

Zaangażowanie Autorów

- A – Przygotowanie projektu badawczego
B – Zbieranie danych
C – Analiza statystyczna
D – Interpretacja danych
E – Przygotowanie manuskryptu
F – Opracowanie piśmiennictwa
G – Pozyskanie funduszy

Author's Contribution

- A – Study Design
B – Data Collection
C – Statistical Analysis
D – Data Interpretation
E – Manuscript Preparation
F – Literature Search
G – Funds Collection

Hanna Dziewiecka^(B,E,F), Anna Kasperska^(B,E,F), Agnieszka Zembroń-Łacny^(A,G)

Zakład Medycyny Sportu i Biochemii, Zamiejscowy Wydział Kultury Fizycznej w Gorzowie Wlkp. Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu
Department of Sports Medicine, Non-local Department of Physical Culture in Gorzów Wielkopolski, University of Physical Education in Poznań

ZASTOSOWANIE ZWIĄZKÓW SIARKOWYCH W SPORCIE; BIOTYNA, TIAMINA I TAURYNA SULFUR COMPOUNDS IN SPORT; BIOTIN, THIAMINE AND TAURINE

Słowa kluczowe: witaminy, cysteina, energia, stres oksydacyjny, zmęczenie mięśni
Key words: vitamins, cysteine, energy, oxidative stress, muscle fatigue

Streszczenie

Organiczne połączenia siarki reprezentują liczną grupę związków, do której należą również witaminy i pochodne aminokwasów siarkowych. Biotyna i tiamina należą do witamin grupy B i jako koenzymy odgrywają kluczową rolę w przemianach energetycznych, w procesach neurofizjologicznych, odpowiedzi immunologicznej i in. Obie witaminy występują zarówno w produktach pochodzenia zwierzęcego, jak i roślinnego. Hipowitaminoza jest spotykana rzadko, tj. przy wyraźnych zaniedbaniach żywieniowych, długotrwałym żywieniu pozajelitowym, kuracji sulfonamidami czy antybiotykami. Zapotrzebowanie na biotynę wynosi 30 µg na dobę, natomiast na tiaminę jest proporcjonalne do ilości spożywanej energii (0,4-0,6 na 1000 kcal).

Tauryna należy do pochodnych cysteiny i, w przeciwieństwie do witamin, jest wytwarzana przez nasz organizm. Największe stężenie osiąga w mięśniach szkieletowych, nerkach, wątrobie i mózgu. Reguluje stężenie jonów wapnia w komórkach, jest neuroprzekaznikiem i neuromodulatorem, odpowiada za osmoregulację, uczestniczy w tworzeniu kwasów żółciowych, moduluje przebieg reakcji zapalnej.

Niedobór biotyny, tiaminy i tauryny w pożywieniu sportowców jest przyczyną nagromadzenia w mięśniach kwasów pirogronowego i mlekowego oraz zwiększonej wrażliwości na stres oksydacyjny. Wpływa to na funkcje układów mięśniowego i nerwowego oraz ogranicza zdolność do wykonywania intensywnych wysiłków fizycznych. Biotyna, tiamina i tauryna są składnikami napojów typu „vitamin drink” lub „energy drink”. Tauryna jest obecnie jednym z bardziej popularnych środków wspomagających, stosowanych w celu osłabienia uszkodzeń komórkowych, ograniczenia zmęczenia mięśni, wzrostu siły skurczu włókien mięśniowych i poprawy koncentracji podczas wysiłku fizycznego. W artykule, na podstawie przeglądu dostępnego piśmiennictwa, jak również doświadczeń własnych autorów, przedstawiono zastosowanie wybranych związków siarkowych w sporcie.

Summary

There are multiple sulphur organic compounds including vitamins and sulphur amino acid derivatives. Biotin and thiamine belong to B vitamins and, as coenzymes, they play a key role in energetic transformations, neurophysiological processes, immune reactions, etc. Both vitamins are found both in animal and plant products. Hypovitaminosis is rarely developed, usually due to malnutrition, prolonged parenteral nutrition and sulfonamide or antibiotic treatment. Human body demand for biotin and 30 µg per 24 hours while the demand for thiamine is proportional to the amount of consumed energy (0,4-0,6 per 1000 kcal).

Taurine is a cysteine derivative and, unlike vitamins, it is produced by our bodies. The highest concentration of taurine is in the skeletal muscles, kidneys, liver and brain. Taurine regulates calcium ion concentration in cells, acts as a neurotransmitter and a neuromodulator, is responsible for osmoregulation, participates in bile acid formation and modulates the course of inflammatory responses.

The deficiency of biotin, thiamine and taurine in athletes' diet results in pyruvate and lactate accumulation in muscles and an increased sensitivity to oxidative stress. This affects the function of the muscular and nervous systems and limits the ability to physical effort performance. Biotin, thiamine and taurine are the components of the so called "vitamin drinks" or "energy drinks". Taurine is now one of the most popular adjuvant agents used to mitigate cellular damage, muscle fibre contractions and concentration improvement during physical exertion. The paper presents the application of selected sulphur compounds, based on the available literature and the authors' own experience.

Word count: 5658
Tables: 0
Figures: 2
References: 35

Adres do korespondencji / Address for correspondence

Agnieszka Zembroń-Łacny
Zakład Medycyny Sportu i Biochemii, Zamiejscowy Wydział Kultury Fizycznej w Gorzowie Wlkp. Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu
66-400 Gorzów Wlkp., ul. Estkowskiego 13, tel./fax: (95) 727-91-57, e-mail: biochem@awf-gorzow.edu.pl

Otrzymano / Received 20.12.2009 r.
Zaakceptowano / Accepted 27.02.2010 r.

Wstęp

Siarka w związkach organicznych tworzy wiele rozmaitych połączeń i grup funkcyjnych. Poza grupą tiolową (sulfhydrylową -SH), obecną w kwasie dihydroliponowym, glutationie lub ergotioneinie, siarka występuje także w sulfidach (biotyna i tiamina) lub kwasie sulfonowym (tauryna) (Ryc. 1). W takich połączeniach siarka nie bierze bezpośredniego udziału w reakcjach, ale decyduje o strukturze i tym samym o wyjątkowych właściwościach biochemicznych wymienionych związków.

W artykule, na podstawie przeglądu dostępnego piśmiennictwa, jak również doświadczeń własnych autorów, przedstawiono zastosowania wybranych związków siarkowych w sporcie.

