

L-karnityna w żywieniu koni sportowych

BOGDAN JANICKI, MATEUSZ BUZAŁA

Katedra Biologii Małych Przeżuwaczy i Biochemii Środowiska Wydziału Hodowli i Biologii Zwierząt UTP,
ul. Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz

Janicki B., Buzała M.

L-carnitine in the feeding of sports horses

Summary

In horses, L-carnitine is synthesized mainly in the liver from methionine, lysine, vitamins C, B₃, B₆, and B₉, and from Fe²⁺. L-carnitine plays an important role in the transport of long chain fatty acids into the mitochondria, where they are converted into energy needed for muscle contractions. It also contributes to the accumulation of glycogen in the muscles and prevents an excessive production of lactic acid, ensuring a faster muscle recovery after exercise. The organism of a horse is unable to meet the demand for L-carnitine during strenuous effort. Demand for L-carnitine increases in young horses up to 3 years of age and stallions in the breeding season. The addition of L-carnitine is therefore recommended especially for sports horses participating in endurance racing and horse racing.

Keywords: L-carnitine, horses, muscles, milk, sperm

L-karnityna (*canus*), należąca do substancji wita-minopodobnych, została po raz pierwszy wyizolowana z tkanki mięśniowej w 1905 r. Początkowo była nazywana witaminą B₇. Skrót ten pochodzi od pierwszej litery nazwy łacińskiej mączniaków (*Tenebrio molitor*), u których odkryto, że L-karnityna pełni rolę czynnika wzrostu (5, 25).

Karnityna (kwas L-3-hydrokso-4-N,N,N-trimetyloaminomaślan) zaliczana jest do amin czwartorzędowych, o masie cząsteczkowej 162 Da (19, 30) (ryc. 1). Posiada ona 2 formy izomeryczne: L i D. Obie formy są aktywne biologicznie, ale forma D może mieć szkodliwe działanie na organizm (5, 25).

L-karnityna w ostatnich latach, ze względu na pełnione funkcje w organizmie, budzi szczególne zainteresowanie wśród hodowców koni sportowych. Odpowiada ona za transport długołańcuchowych kwasów tłuszczowych do macierzy mitochondrialnej, gdzie zachodzi proces oksydacyjny kwasów tłuszczowych odpowiedzialny za uzyskiwanie energii metabolicznej

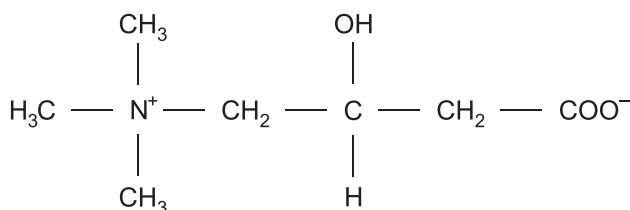
dla komórek. Zapobiega również kumulowaniu się w mitochondriach grup acetylowych i acylowych, które mogą hamować proces β-oksydacji. Ponadto bierze udział w proksymalnym utlenianiu kwasów tłuszczowych, metabolizmie rozgałęzionych aminokwasów (waliny, leucyny, izoleucyny), dostarczając α-ketokwasy w procesie glukoneogenezy. Odpowiedzialna jest również za usuwanie mleczanu z krwi i tkanek oraz wykazuje działanie antyoksydacyjne (5, 20, 25, 33).

Metabolizm karnityny

Dzienne zapotrzebowanie organizmu na L-karnitynę jest pokrywane w 75% z diety, natomiast pozostała część pochodzi z syntezy endogennej. Pasze pochodzenia zwierzęcego są bogate w L-karnitynę, natomiast roślinne zawierają zazwyczaj bardzo niewielką ilość tego związku (tab. 1) (33).

