

612.392.5:612.015.3:612

VLIV NÍZKOENERGETICKÉ VÝŽIVY NA NĚKTERÉ FYZIOLOGICKÉ A BIOCHEMICKÉ FUNKCE ORGANISMU

Plk. MUDr. V. LONSKÝ, CSc., ing. L. OPLTOVÁ, mjr. MUDr. Z. ZADÁK, CSc.
Vojenský lékařský výzkumný a doškolovací ústav J. E. Purkyně, Hradec Králové

V posledních letech se v souvislosti s poklesem energetické náročnosti práce, růstem civilizačních nemocí i problémem nedostatku potravy při havarijních situacích stalo aktuálním

studium vlivu nízkoenergetických diet na fyziologické a biochemické funkce organismu [2, 3, 5, 6, 8, 9, 10].

Metodika

Cílem naší práce bylo ověřit působení modelové nízkenergetické stravní dávky na vybrané fyziologické a biochemické funkce organismu. Pokus byl proveden na 10 mužích ve věku 19–21 let. Trval celkem 12 dnů a byl rozdělen do tří etap:

I. etapou bylo třídenní kontrolní období, kdy pokusné osoby byly stravovány přírodní stravní dávkou, připravenou ve stravovacím zařízení;

II. etapou bylo šestidenní hlavní období pozorování, kdy stravní dávka byla sestavena z konzervovaných produktů o malé pestrosti (energetická hodnota 1500 kcal – 6280 kJ);

III. etapou bylo opět třídenní kontrolně realimentační období, ve kterém pokusné osoby dostávaly stejnou stravu jako v první etapě.

Energetický příjem v kontrolní a realimentační etapě se pohyboval kolem 3500 kcal (14 654 kJ) /muže/den, v období podání subkalorické dávky poklesl na 1500 kcal (6280 kJ) /muže/den. Energetická hodnota a složení stravy v jednotlivých etapách pokusu jsou uvedeny v tabulce.

etapa	Energetický příjem kcal (kJ)	Průměrný příjem hlavních živin g			Průměrný příjem minerálů mval			
		bílk.	tuky	sacharidy	Na	K	Ca	P
I.	3 540 (14 821)	108	134	470	239	70	41	75
II.	1 480 (6 196)	59	77	138	100	28	20	48
III.	3 426 (14 344)	108	125	467	189	77	33	96

Energetický výdej během celého pokusu se pohyboval kolem 2600 kcal (10 886 kJ) /muže/den, takže kalorický deficit ve druhé etapě představoval 1100 kcal (4605 kJ) /muže/den. Tekutiny ve všech etapách pokusu byly připravovány ve formě čaje s přísadou umělého sladidla. Byly konzumovány ad libitum a jejich množství bylo přesně sledováno.

Pokusné osoby po dobu pokusu byly umístěny ve zdravotnickém zařízení. Denní režim byl předem plánován. Od 8.00 do 12.00 h byl denně proveden pochod po vymezené trase. Spánek byl osmihodinový.

Statistické hodnocení naměřených výsledků bylo provedeno Studentovým párovým t-testem na 5% hladině významnosti. Při statistickém hodnocení významnosti rozdílů byly průměrné hodnoty naměřené v jednotlivých dnech srovnávány s hodnotami příslušnými ke třetímu dnu I. etapy pokusu. Na grafech je statis-

ticky významný rozdíl vyznačen vyplněním poloviny kroužku.

Výsledky

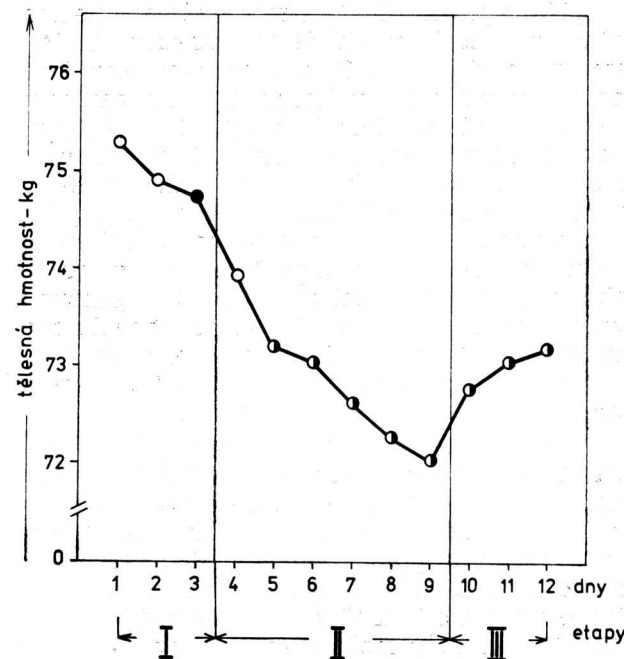
Významná odezva organismu na podání nízkenergetické stravní dávky se projevila především v tělesné hmotnosti pokusných osob (obr. 1). Pokles hmotnosti je statisticky významný od prvního dne II. etapy pokusu a představuje 2750 g/muže/6 dní, což je 3,7 % průměrné hmotnosti souboru. Nejprudší pokles byl zjištěn v prvních dnech podání nízkenergetické stravní dávky (v prvních třech dnech 64 % celkového úbytku). V realimentační etapě pokusu byl zjištěn statisticky významný vzestup tělesné hmotnosti pokusných osob, ale nebylo dosaženo původních hodnot.