Biotyna i tiamina

Biotyna (witamina B₇) i tiamina (witamina B₁) strukturalnie należą do związków heterocyklicznych, funkcjonalnie zaś do witamin grupy B. Biotyna zbudowana jest z dwóch zespolonych ze sobą pierścieni (tiofenowego i imidazolowego), z dołączonym do nich łańcuchem kwasu walerianowego. Tiamina zbudowana jest z pierścienia tiazolowego i pirymidynowego, które połączone są mostkiem metinowym. Obie witaminy należą do witamin rozpuszczalnych w wodzie i odgrywają istotną rolę w podstawowych procesach przemiany materii. Często niewielkie zmiany w strukturze tych witamin prowadzą do powstania związków o przeciwstawnej aktywności, tzw. antywitamin [1,2].

Naturalnie występującą formą biotyny jest biocytyna, która pod wpływem enzymu biotynidazy, obecnego w soku trzustkowym, ulega rozkładowi. Biotynida-

Background

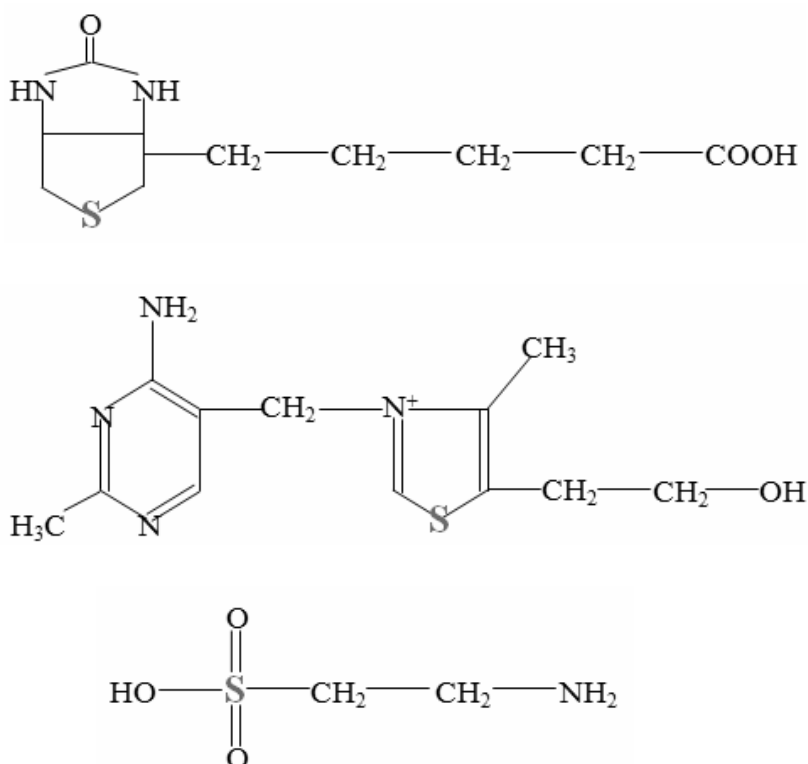
Sulphur, in its organic compounds, forms multiple bindings and functional groups. Apart from the thiol group, (sulfhydryl -SH), present in the dihydrolipoic acid, glutathione or ergothioneine, sulphur is also present in sulphides (biotin and thiamine) or sulfonic acid (taurine) (Fig. 1). In these bindings, sulphur does not directly participate in chemical reactions, but determines the structure, and thus, the unique biochemical properties of the above mentioned compounds.

The paper presents the application of selected sulphur compounds, based on the available literature and the authors' own experience.

Biotin and thiamine

Biotin (vitamin B₇) and thiamine (vitamin B₁) structurally belong to heterocyclic compounds and functionally, to B vitamins. Biotin is composed of two rings (thiophene and imidazole), fused with the valeric acid ring. Thiamine structure contains a thiazole ring and a pyrimidine ring linked by a methylene bridge. Both vitamins are water soluble and play an important role in metabolic processes. Often even slight changes in the structure of these vitamins result in formation of compounds with an opposing effect, namely antivitamin [1,2].

Biocytin is a natural form of biotin which is decomposed under influence of biotinidase enzyme, present in pancreas juice. Biotinidase is also involved in blood biotin transport and kidney resorption. Generally, biotin content in the human body is about



Ryc. 1. Wzory strukturalne biotyny (wit. B₇), tiaminy (wit. B₁) i tauryny
 Fig. 1. Structural formulas of biotin (vitamin B₇), thiamine (vitamin B₁) and taurine

za bierze także udział w transporcie biotyny we krwi i we wchłanianiu zwrotnym w nerkach. Ogólna zawartość biotyny w organizmie wynosi około 2 mg, jej nadmiar ulega częściowemu przemianom i jako sulfotlenek jest wydalany z moczem [3].

Biotyna pełni rolę koenzymu czterech karboksylaz, uczestnicząc w syntezie i metabolizmie kwasów tłuszczowych, glukoneogenezie oraz przemianach aminokwasów rozgałęzionych (ang. branched-chain amino acids, BCAA). Do enzymów biotynozależnych, występujących w organizmie człowieka, zalicza się: karboksylazę pirogronianową, karboksylazę acetylo-CoA, karboksylazę propionilo-CoA i karboksylazę β -metylokrotonilo-CoA. Pierwsza z nich katalizuje przemianę pirogronianu do szczawiooctanu, uczestnicząc w szlaku metabolicznym glukoneogenezy. Zatem niedobór biotyny i spadek aktywności tego enzymu może prowadzić do kwasicy metabolicznej mleczanowej oraz zaburzeń regulacji glikemii. Druga z wymienionych karboksylaz katalizuje przemianę acetylo-CoA do malonylo-CoA, który jest ważnym substratem w syntezie kwasów tłuszczowych. Trzecia z nich katalizuje propionilo-CoA do metylomalonylo-CoA, który wchodzi w cykl kwasu cytrynowego. Ostatnia karboksylaza katalizuje przemianę β -metylokrotonilo-CoA do β -metyloglutarylo-CoA, który jest prekursorem kwasu malonowego, produktu wyjściowego w biosyntezie steroidów [3,4].

Biotyna uczestniczy w stabilizacji struktury chromatyny poprzez biotynylację histonów, wpływa na procesy naprawy DNA i ekspresję genów, m.in. receptora insuliny [4]. Wpływa także na funkcje układu immunologicznego, a wraz z witaminą K uczestniczy w procesie krzepnięcia krwi [6].

