2014. *Oral quercetin supplementation hampers skeletal muscle adaptations in response to exercise training.* *Scand. J. Med. Sci. Sports* 24, 920-927.
- COSKUN O., KANTER M., KORKMAZ A., OTER S., 2005. *Quercetin, a flavonoid antioxidant, prevents and protects streptozotocin-induced oxidative stress and β -cell damage in rat pancreas.* *Pharmacol. Res.* 51, 117-123.
- CURETON K. J., TOMPOROWSKI P. D., SINGHAL A., PASLEY J. D., BIGELMAN K. A., LAMBOURNE K., TRILK J. L., MCCULLY K. K., ARNAUD M. J., ZHAO Q., 2009. *Dietary quercetin supplementation is not ergogenic in untrained men.* *J. Appl. Physiol.* 107, 1095-1104.
- DANESHVAR P., HARIRI M., GHIASVAND R., ASKARI G., DARVISHI L., MASHHADI N. S., KHOSRAVI-BOROJENI H., 2013. *Effect of eight weeks of quercetin supplementation on exercise performance, muscle damage and body muscle in male badminton players.* *Int. J. Prev. Med.* 4, S53-S57.
- DAVIS J. M., MURPHY E. A., CARMICHAEL M. D., DAVIS B., 2009. *Quercetin increases brain and muscle mitochondrial biogenesis and exercise tolerance.* *Am. J. Physiol.* 297, 1071-1077.
- DAVIS J. M., CARLSTEDT C. J., CHEN S., CARMICHAEL M. D., MURPHY E. A., 2010. *The dietary flavonoid quercetin increases VO_{2max} and endurance capacity.* *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 20, 56-62.
- EDREMITLIOGLU M., ANDIC M., F., KORKUT O., 2012. *Quercetin, a powerful antioxidant bioflavonoid, prevents oxidative damage in different tissues of long-term diabetic rats.* *Balk. Med. J.* 29, 49-55.
- EDWARDS R. L., LYON T., LITWIN S. E., RABOVSKY A., SYMONS J. D., JALILI T., 2007. *Quercetin reduces blood pressure in hypertensive subjects.* *J. Nutr.* 137, 2405-2411.
- EGERT S., BOSY-WESTPHAL A., SEIBERL J., KÜRBITZ C., SETTLER U., PLACHTA-DANIELZIK S., WAGNER A. E., FRANK J., SCHREZENMEIER J., RIMBACH G., WOLFFRAM S., MÜLLER M. J., 2009. *Quercetin reduces systolic blood pressure and plasma oxidised low-density lipoprotein concentrations in overweight subjects with a high-cardiovascular disease risk phenotype: a double-blinded, placebo-controlled cross-over study.* *Br. J. Nutr.* 102 1065-1074.
- GANIO M. S., ARMSTRONG L. E., JOHNSON E. C., KLAU J. F., BALLARD K. D., MICHNIAK-KOHN B., KAUSHIK D., MARESH C. M., 2010. *Effect of quercetin supplementation on maximal oxygen uptake in men and women.* *J. Sports Sci.* 28, 201-208.
- GHERIBI E., 2011. *Związki polifenolowe w owocach i warzywach.* *Med. Rodz.* 4, 111-115.
- GRAMZA-MICHAŁOWSKA A., SIDOR A., KULCZYŃSKI B., 2017. *Berries as a potential anti-influenza factor-a review.* *J. Funct. Foods* 37, 116-137.
- GRYSZCZYŃSKA B., ISKRA M., 2008. *Współdziałanie antyoksydantów egzogennych i endogennych w organizmie człowieka.* *Now. Lek.* 77, 50-55.
- HARNLY J. M., DOHERTY R. F., BEECHER G. R., HOLDEN J. M., HAYTOWITZ D. B., BHAGWAT S., GEBHARDT S., 2006. *Flavonoid content of U.S. fruits, vegetables and nuts.* *J. Agric. Food Chem.* 54, 9966-9977.
- ISLAM M. A., SCHMIDT R. W., GUNASEELAN S., SANCHEZ A., 2014. *An update on the cardiovascular effects of quercetin, a plant flavonoid.* *Curr. Nutr. Food Sci.* 10, 36-48.
- JADHAV R., PUCHCHAKAYALA G., 2012. *Hypoglycemic and antidiabetic activity of flavonoids: boswellic acid, ellagic acid, quercetin, rutin on streptozotocin-nicotinamide induced type 2 diabetic rats.* *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* 4, 251-256.
- JAKUBOWICZ-GIL J., 2012. *Kwercetyna w terapii przeciwnowotworowej.* *Post. Biol. Kom.* 39, 199-216.
- JEONG S. M., KANG M. J., CHOI H. N., KIM J. H., KIM J. I., 2012. *Quercetin ameliorates hyperglycemia and dyslipidemia and improves antioxidant status in type 2 diabetic db/db mice.* *Nutr. Res. Pract.* 6, 201-207.
- KIM G. N., KWON Y. I., JANG H. D., 2011. *Protective mechanism of quercetin and rutin on 2,2'-azobis(2-amidinopropane)dihydrochloride or Cu_2^{+} -induced oxidative stress in HepG2 cells.* *Toxicol. In Vitro* 25, 138-144.
- KOBYLIŃSKA A., JANAS K. M., 2015. *Prozdrowotna rola kwercetyny obecnej w diecie człowieka.* *Postep. Hig. Med. Dosw.* 69, 51-62.
- KRESSLER J., MILLARD-STAFFORD M., WARREN G. L., 2011. *Quercetin and endurance exercise capacity: a systematic review and meta-analysis.* *Med. Sci. Sports Exerc.* 43, 2396-2404.
- KULCZYŃSKI B., GRAMZA-MICHAŁOWSKA A., SIDOR A., 2016. *Quercetin - a flavonoid with a high health-promoting potential.* *NPT J.* 10, 1-13.
- LESJAK M., BEARA I., SIMIN N., PINTAČ D., MAJKIĆ T., BEKVALAC K., ORČIĆ D., MIMICA-DUKIĆ N., 2018. *Antioxidant and anti-inflammatory activities of quercetin and its derivatives.* *J. Funct. Foods* 40, 68-75.
- LESSER S., CERMAK R., WOLFFRAM S., 2004. *Bioavailability of quercetin in pigs is influenced by the dietary fat content.* *J. Nutr.* 134, 1508-1511.
- MCANULTY S. R., MCANULTY L. S., NIEMAN D. C., QUINDRY J. C., HOSICK P. A., HUDSON M. H., STILL L., HENSON D. A., MILNE G. L., MORROW J. D., DUMKE H. L., UTTER A. C., TRIPLETT N. T., DIBARNARDI A., 2008. *Chronic quercetin ingestion and exercise-induced oxidative damage and inflammation.* *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 33, 254-262.
- MCANULTY L. S., MILLER L. E., HOSICK P. A., UTTER A. C., QUINDRY J. C., MCANULTY S. R., 2013. *Effect of resveratrol and quercetin supplementation on redox status and inflamma-*