Od druhého dne II. etapy pokusu došlo k významnému poklesu obsahu tělesného tuku. Pokles nebyl, obdobně jako u tělesné hmotnosti, v době realimentace vyrovnán (obr. 2).

Z výsledků početního testu vyplývá, že od II. etapy pokusu došlo k významnému zkracování doby výpočtů. Prakticky nezměněn zůstal počet chyb a správně vypočtených příkladů s výjimkou ve třetím dnu II. etapy, kdy byly oba ukazatele významně zlepšeny.

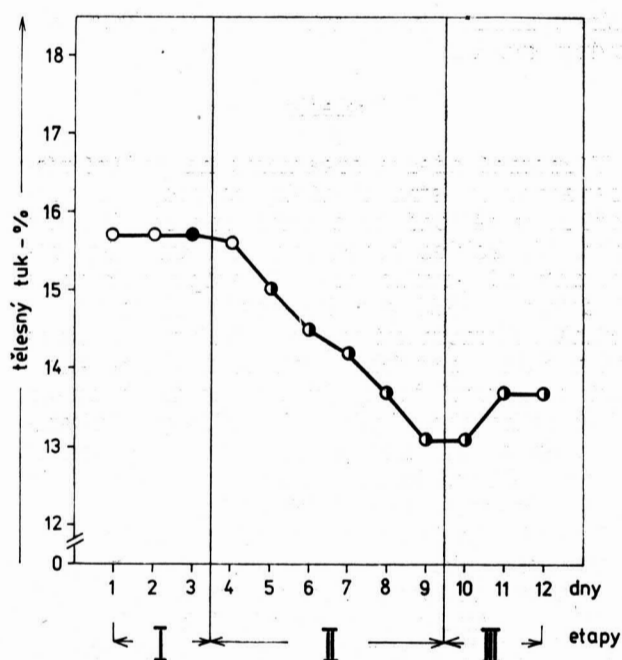
Výsledky zásahového testu byly nízkenergetickou stravní dávkou ovlivněny jen nevýznamně, právě tak jako výsledky nyktometrických vyšetření oka.

Svalová síla obou horních končetin se snížila v prvním dnu II. etapy, ale již od třetího dne této etapy jsme pozorovali statisticky významné zvýšení svalové síly.