Tab. 1. Zawartość karnityny w paszach dla koni sportowych (33)

Pasza	mg/kg
Pasze włókniste	< 10
Okopowe	< 10
Otręby pszenne	10-15
Serwatka w proszku	300-1000
Mleko odtłuszczone	12-150
Mleko krowie	6-50
Mleko klaczy	10-50



Ryc. 1. L-karnityna (kwas L-3-hydrokso-4-N,N,N-trimetyloaminomaślan) (25)

Związkami wyjściowymi w syntezie karnityny są: lizyna i metionina, które muszą zostać dostarczone organizmowi w diecie. Lizyna dostarcza szkielet węglowy, natomiast grupy metylowe pochodzą z S-adenozylometioniny (SAM). Reakcja metylacji lizyny do N⁶-trimetylolizyny (TML) jest katalizowana przez swoiste metylotransferazy. Powstała w ten sposób N⁶-trimetylolizyna, limitująca endogenną syntezę, zostaje przekształcona w butylobetainę. Natomiast butylobetaina zmienia się w L-karnitynę za pomocą enzymów zawartych głównie w wątrobie, a także nerkach i mózgu (30, 33). Poza aminokwasami do syntezy endogennej potrzebne są również witaminy C, B₆, niacyna, kwas foliowy oraz jony Fe²⁺ (13, 33).

Do narządów, w których nie jest syntetyzowana, L-karnityna dostarczana jest z krwią. Do wnętrza komórek trafia za pośrednictwem transportu aktywnego. System transportujący L-karnitynę wykazuje do niej wysokie powinowactwo i jest zależny od jonów sodu. Transport ten odbywa się przy udziale organicznych, kationowych transporterów, które są silnie hamowane między innymi przez butylobetainę. Z kolei transport z miejsca syntezy (nerki, wątroba) do naczyń krwionośnych odbywa się prawdopodobnie na drodze dyfuzji biernej lub za pośrednictwem innych przenośników. Mechanizm tego działania nie jest jednak w pełni jasny i wymaga dalszych badań (30).

L-karnityna nie jest metabolizowana w komórkach ciała. Podobnie jak jej estry, jest łatwo filtrowana w kłębuszkach nerkowych, a następnie resorbowana w około 98% w kanalikach nerkowych zwierząt. Pozostałe 2% L-karnityny wydalane są z organizmu z moczem, w postaci wolnej i zestryfikowanej (25).

Biodostępność karnityny

Karnityna pobrana w diecie wchłaniana jest w 54-87% w przewodzie pokarmowym ssaków. Z jelit do krwi L-karnityna transportowana jest głównie w postaci wolnej lub zestryfikowanej (związanej z grupami acylowymi). Pozostała część jest wydalana w postaci metabolitów w moczu i kale po bakteryjnej degradacji w jelicie grubym (5, 25).

Dodatek od 5 do 50 g L-karnityny/dzień dla koni podwyższał stężenie karnityny w osoczu krwi prawie dwukrotnie w stosunku do jej podstawowej koncentracji (33). Wykazano również zmiany w dobowym stężeniu L-karnityny w osoczu. Stwierdzono, że maksymalne stężenie podczas późnego popołudnia jest wyższe nawet o 30% niż w godzinach porannych (33). Z kolei, po doustnym podaniu 10 g L-karnityny stężenie wolnej i całkowitej L-karnityny w osoczu krwi u koni osiągnęło najwyższy poziom po upływie od 2 do 4 godzin po podaniu (11).

W dotychczasowych badaniach brak jest jednoznacznej odpowiedzi, czy dodatek L-karnityny wpływa na jej zawartość w mięśniach koni sportowych.

W doświadczeniu, w którym dwuletnim kłusakom podawano 10 g L-karnityny/dzień przez okres 5 ty-

godni w połączeniu z treningiem, wykazano, że całkowita zawartość L-karnityny w mięśniach pośladowym w spoczynku została podwyższona o 46% (14). Ponadto długotrwałe podawanie L-karnityny (np. przez miesiąc) spowodowało zwiększenie stężenia karnityny w mięśniach szkieletowych (33). W innych badaniach, długotrwała suplementacja na poziomie 10-60 g przez 58 dni nie miała wpływu na zawartość L-karnityny w mięśniach (12). Podczas podawania 10 g L-karnityny/dobę przez 26 dni, również nie zaobserwowano zmian jej ilości w mięśniach (15).

Stwierdzono ponadto, że po wysiłku fizycznym we krwi wzrasta stężenie estrów L-karnityny w stosunku do wolnej L-karnityny (13). U koni sportowych otrzymujących 5 g L-karnityny/dobę z owsem stężenie wolnej karnityny i jej estrów w osoczu było znacznie wyższe niż w grupie kontrolnej. W grupie badanej całkowita ilość karnityny nieco wzrosła podczas badania (18).