- tion after exercise. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 38, 760-765.
- MILACKOVA I., KOVACIKOVA L., VEVERKA M., GALLOVIC J., STEFEK M., 2013. Screening for antiradical efficiency of 21 semi-synthetic derivatives of quercetin in a DPPH assay. *Interdiscip. Toxicol.* 6, 13-17.
- O'FALLON K. S., KAUSHIK D., MICHNIAK-KOHN B., DUNNE C. P., ZAMBRASKI E. J., CLARKSON P. M., 2012. Effects of quercetin supplementation on markers of muscle damage and inflammation after eccentric exercise. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 22, 430-437.
- PRASAD V. G. N. V., VAMSI KRISHNA B., SWAMY P. L., RAO T. S., RAO G. S., 2014. Antibacterial synergy between quercetin and polyphenolic acids against bacterial pathogens of fish. *Asian Pac. J. Trop. Dis.* 4, S326-S329.
- RAVICHANDRAN R., RAJENDRAN M., DEVAPIRIAM D., 2014. Antioxidant study of quercetin and their metal complex and determination of stability constant by spectrophotometry method. *Food Chem.* 146, 472-478.
- REID K., 2013. Performance food: Promoting foods with a functional benefit in sports performance. *Nutr. Bull.* 38, 429-437.
- SEN C. K., 2001. Antioxidants in exercise nutrition. *Sports Med.* 31, 891-908.
- SHU Y., LIU Y., LI L., FENG J., LOU B., ZHOU X., WU H., 2011. Antibacterial activity of quercetin on oral infectious pathogens. *Afr. J. Microbiol. Res.* 5, 5358-5361.
- USDA, 2014. *Annuaire performance report*. <https://www.obpa.usda.gov/perfrpt/2014usdaperfrpt.pdf>
- WICZKOWSKI W., SZAWARA-NOWAK D., TOPOLSKA J., OLEJARZ K., ZIELINSKI H., PISKULA M., K., 2014. Metabolites of dietary quercetin: profile, isolation, identification and antioxidant capacity. *J. Funct. Foods* 11, 121-129.
- YAVARI A., JAVADI M., MIRMIRAN P., BAHADORAN Z., 2015. Exercise-induced oxidative stress and dietary antioxidants. *Asian J. Sports Med.* 6, 1-7.
- ZHANG M., SWARTS S. G., YIN L., LIU CH., TIAN Y., CAO Y., SWARTS M., YANG S., ZHANG S. B., ZHANG K., JU S., OLEK D. J., SCHWARTS L., KENG P. C., HOWELL R., ZHANG L., OKUNIEFF P., 2011. Antioxidant properties of quercetin. *Adv. Exp. Med. Biol.* 701, 283-289.