Obr. 1

Změny tělesné hmotnosti souboru v průběhu pokusu



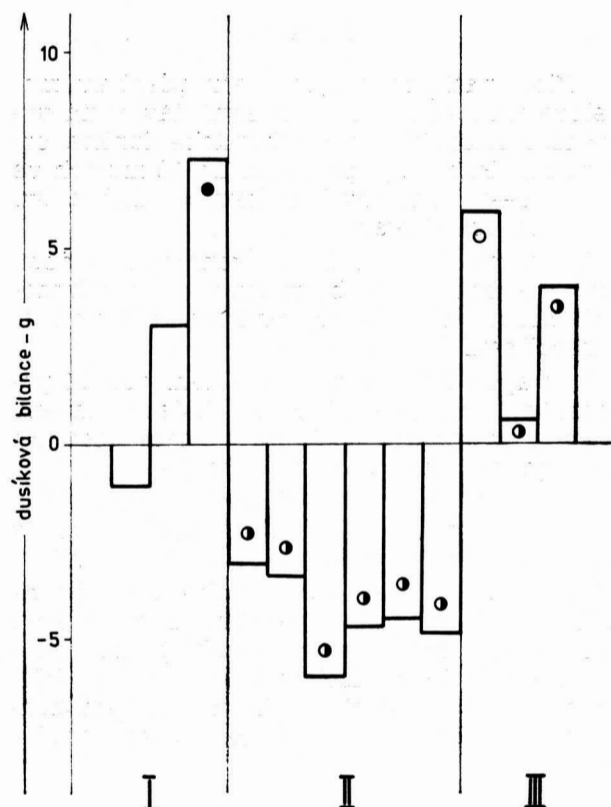
Obr. 2

Obsah tělesného tuku — změny v průběhu pokusu

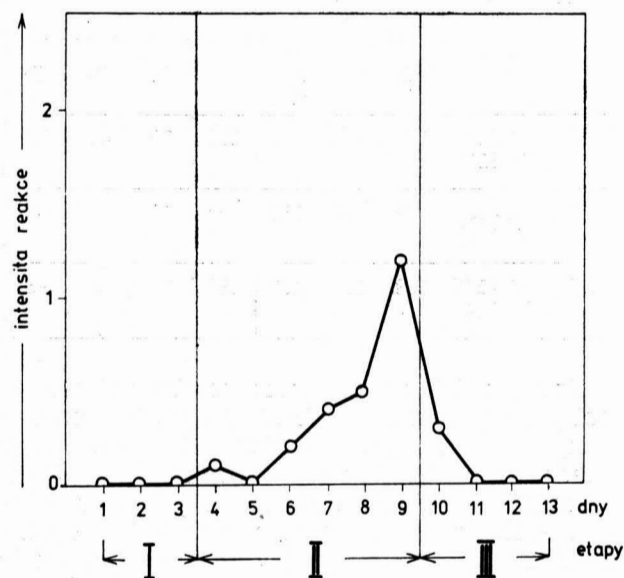
Vylučování dusíku v moči a stolici nedoznalo významných změn během celého pokusu, stejně jako vylučování kreatininu močí. Dusíková bilance byla pozitivní v I. a III. etapě experimentu. Po podání stravy se sníženou energetickou hodnotou přešla dusíková bilance do záporných hodnot s maximem třetí den II. etapy experimentu (obr. 3). Celková průměrná ztráta dusíku během podání nízkenergetické stravní dávky činila 26,6 g/muže/6 dní.

pH a specifická váha moče zůstaly nezměněny ve všech třech fázích pokusu. Podání stravní dávky se sníženou energetickou hodnotou ovlivnilo vodní hospodářství organismu: na rozdíl od literárních údajů (1, 4, 7) jsme pozorovali významné snížení vylučování vody během II. etapy pokusu a naopak významné zvýšení v etapě realimentační. Tyto nálezy byly pravděpodobně do značné míry ovlivněny příjmem tekutin ve stravě, který vykazuje obdobné tendence. Bilance vody v organismu, vypočtená z příjmu a výdeje, dosahovala maximálních záporných hodnot v prvních dvou dnech II. etapy experimentu, v realimentaci se vrátila do pásma kladných hodnot.

Podání nízkenergetické stravní dávky mělo vliv i na vylučování minerálů močí. Od druhého dne II. etapy pokusu nastal významný pokles vylučování sodíku a vápníku, od pátého dne významný pokles vylučování draslíku, zatímco vylučování fosforu zůstalo nezměněno. V realimentační etapě se hladiny sodíku, draslíku i vápníku v moči významně zvýšily a dosáhly původních hodnot. K tomu je nutno dodat, že příjem minerálů nízkenergetickou stravní dávkou byl přibližně poloviční oproti příjmu v kontrolním a realimentačním období.