U koni czystej krwi arabskiej seria zaawansowanych treningów spowodowała znaczny wzrost we krwi kwasu mlekowego oraz zawartości zestryfikowanej L-karnityny, glicerolu i triacylogliceroli. Spowodowało to także zmniejszenie w osoczu stężenia wolnej L-karnityny zaraz po zakończonym treningu. W porównaniu z treningiem wytrzymałościowym wyścigi o wysokiej intensywności zwiększały w osoczu krwi stężenie zestryfikowanej L-karnityny, a zmniejszały stężenie wolnej L-karnityny zgodnie z intensywnością treningu (21). Kilkutygodniowa suplementacja w ilości od 5 do 20 g L-karnityny/dzień zmniejszała wywołany wysiłkiem fizycznym wzrost mleczanów we krwi oraz wzrost wolnych kwasów tłuszczowych w osoczu. W innych badaniach suplementacja 2 porcji po 10 g L-karnityny/dzień zmniejszała stężenie triacylogliceroli i wolnych kwasów tłuszczowych w osoczu, natomiast wzrastało stężenie glukozy (14). Zatem L-karnityna dostarczana podczas wysiłku powoduje wzrost utleniania kwasów tłuszczowych, a tym samym zwiększa wytwarzanie energii dla mięśni szkieletowych. Dzięki temu dochodzi do mniejszego zużycia glikogenu w mięśniach oraz obniżenia produkcji kwasu mlekowego. W rezultacie mogą wzrastać możliwości wysiłkowe organizmu (1, 20).

Suplementacja diety L-karnityną powoduje także wzrost stężenia leptyny w osoczu, co jest związane ze zwiększoną tolerancją glukozy u zdrowych kucy. Leptyna jest hormonem peptydowym, wytwarzanym głównie przez adypocyty tkanki tłuszczowej. W mięśniach szkieletowych zwiększa utlenianie lipidów, ponadto obniża produkcję insuliny i nasila proces glukoneogenezy (23). Dodatek 4 g L-karnityny przez 7 dni spowodował u kuców po posiłku zmniejszenie stężenia glukozy i insuliny w osoczu, co wskazuje na zwiększoną tolerancję glukozy. Po posiłku stężenie leptyny w osoczu było zwiększone, gdy dieta została uzupełniona L-karnityną, jednak wzrost stężenia leptyny nie był poprzedzony wzrostem stężenia insuliny, co sugeruje

ruje, że czynniki inne niż stężenie insuliny w osoczu mogą wpłynąć na stężenie leptyny w osoczu. Chociaż poziom wolnych kwasów tłuszczowych i triacylogliceroli nie różnił się istotnie pod wpływem dodatku L-karnityny w warunkach doświadczalnych, dalsze badania powinny wyjaśnić, czy synteza triacylogliceroli może być odpowiedzialna za wzrost leptyny (31).

Po suplementacji wydalanie L-karnityny znacząco się zwiększa (13, 33). W badaniach porównano suplementację 10 g L-karnityny podawaną koniom *per os* i poprzez iniekcję dożylną. Po iniekcji w przeciągu 24 godzin została wydalona z moczem w 80-90% podanej dawki. Po doustnej suplementacji w tym samym czasie tylko nieznacznie nasiliło się jej wydalanie z moczem (17). Podczas podawania koniom 10-60 g L-karnityny zostało wydalone z moczem od 3,5 do 7,5% suplementu (12). Wyniki te wskazują na jej słabe wchłanianie jelitowe u koni (12, 17).

Powyższe dane wskazują, że krew jest czułym wskaźnikiem stanu L-karnityny w organizmie. Zatem wpływ suplementacji L-karnityny może być kontrolowany poprzez zmiany jej stężenia w osoczu koni sportowych (13).

L-karnityna w mięśniach koni

L-karnityna jest zgromadzona przede wszystkim w mięśniach szkieletowych (około 80%). Pozostała jej ilość znajduje się w miejscach jej syntezy, tj. w wątrobie, nerkach oraz w innych narządach, płynach pozakomórkowych i nasieniu (13).