Zapotrzebowanie na biotynę zdrowego dorosłego człowieka kształtuje się na poziomie 30 μ g na dobę. Biotyna jest obecna w produktach zarówno pochodzenia roślinnego, jak i zwierzęcego. W dużych ilościach występuje w wątrobie, nerkach, mleku i żółtku jaj oraz produktach zbożowych. Niedobory biotyny spotyka się u pacjentów przewlekle leczonych metodą całkowitego żywienia pozajelitowego lub poddawanych długotrwałej kuracji sulfonamidami czy antybiotykami, które hamują wzrost bakterii produkujących tę witaminę w organizmie, u osób z ciężkim niedożywieniem białkowo-kalorycznym, żywionych nieodpowiednią dietą, zwłaszcza zawierającą dużą ilość surowego białka jaj, w którym występuje antagonistą biotyny – awidyna. Niedobór biotyny objawia się przygnębieniem, bólami mięśni, brakiem łaknienia, nudnościami i stanami zapalnymi skóry [3,4].

Tiamina wchłania się w jelicie cienkim w wyniku aktywnego transportu i jest przekształcana w aktywny difosforan tiaminy. Duże dawki tiaminy powodują szybkie wysycenie tkanek i jej wydalanie z moczem. W komórkach niektórych zwierząt stwierdzono obecność enzymu tiaminazy, który rozkłada tiaminę do pochodnych tiazolu i pirymidyny [2].

Difosforan tiaminy jest koenzymem trzech kompleksów wieloenzymatycznych, katalizujących reakcje dekarboksylacji: dehydrogenazy pirogronianowej (w przemianie węglowodanowej), dehydrogenazy β -ketoglutarylowej (w cyklu kwasu cytrynowego) i dehydrogenazy ketokwasów (w przemianie leucyny, izoleucyny i waliny – BCAA). Difosforan tiaminy jest również koenzymem transketolazy w szlaku pentozofosforanowym, stanowiącym źródło rybozy niezbędnej do syntezy kwasów nukleinowych, NADPH i procesach neurofizjologicz-

2 mg. Its excess is transformed and excreted with urine as sulfoxide [3].

Biotin plays the role of a four carboxylase enzyme being involved in the synthesis and metabolism of fatty acids, glucogenesis and transformation of branched-chain amino acids (BCAA). The biotin-dependent enzymes, present in the human organism, include: pyruvate carboxylase, acetyl CoA carboxylase, propionyl CoA carboxylase and β -methylcrotonyl CoA carboxylase. Pyruvate carboxylase catalyses pyruvate transformation to oxalacetate being involved in glucogenesis metabolic pathway. Thus biotin deficiency and the decrease in this enzyme activity may lead to metabolic lactate acidosis and glycaemia regulation disorders. Acetyl CoA carboxylase catalyses acetyl CoA transformation to malonyl CoA which is an important substrate in fatty acid synthesis. Propionyl CoA carboxylase catalyses propionyl-CoA to methylmalonyl-CoA which is involved in citric acid cycle. β -methyl-crotonyl CoA carboxylase catalyses β -methyl-crotonyl-CoA transformation to β -methyl-glutaryl-CoA which is the precursor of malonic acid, the output product of steroid biosynthesis [3,4].

Biotin is involved in chromatin structure stabilization through histone biotinylation, it influences the processes of DNA repair and expression of genes including insulin receptor [4]. It also affects immune system function and, together with vitamin K, participated in blood coagulation process [6].

The demand for biotin in healthy adults is, on average, 30 μ g for a 24-hour period. Biotin is present both in plant and animal products. Large amounts of biotin are found in the liver, kidneys, milk and egg yolk and cereals. Biotin deficiency is common in patients with chronic illnesses, undergoing parenteral nutrition or sustained sulphonamide or antibiotic treatment, inhibiting the growth of bacteria responsible for production of this vitamin in the body and in patients with severe protein-calorie malnutrition, caused by excessive consumption of raw egg whites containing avidin, which is biotin antagonist. Biotin deficiency symptoms include depression, muscle pains, lack of appetite, nausea and inflammatory skin conditions [3,4].

Thiamine is absorbed in the small intestine due to active transport and transformed into active thiamine diphosphate. Excessive consumption of thiamine leads to quick tissue saturation and thiamine excretion with urine. In the cells of certain animals thiaminase was found, responsible for thiamine decomposition to thiazole and pyrimidine derivatives [2].

Thiamine diphosphate is a coenzyme of three multienzyme complexes catalysing decarboxylation reactions: pyruvate dehydrogenase (in carbohydrate transformation) β -ketoglutarate dehydrogenase (in citric acid cycle) and ketoacid dehydrogenase (in leucine, isoleucine and valine BCAA transformation). Thiamine diphosphate is also transketolase coenzyme in pentose phosphate pathway being the source of ribose, necessary for nucleic acid (NADPH) synthesis and neurological processes. Thiamine triphosphate is involved in nervous impulse transmission, responsible for phosphorylation and simultaneous activation of membrane chloride channels [7,8].

Thiamine consumption should be proportional to energetic demand for thiamine, namely the amount

nych. Natomiast trifosforan tiaminy uczestniczy w przewodnictwie impulsów nerwowych, fosforylując kanał chlorkowy w błonie i jednocześnie go aktywując [7,8].

Spożycie tiaminy powinno być proporcjonalne do zapotrzebowania energetycznego, a dokładnie do ilości spożywanych węglowodanów. Zalecana ilość to 0,4 mg na 1000 kcal. Zapotrzebowanie na tiaminę zwiększa się u osób nadużywających alkoholu, kawy, herbaty, palących papierosy oraz po zabiegach i stanach stresowych. Przy spożyciu diety pozbawionej tiaminy, zapasy ustrojowe mogą wyczerpać się w ciągu 2 tygodni lub nawet szybciej. Najwięcej tiaminy dostarczają produkty zbożowe (ok. 37%), mięso, wędliny i ryby (ok. 30%) oraz ziemniaki (13%) [2,8].

Niedobory tiaminy powodują nagromadzenie w mięśniach kwasów pirogronowego i mlekowego, co wpływa na funkcje zarówno układu mięśniowego, jak i nerwowego. Objawia się to osłabieniem siły mięśniowej kończyn dolnych, silnymi bólami mięśniowymi oraz wzmożoną pobudliwością, osłabieniem pamięci i depresją. Objawy awitaminozy rozwijają się tym szybciej, im więcej cukrowców pobieranych jest z pożywieniem, przy równoczesnym niedoborze tiaminy. W przypadku bardzo dużych niedoborów tiaminy występuje choroba beri-beri [1,2].