Obr. 3. Dusíková bilance



Obr. 4. Ketonurie v jednotlivých dnech pokusu

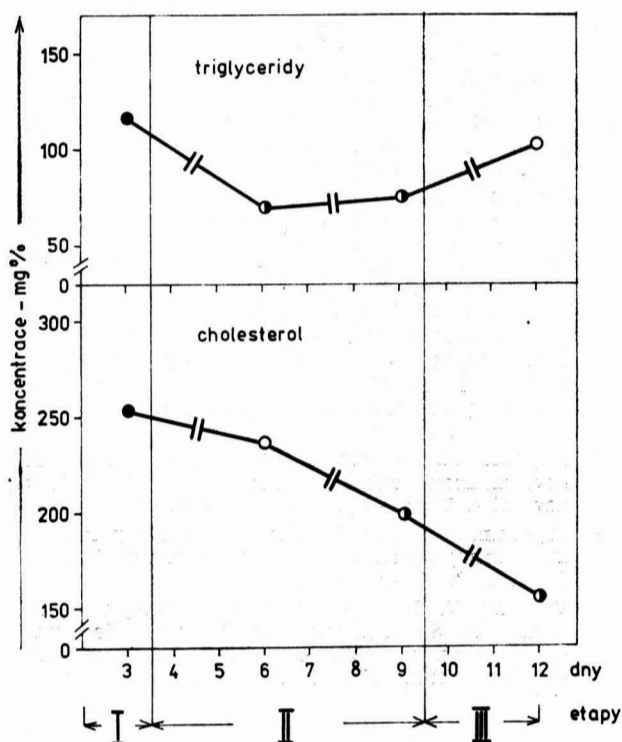
Kvalitativní test na obsah ketolátů v moči ukázal u většiny pokusných osob pozitivní reakci od třetího dne II. etapy experimentu (obr. 4).

Rozbory krve přinesly tyto výsledky: — významné snížení obsahu draslíku v séru pokusných osob ve II. etapě experimentu a návrat k původním hodnotám v realimentační etapě;

- statisticky významný pokles hladiny cholesterolu, který přetrvával i v období realimentace (obr. 5);
- významné snížení obsahu triglyceridů ve II. etapě pokusu, v realimentaci návrat k původním hodnotám (obr. 5);
- obdobné tendence byly pozorovány u beta a p-beta frakce lipoproteinů (obr. 6);
- dále jsme pozorovali vzestup obsahu alfa frakce lipoproteinů, který byl zvlášť výrazný v pozdní fázi II. etapy experimentu; v průběhu realimentace došlo k návratu k původním hodnotám (obr. 6);
- v prvních dnech II. etapy experimentu se snížil obsah ρ frakce lipoproteinů, realimentace přinesla vyrovnaní k původním hodnotám (obr. 6).

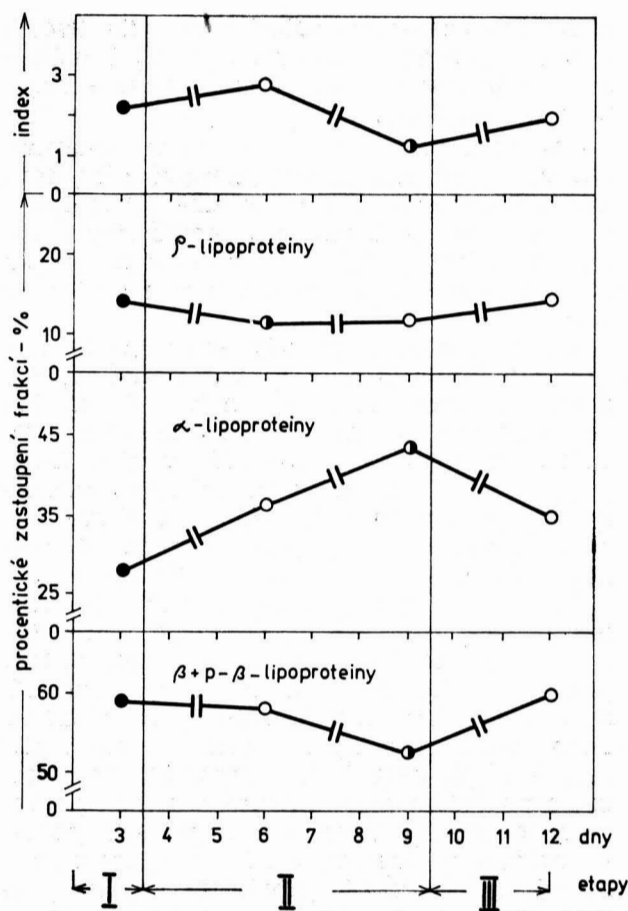
Diskuse

Z výsledků fyziologických a biochemických měření a z teoretických metabolických bilancí, které byly vypočteny na jejich základě, vyplývá, že významný pokles tělesné hmotnosti v prvních dvou dnech II. pokusné etapy byl způsoben především ztrátami vody z organismu. V prvních třech dnech II. etapy z celkové hmotnosti připadá na vodu 60 %, na netukovou tkáň 22 % a na tukovou 18 %. Ve zbývajících třech dnech podání nízkenergetické stravní dávky činí podíl vody na ztrátách hmotnosti 26 %, podíl netukové tkáně se zvýšil na 44 % a tukové na 30 %. Celkem za 6 dní energetické deprivace se průměrná hmotnost souboru snížila o 2750 g, z toho