Tkanka mięśniowa konia, w porównaniu do innych gatunków, zawiera wysokie stężenie L-karnityny (15). W mięśniu pośladowym średnim konia stwierdzono 4230 mg ogólnej L-karnityny/kg suchej masy, z czego wolna L-karnityna stanowiła 3010 mg/kg suchej masy (22). W innych badaniach podczas biopsji mięśnia średniego pośladka w spoczynku u koni całkowita zawartość karnityny wynosiła 29,5 mmol/kg suchej masy mięśni. Około 88% stanowiła wolna karnityna, 7% acetylokarnityna, pozostałe 5% acylkarnityna (9).

Określono również proporcje wolnej L-karnityny do estrów L-karnityny w różnych mięśniach koni. Najniższe stężenie estrów L-karnityny stwierdzono w mięśniach szkieletowych, a następnie w mięśniu sercowym i przepony. Dane potwierdzają, że zawartość estrów L-karnityny jest wyższa w mięśniach, które wykonują pracę, nawet jeśli ciało jest w spoczynku, takich jak serce i przepona, niż w mięśniach szkieletowych. Ponadto stężenie całkowite L-karnityny w przeponie było cztery razy wyższe niż w mięśniu sercowym. To stwierdzenie może wskazywać na specjalną zdolność przepony do produkcji energii w stanie hipoksji (13).

Podczas wysiłku nie zmienia się całkowita ilość L-karnityny w mięśniach, ale dochodzi do zmiany proporcji pomiędzy postacią wolną i zestryfikowaną. Wraz ze wzrostem intensywności wysiłku większa część wolnej karnityny (80%) przekształca się w estry kar-

nityny, głównie w acetylokarnitynę (9, 13). W mięśniach koni uzyskanych po intensywnych ćwiczeniach na bieżni wykazano spadek stężenia wolnej L-karnityny z 98% do około 10% oraz odpowiedni wzrost stężenia acetylokarnityny (13). W innych badaniach acetylokarnityna w intensywnie pracującym mięśniu pośladowym średnim stanowiła około 70% całej puli karnityny (około 30 mmol/kg suchej masy). Tworzenie acetylokarnityny powodowało spadek zawartości wolnej karnityny, która przy najwyższej intensywności pracy mięśnia osiągnęła 8 mmol/kg suchej masy (16). W ciągu około 30 minut po zakończeniu wysiłku acetylokarnityna zostaje z powrotem przekształcona do wolnej postaci (13, 33).

Ponadto wykazano, że stężenie L-karnityny w mięśniach koni zwiększa się wraz z wiekiem. U koni pełnej krwi angielskiej 1-, 2- i ponad 3-letnich stężenie całkowitej karnityny w mięśniu pośladowym średnim wynosiło, odpowiednio: 10,5-18,8; 14,1-34,7; 21,3-35,5 mmol/g suchej masy (10).

Włókna mięśniowe czerwone zawierają wyższe stężenie mioglobiny i L-karnityny niż włókna mięśniowe białe. W mięśniu półścięgnistym 3-miesięcznego żrebaka wykazano 2,79 μ mol L-karnityny/g tkanki oraz 1,89 mg mioglobiny/g tkanki. U 3-letniego konia poziom ten kształtował się, odpowiednio: 4,95 μ mol/g oraz 5,84 mg/g. Wyniki wskazują, że stężenie karnityny w mięśniach jest ściśle powiązane z metabolizmem oksydacyjnym kwasów tłuszczowych (27).

Mięśnie zawierające włókna czerwone charakteryzują się dużą aktywnością oksydacyjną. W związku z tym wysokie stężenie L-karnityny w mięśniach czerwonych może przyczynić się do wyższego wytwarzania energii z lipidów (27). Ponadto wraz z wiekiem konia rosną zdolności oksydacyjne mięśni (6). U kłusaków mięśnie pośladowe mogą składać się z 70-80% włókien szybko kurczliwych typu IIA i IIB oraz 20-30% włókien wolno kurczliwych typu I (8). Biopsje mięśni pośladowych średnich koni otrzymujących 10 g/dzień L-karnityny przez 10 tygodni, wykazały większą adaptację mięśni do treningu. Mięśnie zawierały zwiększony udział procentowy włókien typu IIA ($p < 0,05$) oraz atrofię włókien typu I ($p < 0,01$). Po 10 tygodniach większość z nich powróciła do sytuacji przed badaniem. Badania wskazują, że karnityna może wpływać na reakcję mięśni podczas treningu i to powinno być korzystne dla poprawy wyników sportowych. Niemniej jednak potrzebne są dalsze badania, aby wskazać, czy zawarta w mięśniach karnityna jest czynnikiem ograniczającym utlenianie kwasów tłuszczowych (26).