Suplementacja biotyny i tiaminy

Wysiłek fizyczny zwiększa zapotrzebowanie organizmu na energię i białka, tym samym zwiększa zapotrzebowanie na związki regulujące przemianę węglowodanów, lipidów, białek i aminokwasów, takich jak biotyna i tiamina. Czy istnieje potrzeba zwiększonej podaży tych witamin u sportowców? Anyanwu i wsp. [9] na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzili, że intensywny wysiłek fizyczny wywołuje 30% spadek stężenia biotyny. Obniżeniu poziomu biotyny we krwi towarzyszył spadek pojemności antyoksydacyjnej i zwiększona wrażliwość na stres oksydacyjny w okresie restytucji. Na podstawie tych badań, autorzy zaproponowali suplementację biotyny u sportowców, ale przy pełnej kontroli stężenia biotyny i wskaźników stresu oksydacyjnego. Niestety sam pomiar biotyny we krwi nie jest czułym wskaźnikiem niedostatecznego jej spożycia. Z dotychczasowych badań wynika, że najbardziej miarodajny wskaźnik stanu odżywiania biotyną stanowi zmniejszone wydalanie biotyny lub kwasu 3-hydroksyizowalerianowego z moczem [10].

Nadal brak dostatecznych danych, na podstawie których można ustalić zapotrzebowanie na biotynę dla osób aktywnych fizycznie. Wiadomo, że dawki do 200 mg nie wywołują szkodliwych objawów ubocznych. Preparaty witaminowe obecne na rynku zawierają od 40-50 µg witaminy B₇, to jest o około 10 µg więcej niż zalecane normy dla osób dorosłych [10]. W preparatach rekomendowanych sportowcom zawartość biotyny w 100 ml napoju waha się w bardzo dużych granicach od 12 µg do 80 µg.

W przypadku tiaminy zaobserwowano, że niska podaż tej witaminy przy spożyciu diety wysokowęglowodanowej jest przyczyną wzrostu we krwi mleczanu i pirogronianu, a w konsekwencji – wystąpienia kwasicy mleczanowej [7]. Van der Beek i wsp. [11] zaobserwowali 12% obniżenie VO_{2max} , 7% wzrost stężenia mleczanu i 9% spadek siły po 11 tygodniach stosowania diety z niską zawartością tiaminy, ryboflawiny (wit. B₁₂) i pirydoxyny (wit. B₆).

of consumed carbohydrates. It is recommended to consume 0,4 mg of thiamine per 1000 kcal. The demand for thiamine increases in individuals consuming excessive amounts of alcohol, coffee and tea or smoking tobacco, due to medical procedures or stress conditions. The diet low in thiamine leads to its deficiency within two weeks or even sooner. Thiamine is mainly found in cereals (about 37%), meat, smoked meat and fish (about 30%) and potatoes (13%) [2,8].

Thiamine deficiency results in formation of pyruvate and lactate in muscles, affecting the function of the muscular and nervous systems. The symptoms include muscle strength impairment in the lower limbs, acute muscle pain, excessive excitability, memory impairment and depression. The symptoms of avitaminosis develop quicker with higher consumption of carbohydrates and thiamine deficiency. Very high thiamine deficiency leads to beri-beri disease [1,2].

Thiamine and biotin supplementation

Physical exertion increases body demand for energy, protein and thus, for the compounds regulating transformation of carbohydrates, lipids, proteins and amino acids, such as biotin and thiamine. A question may be posed whether athletes need greater amounts of these vitamins. Anyanwu et al. [9], based on their study results have found that increased physical exertion results in a 30% decrease in biotin concentration. A decrease in blood biotin level was associated with a decrease in antioxidant capacity and increased sensitivity to oxidative stress during the restitution period. The authors proposed biotin supplementation in athletes, however with fully controlled biotin concentration and oxidative stress indicators. Regrettably, a sole measurement of blood biotin level is not a sensitive index of biotin consumption. The so far conducted studies suggest that a decreased biotin or 3-hydroxy-iso-valeric acid urine excretion is a more reliable indicator of biotin concentration [10].

We still lack adequate data, allowing us to determine the demand for biotin in physically active individuals. We know that doses up to 200 mg do not produce any adverse side effects. Vitamin preparations, which are currently in the market, contain from 40 to 50 µg of vitamin B₇, which is about 10 µg more than the doses recommended for adult individuals [10]. In the preparations recommended for athletes, the content of biotin in 100 ml of beverage is from 12 µg to 80 µg.

It has been noted that low supply of thiamine, combined with high carbohydrate consumption, causes the increase in blood lactate and pyruvate levels, and in consequence – lactate acidosis [7]. Van der Beek et al. [11] have found a 12% decrease in VO_{2max} , 7% decrease in lactate concentration and 9% decrease in strength following 11 weeks of the diet low in thiamine, riboflavin (vitamin B₁₂) and pyridoxin (vitamin B₆).

W przeciwieństwie do biotyny, stosunkowo łatwo można określić zawartość tiaminy w organizmie. Przyjętym wskaźnikiem poziomu tiaminy jest aktywność transketolazy, oznaczana w hemolizatach krwinek czerwonych. Prawidłową aktywność transketolazy w erytrocytach uzyskuje się po spożyciu 0,5 mg, a niekiedy 0,6-0,8 mg/1000 kcal [7].

W normalnych warunkach aktywność fizyczna nie wpływa znacząco na zapotrzebowanie na tiaminę, jednak u sportowców wyczynowych zapotrzebowanie to może się zwiększać. Według Woolf'a i Manore [12], suplementy tiaminy, ryboflawiny i pirydoksyny powinni aplikować sobie sportowcy stosujący diety restrykcyjne. W preparatach witaminowych typu „vitamin drink” lub „sport drink” znajduje się zazwyczaj chlorowodorek lub jednoazotan tiaminy w ilości 0,16-1,5 mg w 100 ml napoju. W niektórych krajach wytwarzana jest tiolowa forma tiaminy [8]. W ostatnich latach zaczęto stosować lipofilną pochodną tiaminy – benfotiaminę, która zwiększa aktywność transketolazy nawet 3-4-krotnie [13].