KOSMOS Vol. 68, 1, 145–151, 2019

ANNA GRAMZA-MICHAŁOWSKA, MARZENA BUESCHKE, BARTOSZ KULCZYŃSKI

Department of Gastronomy Sciences and Functional Foods, Faculty of Food Science and Nutrition, Poznań University of Life Sciences, 28 Wojska Polskiego Str., 60-637 Poznań, E-mail: anna.gramza@up.poznan.pl

THE SIGNIFICANCE OF QUERCETIN IN ATHLETES DIET AS AN PERFORMANCE ENHANCING COMPOUND

Summary

Quercetin (3,3',4',5,7-pentahydroxyflavone) naturally occurring in many plants and food products consists a constant component of human diet. Multidirectional health promoting properties and antioxidant activity of quercetin, important also from nutritional point of view, have been proven. However, research results on the quercetin's significance in the diet of physically active persons, as a compound promoting organisms adaptation to their workload, are inconclusive. In order to systematize knowledge in this field, a review of the current (not older than 10 years) literature on quercetin, flavonoids, anti-oxidants and also oxidative stress, physical activity, and VO_{2max} has been performed. Promising results of investigations conducted on animal models have not been confirmed in research on human. Mitochondrial biogenesis increase, protection against exercise-induced oxidative stress, inflammatory and skeletal muscle damage have not been proven. However, an impact of quercetin supplementation on body's endurance capacity of non- or moderate-trained athletes has been only partially confirmed. Thus, results of recent investigations do not provide unambiguous indications for usefulness of quercetin in sport. Nevertheless, further studies in this field are needed in order to determine doses of quercetin providing desired beneficial effects, to detect potential adverse consequences of its use and to establish its interactions with other dietary supplements.

Key words: antioxidants, flavonoids, oxidative stress, physical activity, quercetin, VO_{2max}