L-karnityna w mleku kłaczy

Fizjologiczny poziom L-karnityny uważany za optymalny jest niezwykle ważny dla przeżycia źrebąt. Zwierzętom ssącym niezbędna ilość L-karnityny dostarczana jest z mlekiem (33). Gruczoł mlekowy, jak większość innych narządów organizmu, gromadzi

L-karnitynę z krwi. Średnia zawartość L-karnityny w mleku wynosi około 3,64 mg/100 g mleka (32). Dodatek 10 g/dobę L-karnityny do paszy dla klaczy przed wyżrebieniem powoduje wzrost stężenia karnityny w mleku i osoczu w ciągu pierwszych trzech miesięcy od dnia laktacji. Ponadto nie stwierdzono skutków ubocznych po suplementacji karnityny (4). We krwi u źrebiąt i młodych koni poziom L-karnityny stanowi tylko 30-40% wartości występujących we krwi osobników dorosłych (33). Co więcej, karnityna zawarta w brunatnej tkance tłuszczowej noworodków bierze udział w procesie termogenezy w celu zapewnienia odpowiedniej temperatury ciała oraz w utrzymaniu innych ważnych procesów metabolicznych. Szczególnie wysoki poziom karnityny w tkance tłuszczowej brunatnej znajduje się u zwierząt przystosowanych do trudnych warunków środowiskowych (2). Ponadto L-karnityna za pośrednictwem acetylokarnityny dostarcza grupy acetylowe do zachodzącej w neuronach biosyntezy neuroprzekaźnika – acetylocholin. Dzięki tej funkcji możliwy jest prawidłowy rozwój mózgu u źrebiąt (2, 24).

Po suplementacji wykazano również zmniejszone zużycie paszy oraz wyższe przyrosty masy ciała u koni, są to jednak wstępne ustalenia, które wymagają przeprowadzenia dalszych badań (33).

L-karnityna u ogierów

Karnityna bierze udział w procesie dojrzewania plemników w najądrzu, gdzie jej stężenie jest najwyższe w organizmie. Stężenie wolnej L-karnityny w ogonie najądrza jest 2000-krotnie większe niż stężenie w osoczu krwi. Karnityna jest pobierana z krwi, a następnie przenoszona do światła najądrza poprzez aktywne pompy nabłonka, które są stymulowane przez androgeny (3, 19, 28). W najądrzach karnityna jest estryfikowana w komórkach plemnikotwórczych do acetylokarnityny, która zapewnia dostęp grup acetylowych dla ruchliwości plemników (3, 19). Stężenie wolnej L-karnityny u ogiera w odcinku dystalnym najądrza (ogonie) wynosi 11 mmol/litr (19).

Wstępne wyniki uzyskane na ogierach hodowlanych wykazały dodatnią korelację między parametrami jakości nasienia, między innymi odpowiednią liczbą plemników, a ich ruchliwością (29). Co więcej, L-karnityna może przyczyniać się do poprawy utrzymania żywotności plemników podczas przechowywania w warunkach *in vitro* (29). Bezpośredni wpływ karnityny na cechy ilościowe plemników może być wiarygodny, ale wymaga dalszych badań w celu osiągnięcia ostatecznych wniosków (28).

Badano również wpływ dodatku antyoksydantów i L-karnityny na jakość nasienia ogierów kuców szetlandzkich. Do diety podstawowej (siano, woda, dodatki mineralne) dodano wiele antyoksydantów, takich jak: tokoferol (300 mg/dobę), kwas askorbinowy (300 mg/dobę), L-karnityna (4000 mg/dzień), kwas foliowy (12 mg/dobę). Stwierdzono niewielkie, ale istotne

zmniejszenie plemników morfologicznie nieprawidłowych. Wyniki badań wykazały, że dieta z dodatkiem przeciwutleniaczy nie wywiera wyraźnego wpływu na jakość nasienia ogierów (7).