Tauryna

Tauryna (kwas 2-aminoetylosulfonowy) jest końcowym produktem degradacji aminokwasu siarkowego cysteiny. W przeciwieństwie do aminokwasów nie posiada grupy karboksylowej, lecz grupę sulfonową. Tauryna może być wbudowywana do białek, ale nie stwierdzono występowania w komórkach aminoacylo-tRNA specyficznego dla tauryny. Stanowi 3% puli wolnych aminokwasów w osoczu. W pozostałych tkankach jej zawartość jest wyższa i wynosi odpowiednio: 53% (mięśnie), 50% (nerka), 25% (wątroba), 19% (mózg) wolnych aminokwasów. Metaboliczne funkcje tauryny obejmują: trawienie tłuszczu, detoksykację, osmoregulację, regulację poziomu jonów wapnia i sodu, stabilizację błon komórkowych, neuro- i immunomodulację [14].

Tauryna w układzie pokarmowym tworzy kwasy taurocholowe oraz bierze udział w trawieniu tłuszczu i absorpcji witamin rozpuszczalnych w tłuszczach. W wątrobie chroni komórki przed ksenobiotykami, jak tetrachlorek węgla i hydrazyna. W mięśniach szkieletowych i mięśni sercowym uczestniczy w regulacji poziomu wapnia, osmoregulacji, ochronie komórek przed stresem oksydacyjnym, pobieraniu i zużywaniu glukozy. W ośrodkowym układzie nerwowym pełni rolę neuroprzekaźnika, jest agonistą receptorów GABA, poprawia funkcje poznawcze i pomaga w nauce poprzez zwiększenie metabolizmu komórek glejowych i pośrednio wszystkich neuronów [15,14,16].

Tauryna wykazuje także aktywność przeciwzapalną, redukując poziom H_2O_2 i HClO, tworząc chloraminę tauryny, która wykazuje większe właściwości immunomodulacyjne niż sama tauryna. Chloramina tauryny hamuje wytwarzanie czynników prozapalnych IL-1 β i TNF α , zmniejsza wytwarzanie tlenu azotu przez obniżenie poziomu transkrypcji genu syntazy tlenu azotu (iNOS) oraz translacji mRNA/iNOS, zapobiega kumulacji prostaglandyny E2 (PGE2), hamuje wytwarzanie anionodrodników ponadtlenu ($O_2^{\cdot-}$). Aktywność immunomodulacyjna chloraminy tauryny wynika także z jej zdolności do obniżania aktywności czynników transkrypcyjnych NF- κ B i AP-1, regulujących ekspresję genów cytokin prozapalnych [15,16].

Tauryna jest syntetyzowana z cysteiny, która częściowo pochodzi z przemiany metioniny. W pierwszym

Unlike biotin, thiamine content is relatively easy to determine. Transketolase activity, assayed in red blood cell hemolysates, is an approved indicator of thiamine level. Normal erythrocyte transketolase activity can be obtained after consumption of 0.5 mg, and sometimes 0.6-0.8 mg doses/1000 kcal [7]. Under normal conditions, physical activity does not significantly affect the demand for thiamine, however this demand may increase in athletes. According to Woolf and Manore [12], the supplements of thiamine, riboflavin and pyridoxine should be used by the athletes being on restrictive diets. The preparations of "vitamin drink" or "sport drink" type usually contain hydrochloride or thiamine mononitrate in the amounts of 0.16-1.5 mg in 100 ml of beverage. In some countries, thiamine thiol forms are produced [8]. Recently, a lipophil thiamine derivative – benfotiamine, increasing transketolase activity even 3-4 times has been produced [13].

Taurine

Taurine (2-aminoethyl-sulfonic acid) is the end product of cysteine sulphur amino acid degradation. Unlike amino acids, it does not have a carboxyl group yet it has a sulfo group. Taurine may be built in proteins, but no taurine-specific aminoacyl-tRNA has been found in cells. It constitutes 3% of free amino acid pool in the plasma. In the remaining tissues its content is higher and amounts to 53% (muscles), 50% (kidney), 25% (liver), 19% (brain) of free amino acids. Metabolic functions of taurine include: fat digestion, detoxication, osmoregulation, regulation of calcium and sodium ions, cell membrane stabilisation, neuro- and immunomodulation [14].

In the digestive system, taurine forms taurochol acids and is involved in fat digestion and fat soluble vitamin absorption. In the liver, it protects cells against xenobiotics, such as carbon tetrachloride and hydrazine. In skeletal muscles and the myocardium, it is involved in calcium level regulation, osmoregulation, cell protection against oxidative stress, uptake and use of glucose. In the Central Nervous System, it acts as a neurotransmitter, is a GABA receptor agonist, improves cognitive function and facilitates acquisition of knowledge through increased glial cell metabolism and, indirectly, all neurons [15,14,16].

Taurine also has an anti-inflammatory effect as it reduces H_2O_2 and HClO levels forming taurine chloramine, which has better immunomodulation properties than taurine itself. Taurine chloramine inhibits pro-inflammatory IL-1 β and TNF α factor production through nitrogen oxide synthase (iNOS) gene transcription and mRNA/iNOS translation, prevents prostaglandin E2 (PGE2) accumulation and inhibits production of superoxide anion radicals ($O_2^{\cdot-}$). Taurine chloramine immunomodulation also results in taurine reduction potential for NF- κ B and AP-1 transcription factors, regulating expression of pro-inflammatory cytokine genes [15,16].

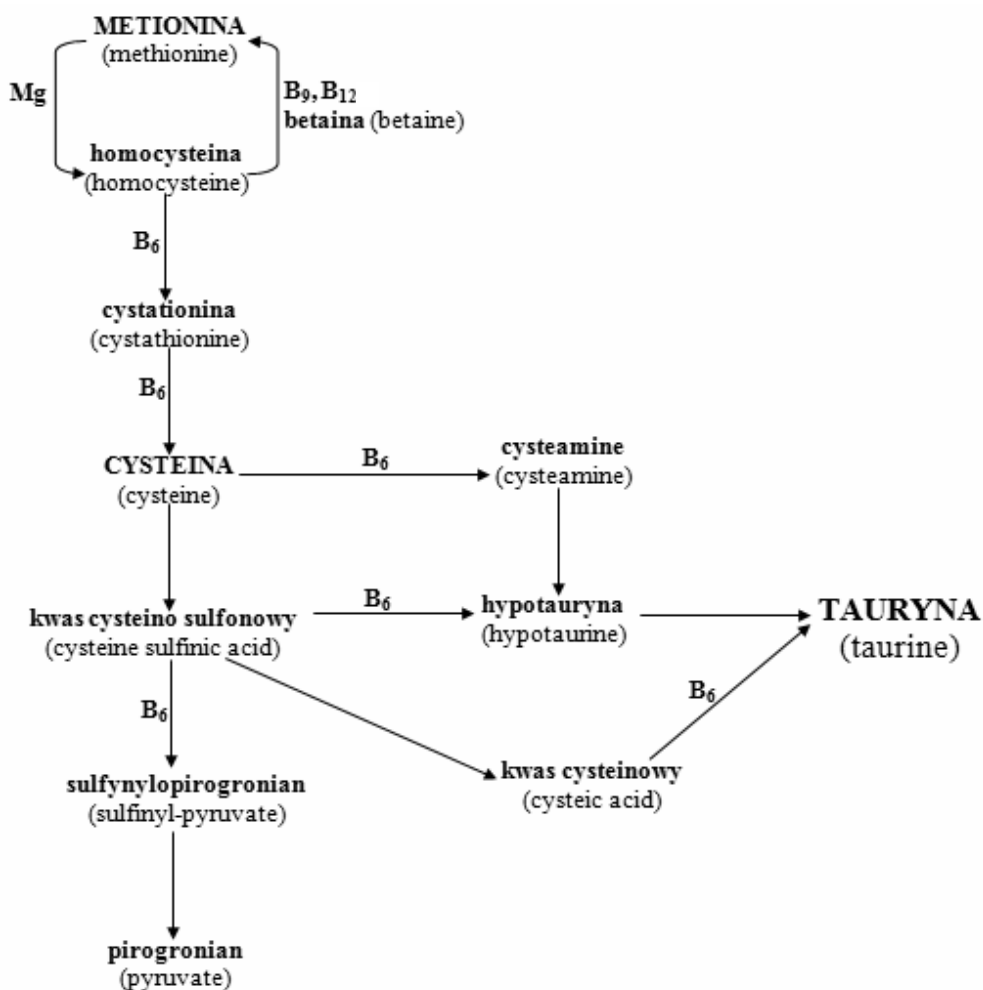
Taurine is synthesised from cysteine, which partly originates from methionine transformation. During the first stage, L-cysteine is transformed into L-cysteiniosulfonic acid through cysteine dioxygenase. Next, decarboxylation occurs with α carbon, catalysed by

etapie L-cysteina jest przekształcana w kwas L-cysteinosulfonowy przez dioksygenazę cysteinową. Następnie zachodzi dekarboksylacja przy węglu α , katalizowana przez dekarboksylazę kwasu L-cysteinosulfonowego. Powstała hipotauryna jest utleniana z udziałem dehydrogenazy hipotaurynowej do tauryny. W syntezie tauryny uczestniczą witaminy z grupy B, tj. kobalamina (B_{12}), kwas foliowy (B_9) i fosforan pirydoksalu (B_6), będące koenzymami dekarboksylaz katalizujących kilka etapów procesu (Ryc. 2). Głównym organem odpowiedzialnym za syntezę tauryny jest wątroba, natomiast nerki i mózg charakteryzują się stosunkowo dużą zdolnością do przemiany kwasu L-cysteinosulfonowego w hipotaurynę, w porównaniu z szybkością procesu oksygenacji cysteiny. Regulacja syntazy tauryny zachodzi na zasadzie sprzężenia zwrotnego. Na tempo syntazy tauryny ma także wpływ profil hormonów płciowych [15,16]. Całkowita zawartość tauryny w organizmie wynosi około 70 mg [17].

Endogenne wytwarzanie tauryny nie zaspokaja w pełni potrzeb organizmu człowieka i dlatego konieczne jest dostarczenie tauryny z pokarmem. Szczególnie bogatym źródłem tauryny są produkty zwierzęce, a zwłaszcza ryby i owoce morza. Wchłanianie tauryny z przewodu pokarmowego odbywa się głównie w jelicie cienkim, w którym jest także wchłaniana tau-

L-cystein-sulfonic acid decarboxylase. The obtained hypotaurine is oxidised through dehydrogenase to taurine. B vitamins, namely cyanocobalamin (B_{12}), folic acid (B_9) and pyridoxal phosphate (B_6) are involved in taurine synthesis as decarboxylase coenzymes, catalysing several stages of the process (Fig. 2). Liver is the main organ responsible for taurine synthesis while the kidneys and the brain are characterised by a relatively high capacity for L-cystein-sulfonic acid transformation into hypotaurine, as compared to the rate of cysteine oxygenation process. Taurine synthesis is regulated through feedback. the rate of taurine synthesis is also influenced by sex hormone profile [15,16]. The total amount of taurine in the human body is about 70 mg [17].

Endogenous taurine production does not fully satisfy human body demand for taurine, therefore it is necessary to supply taurine with food. Taurine is mainly found in animal products, particularly fish and seafood. Taurine absorption from the digestive tract occurs mainly in the small intestine where taurine is also absorbed from decomposition of this amino acid conjugates with bile acids. In humans, taurine is also absorbed through active transport with TauT transporter involved and, to a lesser extent, through simple or facilitated diffusion.



Ryc. 2. Schemat syntezy tauryny z metioniny i cysteiny [15]

Fig. 2. The scheme of taurine synthesis from methionine and cysteine [15]

ryna pochodząca z rozpadu koniugatów tego aminokwasu z kwasami żółciowymi. U człowieka tauryna jest wchłaniana głównie na zasadzie transportu aktywnego z udziałem transportera TauT, w mniejszym stopniu na zasadzie dyfuzji prostej czy ułatwionej. Transporter TauT należy do rodziny transporterów zależnych od Na⁺ i Cl⁻ i oprócz tauryny przenosi także alaninę i hipotaurynę [16]. W badaniach na hodowlach komórek mięśniowych wykazano, że transport tauryny jest zależny od poziomu kortyzolu i aktywności insulinopodobnego czynnika wzrostu (IGF-1) [18].