Podsumowanie

L-karnityna dodawana do pasz dla koni sportowych może przyczynić się do zwiększonego utleniania kwasów tłuszczowych, zapewniając energię konieczną do prawidłowego funkcjonowania mięśni. Podczas długotrwałego wysiłku fizycznego L-karnityna zmniejsza wykorzystanie glikogenu w mięśniach, zapobiegając nadmiernej produkcji kwasu mlekowego, a tym samym powoduje szybką regenerację mięśni po wysiłku. Ponadto L-karnityna zawarta w mleku klaczy zapewnia jej optymalny poziom w organizmie źrebiąt, przyczyniając się do utrzymania optymalnej temperatury ciała w pierwszych dniach życia. Biorąc udział w syntezie neuroprzekaźnika acetylocholin umożliwia także prawidłowy rozwój mózgu źrebiąt. Ponadto dodatek L-karnityny w sezonie rozplodowym dla ogierów może przyczynić się do poprawy jakości nasienia. Pomimo jej niskiej toksyczności nie została ustalona jeszcze zalecana dawka dla koni sportowych. Dostępne na rynku preparaty zawierają od 100-200 g L-karnityny/kg.

Piśmiennictwo

1. Arduini A., Bonomini M., Savica V., Amato A., Zammit V.: Carnitine in metabolic disease: Potential for pharmacological intervention. *Pharmacol. Ther.* 2008, 120, 149-156.
2. Arenas J., Rubio J. C., Martin M. A., Campos Y.: Biological roles of L-carnitine in perinatal metabolism. *Early Hum. Dev.* 1998, 53, 43-50.
3. Arruda R. P., Silva D. F., Alonso M. A., Andrade A. F. C., Nascimento J., Gallego A. M., Martins S. M. M. K., Granato T. M.: Nutraceuticals in reproduction of bulls and stallions. *R. Bras. Zootec.* 2010, 39, 393-400.
4. Benamou A. E., Harris R. C.: Effect of carnitine supplement to the dam on plasma carnitine concentration in the sucking foal. *Equine Vet. J.* 1993, 25, 49-52.
5. Bremer J.: Carnitine – metabolism and functions. *Physiol. Rev.* 1983, 63, 1420-1480.
6. D'Angelis F. H. F., da Silva M. A. G., Albernaz R. M., Ferraz G. C., Boleli I. C., Lacerda-Neto J. C., de Oliveira J. A., Oliveira J. V., Queiroz-Neto A.: Preliminary Study on Age- and Sex-Dependent Alterations in the Composition of Skeletal Muscle Fibers of Brasileiro de Hipismo Horses. *J. Equine Vet. Sci.* 2008, 28, 22-27.
7. Deichsel K., Palm F., Koblichke P., Budik S., Aurich C.: Effect of a dietary antioxidant supplementation on semen quality in pony stallions. *Theriogenology* 2008, 69, 940-945.
8. Essen-Gustavsson B., Roneus N., Poso A. R.: Metabolic Response in Skeletal Muscle Fibres of Standardbred Trotters After Racing. *Comp. Biochem. Physiol.* 1997, 117, 431-436.
9. Foster C. V., Harris R. C.: Formation of acetylcarnitine in muscle of horse during high intensity exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1987, 56, 639-642.
10. Foster C. V., Harris R. C.: Total carnitine content of the middle gluteal muscle of thoroughbred horses: normal values, variability and effect of acute exercise. *Equine. Vet. J.* 1992, 24, 52-57.
11. Foster C. V., Harris R. C., Pouret E. J.: Effect of oral L-carnitine on its concentration in the plasma of yearling Thoroughbred horses. *Vet. Rec.* 1989, 125, 125-128.
12. Foster C. V., Harris R. C., Snow D. H.: The effect of oral L-carnitine supplementation on the muscle and plasma concentrations in the Thoroughbred horse. *Comp. Biochem. Physiol. A Comp. Physiol.* 1988, 91, 827-835.
13. Harmeyer J.: The physiological role of L-carnitine. *Lohmann Information* 2002, 27, 1-8.
14. Harmeyer J.: Use of L-carnitine additions in domestic animal feeds. *Lohmann Information* 2003, 28, 1-9.

15. *Harris P. A., Harris R. C.*: Ergogenic potential of nutritional strategies and substances in the horse. *Livest. Prod. Sci.* 2005, 92, 147-165.
16. *Harris R. C., Foster C. V.*: Changes in muscle free carnitine and acetylcarnitine with increasing work intensity in the Thoroughbred horse. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1990, 60, 81-85.
17. *Harris R. C., Foster C. V., Snow D. H.*: Plasma carnitine concentration and uptake into muscle following oral and intravenous administration. *Equine Vet. J.* 1995, 27, 382-387.
18. *Iben C., Moschitz E., Fehleisen B.*: Effect of L-carnitine supplementation on heart rate and some blood parameters in the eventing horse. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* 1999, 86, 330-338.
19. *Jeulin C., Lewin L. M.*: Role of free L-carnitine and acetyl-L-carnitine in post-gonadal maturation of mammalian spermatozoa. *Hum. Reprod. Update* 1996, 2, 87-102.
20. *Karlic H., Lohninger A.*: Supplementation of L-Carnitine in Athletes: Does It Make Sense? *Nutrition* 2004, 20, 709-715.
21. *Kędzierski W.*: The effect of training on plasma L-carnitine metabolism in purebred Arabian horses. *J. Anim. Feed Sci.* 2010, 19, 398-407.
22. *Knüttel-Gustavsen S., Harmeyer J.*: The determination of L-carnitine in several food samples. *Food Chemistry* 2007, 105, 793-804.
23. *McClelland G. B., Kraft C. S., Michaud D., Russell J. C., Mueller C. R., Moyes C. D.*: Leptin and the control of respiratory gene expression in muscle. *Biochim. Biophys. Acta* 2004, 1688, 86-93.
24. *Nalecz K. A., Miecz D., Berezowski V., Cecchelli R.*: Carnitine: transport and physiological functions in the brain. *Mol. Aspects. Med.* 2004, 25, 551-567.
25. *Rebouche C. J., Seim H.*: Carnitine metabolism and its regulation in microorganisms and mammals. *Annu. Rev. Nutr.* 1998, 18, 39-61.
26. *Rivero J. L., Sporleder H. P., Quiroz-Rothe E., Vervuert I., Coenen M., Harmeyer J.*: Oral L-carnitine combined with training promotes changes in skeletal muscle. *Equine Vet. J. Suppl.* 2002, 34, 269-274.
27. *Shimada K., Sakuma Y., Wakamatsu J., Fukushima M., Sekikawa M., Kuchida K., Mikami M.*: Species and muscle differences in L-carnitine levels in skeletal muscles based on a new simple assay. *Meat Sci.* 2004, 68, 357-362.
28. *Stradaioli G., Sylla L., Zelli R., Chiodi P., Monaci M.*: Effect of L-carnitine administration on the seminal characteristics of oligoasthenospermic stallions. *Theriogenology* 2004, 62, 761-777.
29. *Stradaioli G., Sylla L., Zelli R., Verini Supplizi A., Chiodi P., Arduini A., Monaci M.*: Seminal carnitine and acetylcarnitine content and carnitine acetyltransferase activity in young Maremmano stallions. *Anim. Reprod. Sci.* 2000, 64, 233-245.
30. *Vaz F. M., Wanders R. J.*: Carnitine biosynthesis in mammals. *Biochem. J.* 2002, 361, 417-429.
31. *Weyenberg S. van, Buyse J., Janssens G. P. J.*: Increased plasma leptin through L-carnitine supplementation is associated with an enhanced glucose tolerance in healthy ponies. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2009, 93, 203-208.
32. *Woollard D. C., Indyk H. E., Woollard G. A.*: Carnitine in milk: a survey of content, distribution and temporal variation. *Food Chemistry* 1999, 66, 121-127.
33. *Zeiner A., Harmeyer J.*: Metabolic functions of L-carnitine and its effects as feed additive in horses. A review. *Arch. Anim. Nutr.* 1999, 52, 115-138.

Adres autora: prof. dr hab. Bogdan Janicki, ul. Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz; e-mail: janicki@utp.edu.pl