Suplementacja tauryny

Wielu stanom i procesom patologicznym towarzyszy spadek stężenia tauryny w tkankach. W licznych badaniach, w tym także klinicznych, wykazano, że suplementacja tauryny w ilości od 2 do 6 g dziennie (do 4 tygodni) odwraca albo przynajmniej zmniejsza zmiany związane z przebiegiem choroby. Tauryna jest wykorzystywana, z różnym powodzeniem, w leczeniu schorzeń układu krążenia, uszkodzenia siatkówki, hipercholesterolemii, cukrzycy, epilepsji, choroby Alzheimera, uszkodzeniu wątroby i in. [15,16].

Istnieje niewiele danych na temat zmian poziomu tauryny pod wpływem wysiłku fizycznego. Do tej pory wykazano, że jednorazowe krótkotrwałe wysiłki o dużej intensywności (sprint, ćwiczenia siłowe) oraz wysiłki długotrwałe (wytrzymałościowe) wywołują spadek tauryny w mięśniach [14,19-23]. Natomiast pod wpływem powtarzanego wysiłku (treningu wytrzymałościowego) zawartość tauryny w mięśniach zwiększa się i jest istotnie wyższa w porównaniu do osób nietreningujących [24].

Stosowanie preparatów tauryny u osób aktywnych fizycznie ma na celu utrzymanie jej wysokiego poziomu we krwi i mięśniach, osłabienie uszkodzeń komórkowych wywołanych przez reaktywne formy tlenu (efekt antyoksydacyjny), obniżenie poziomu mleczanu i ograniczenia zmęczenia mięśni, poprawę transportu jonów wapnia i wzrostu siły skurczu włókien mięśniowych, poprawę energetyki komórki i tym samym efektywności treningu sportowego [23,25-28]. Obecność kofeiny wzmacnia antyoksydacyjny i energetyczny efekt działania tauryny [27,29,30]. Zaobserwowano także, że podanie tauryny przed wywołaniem reakcji zapalnej zapobiega powstawaniu zmian prozapalnych lub zmniejsza ich natężenie [31]. Nie potwierdzono wpływu egzogennej tauryny na poprawę pamięci i zdolności uczenia się [32].

Obecnie tauryna jest popularnym środkiem wspomagającym, stanowi składnik napojów energetyzujących i odżywek dla sportowców. Stężenie tauryny w 100 ml napoju typu „vitamin drink” wynosi około 25 mg, natomiast w napojach typu „energy drink” jest znacznie wyższe i wynosi około 1 g. Po doustnym podaniu 50 mg tauryny/kg mies. osiąga maksymalne stężenie w osoczu w ciągu ok. 90 minut, natomiast wykonywanie wysiłku opóźnia jej wchłanianie o 20 minut [33]. Suplementacja tauryny zwiększa jej stężenie w osoczu, ale nie w mięśniach, co poddaje w wątpliwość oddziaływanie egzogennej tauryny na metabolizm mięśni szkieletowych [34]. Dotychczas jedynie Zhang i wsp. [35] podjęli próbę oceny skuteczności ergogenicznej suplementacji tauryny (7 dni, 6 g/d). Autorzy zaobserwowali, że zmiany stężenia tauryny we krwi dodatnio korelują z czasem wysiłku i wartością VO_{2max} w teście o wzrastającej intensywności do odmowy.

TauT transporter belongs to the Na⁺ and Cl⁻ – dependent transporter, and apart from taurine, it also transports alanine and hypotaurine [16]. The study on muscle cell culture has found that taurine transport depends on cortisol and the activity of insulin-like growth factor (IGF-1) [18].

Taurine supplementation

Multiple conditions and processes are accompanied by taurine decrease in the tissues. Numerous studies, including clinical ones, have shown that taurine supplementation in the 2 to 6 g daily doses (up to 4 weeks) reverses or at least compromises pathological changes. Taurine is used, with different effects, in the treatment of circulatory system disorders, retinal damage, hypercholesterolemia, diabetes, epilepsy, Alzheimer's disease, liver damage, etc. [15,16].

There is a wealth of data on the changes in taurine level due to physical exertion. So far, it has been proved that a single exercise of short duration and high intensity (sprint, fitness) and exercise of long duration (endurance exercise) result in the decrease of taurine levels in muscles [14,19-23]. Conversely, repeated exercise (endurance training) results in the increase of taurine content in muscles, which is then significantly higher than in non-training individuals [24].

The aim of using preparations containing taurine by physically active individuals is to maintain high levels of taurine in the blood and muscles, mitigate cellular damage due to reactive oxygen species (ROS) (antioxidant effect), lactate level decrease and fatigue mitigation, improvement in ion transport and muscle fibre contraction, improvement in cell energetics and thus sports training effectiveness [23,25-28]. The content of caffeine increases the antioxidant and energetic effect of taurine [27,29,30]. Taurine was also found to prevent or compromise pro-inflammatory changes prior to inflammatory reaction [31]. The effect of exogenous taurine on memory and cognitive function improvement has not been confirmed so far [32].

Presently, taurine is a popular dietary supplement and is found in energy beverages and nutrients for athletes. Taurine content in 100 ml of so called “vitamin drinks” is about 25 mg, and in “energy drinks” – about is much higher and amounts approximately 1 g. After oral administration of 50 mg taurine/kg monthly, it reaches its maximal plasma level within 90 minutes while physical exertion delays taurine absorption by 20 minutes [33]. Taurine supplementation increases its content in the plasma, but not in the muscles, which raises doubts about the effect of exogenous taurine on skeletal muscle metabolism [34]. Up to now, only Zhang et al. [35] made an attempt to assess the efficacy of ergogenous taurine supplementation (7 days, 6 g/daily). The authors have noted that changes in blood taurine content positively correlate with exercise time and VO_{2max} value during the refusal test.

Piśmiennictwo / References

1. Wartanowicz M. Witaminy. [W:] Gawęcki J, Hryniewiecki L (red.) Żywnienie Człowieka. Warszawa 2005; 277-279.
2. Gertig H, Przysławski J. Tiamina. [W:] Gertig H, Przysławski J (red.) Bromatologia. Warszawa 2006; 131-135.
3. Sikorska-Wiśniewska G, Bako W, Liberek A, Góra-Dębka M, Korzon M. Zespół krótkiego jelita, jako przyczyna niedoboru biotyny. Przegląd Pediatryczny 2004; 34: 62-64.
4. Gertig H, Przysławski J. Biotyna. [W:] Gertig H, Przysławski J (red.) Bromatologia. Warszawa 2006; 161-164.
5. Zemleni J, Chew YC, Bao B, Pestinger V, Wijeratne SS. Repression of transposable elements by histone biotinylation. J Nutr 2009; 139: 2389-2392.
6. Nogala-Kałucka M, Gawęcki J. Rola witamin i skutki ich niedoboru lub nadmiaru w organizmie człowieka. [W:] Gawęcki J (red.) Witaminy. Poznań 2002; 45-54.
7. Bender DA, Mayes PA. Mikroelementy odżywcze: witaminy i składniki mineralne. [W:] Murray RK, Granner DK, Rodwell VW (eds.) Biochemia Harpera (red. naukowa tłumaczenia Kokot F, Koj A, Kozik A, Wilczok T). Warszawa 2008; 588-608.
8. Ziemiański Ś. Zapotrzebowanie człowieka na witaminy. Tiamina. [W:] Ziemiański Ś (red.) Normy żywienia człowieka. Fizjologiczne podstawy. Warszawa 2001; 271-274.
9. Anyanwu AC, Ehiri JE, Kanu I. Biochemical evaluation of antioxidant function after a controlled optimum physical exercise among adolescents. Int J Adolesc Health 2005; 17: 57-66.
10. Ziemiański Ś. Zapotrzebowanie człowieka na witaminy. Biotyna. [W:] Ziemiański Ś (red.) Normy żywienia człowieka. Fizjologiczne podstawy. Warszawa 2001; 211-217.
11. Van der Beek EJ, van Dokkum W, Wedel M, Schrijver J, van den Berg H. Thiamin, riboflavin and vitamin B6: impact of restricted intake on physical performance in man. J Am Coll Nutr 1994; 13: 629-640.
12. Woolf K, Manore MM. B-vitamins and exercise: does exercise alter requirements? Int J Sport Nutr Exerc Metab 2006; 16: 453-484.
13. Volvert ML, Seyen S, Piette M et al. Benfotiamine, a synthetic S-acyl thiamine derivative, has different mechanisms of action and a different pharmacological profile than lipid-soluble thiamine disulfide derivatives. BMC Pharmacology 2008; 8: 1-11.
14. Di Pasquale MG. Amino Acids and proteins for the athletes. The anabolic edge. Wyd. Taylor & Francis 2008; 273-275.
15. Birdsall TC. Therapeutic applications of taurine. Altern Med Rev 1998; 3: 128-136.
16. Szymański K, Winiarska K. Tauryna i jej potencjalne wykorzystanie w terapii. Postępy Hig Med Dośw 2008; 62: 75-86.
17. Gupta RC. Taurine: Insurance of sound health. Indian J Pharmacol 2004; 36: 333.
18. Park SH, Lee H, Park T. Cortisol and IGF-1 synergistically up-regulate taurine transport by the rat skeletal muscle cell line L6. Biofactors 2004; 21: 403-406.
19. Cuisinier C, Ward RJ, Francaux M, Sturbois X, de Witte P. Changes in plasma and urinary taurine and amino acids in runners immediately and 24 h after a marathon. Amino Acids 2001; 20: 13-23.
20. Matsuzaki Y, Miyazaki T, Miyakawa S, Bouscarel B, Ikegami T, Tanaka N. Decreased taurine concentration in skeletal muscles after exercise for various durations. Med Sci Sports Exerc 2002; 34: 793-797.
21. Tallon MJ, Harris RC, Boobis LH, Fallowfield JL, Wise JA. The carnosine content of vastus lateralis is elevated in resistance-trained bodybuilders. J Strength Cond Res 2005; 19: 725-729.
22. Van der Hoven R, Bauer A, Hackl S, Zickl M, Spona J, Zentek J. Changes in intramuscular amino acid levels in submaximally exercised horses – a pilot study. J Anim Physiol Anim Nutr (Berl) 2009; 3 [Epub ahead of print].
23. Yatabe Y, Miyakawa S, Ohmori H, Mishima H, Adachi T. Effect of taurine administration on exercise. Adv Exp Med Biol 2009; 643: 245-252.
24. Graham TE, Turcotte LP, Kiens B, Richter EA. Training and muscle ammonia and amino acid metabolism in humans during prolonged exercise. J Appl Physiol 1995; 78: 725-735.
25. Cuisinier C, de Welle JM, Verbeeck RK et al. Role of taurine in osmoregulation during endurance exercise. Eur J Appl Physiol 2002; 87: 489-495.
26. Dawson R, Biasetti M, Messina S, Dominy J. The cytoprotective role of taurine in exercise-induced muscle injury. Amino Acids 2002; 22: 309-324.
27. Imagawa TF, Hirano I, Utsuki K et al. Caffeine and taurine enhance endurance performance. Int J Sports Med. 2009; 30: 485-488.
28. Goodman CA, Horvath D, Stathis C et al. Taurine supplementation increases skeletal muscle force production and protects muscle function during and after high-frequency in vitro stimulation. J Appl Physiol 2009; 107: 144-154.
29. Ratamess NA, Hoffman JR, Ross R, Shanklin M, Faigenbaum AD, Kang J. Effects of an amino acid/creatine energy supplement on the acute hormonal response to resistance exercise. Int J Sport Nutr Exerc Metab 2007; 17: 608-623.
30. Ivy JL, Kammer L, Ding Z et al. Improved cycling time-trial performance after ingestion of a caffeine energy drink. Int J Sport Nutr Exerc Metab 2009; 19: 61-78.
31. Schuller-Levis GB, Gordon RE, Wang C, Park E. Taurine reduces lung inflammation and fibrosis caused by bleomycin. Adv Exp Med Biol 2003; 526: 395-402.
32. Ito K, Arko M, Kawaguchi T, Kuwahara M, Tsubone H. The effect of subacute supplementation of taurine on spatial learning and memory. Exp Anim 2009; 58: 175-180.
33. Mero A, Leikas A, Rinkinen N et al. Effect of strength training session on plasma amino acid concentration following oral ingestion of arginine or taurine in men. Amino Acids 2008; 35: 99-106.
34. Galloway SDR, Talanian JL, Shoveller AK, Heigenhauser GJF, Spriet LL. Seven days of oral taurine supplementation does not increase muscle taurine content or alter substrate metabolism during prolonged exercise in humans. J Appl Physiol 2008; 105: 643-651.
35. Zhang M, Izumi I, Kagamimori S et al. Role of taurine supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress in healthy young men. Amino Acids 2004; 26: 203-207.