Obr. 5

Obsah triglyceridů a cholesterolu v krevním séru



Obr. 6

Procentické zastoupení frakcí lipoproteinů
a lipoproteinový index $\left(\frac{\text{beta-LP} + \text{p-beta LP}}{\text{alfa-LP}} \right)$

48 % připadá na vodu, 30 % na netukovou a 22 % na tukovou tkáň. V době realimentace se tělesná hmotnost zvýšila o 1150 g, z toho na vodu připadá 55 %, na netukovou tkáň 25 % a na tukovou 20 %.

Energetický deficit 1100 kcal (4605 kJ) v době konzumace nízkenergetické dávky byl kryt z 10% odbouráním bílkovinné a z 90% odbouráním tukové tkáně.

Změny svalové síly obou horních končetin svědčí o vlivu nízkenergetické diety pouze v prvním dnu II. etapy. K zásadnímu snížení krátkodobé svalové síly nedochází pravděpodobně proto, že nejsou dotčeny fyziologické rezervy organismu, který se postupně adaptuje na nový režim. Podobně výsledky stanovení obsahu dusíku a kreatininu v moči svědčí o tom, že energetická deprivace nezpůsobila významné odčerpání labilních zásob proteinů.

Výsledky stanovení základních minerálních látek ukázaly prudký pokles jejich obsahu v moči ve II. etapě pokusu, který byl v souladu se snížením jejich přívodu dietou. V období realimentace se hladiny vrátily k původním hodnotám, pouze vylučování fosforu se v průběhu pokusu významně neměnilo.

Kvalitativní stanovení acetonurie prokázalo velkou interindividuální závislost. U některých

jedinců se acetonurie vůbec neobjevila. Svědčí to o různých adaptačně metabolických schopnostech pokusných osob kompenzovat energetický deficit diety.

Sledování parametrů tukového metabolismu ukazuje v průběhu období energetického deficitu a realimentace výrazné změny. Cholesterol, který se neuplatňuje v metabolismu přímo jako zdroj energie, jeví v průběhu pokusu výrazný pokles se značnou setrvačností i v realimentaci.

Naproti tomu triglyceridy jsou substrát, který se uplatňuje jako přímý zdroj energie, jeví proto podstatně větší dynamiku. V průběhu celé fáze energetického deficitu dochází k významnému poklesu triglyceridů v séru, který je výrazem jejich sníženého přísunu i snížené syntézy ze sacharidů. V průběhu realimentace dochází rychle k normalizaci obsahu triglyceridů v séru. Souhlasný trend s těmito změnami mají hodnoty beta a p-beta frakce lipoproteinů. Vzestup alfa frakce lipoproteinů v období energetického deficitu a jejich opětů pokles v období realimentace je výrazem známých transportních mechanismů, při nichž se odbouráváním endogenně vznikajících triglyceridů v pre-beta frakci urychluje transformace nízkodenzitních lipoproteinů na lipoproteiny o vysoké denzitě. Nejrychlejší pokles v průběhu nízkenergetické fáze jsme zaznamenali u frakce ρ (lipalbuminu), který je transportní formou volných mastných kyselin. Frakce ρ ukázala statisticky významný pokles již v nejčasnější fázi energetického deficitu. Tento jev je projevem urychleného odsunu volných mastných kyselin do cílových tkání, kde jsou metabolizovány. Zvýšené využívání volných mastných kyselin k získání energie je mimo jiné i jedním z důvodů ketoacidózy, pozorované u některých našich sledovaných osob.

Závěr

Výše uvedené výsledky potvrzují, že použitý dietní systém s energetickým deficitem 1100 kcal (4605 kJ) /muže/den možno absolvovat za daných pokusných podmínek bez podstatného snížení krátkodobé duševní nebo svalové výkonnosti a podstatného narušení základních biochemických pochodů v organismu po dobu 6 dnů. K definitivní normalizaci poměrů v organismu po energeticky deficitním režimu doporučujeme zařadit nejméně třídní období kontrolované realimentace.

Souhrn

Skupině 10 vojáků základní služby byla po dobu 6 dnů podávána nízkenergetická strav-

ní dávka obsahující 58 g bílkovin, 77 g tuků a 138 g sacharidů při energetickém výdeji 2600 kcal (10886 kJ)/24 h. Ztráty tělesné hmotnosti byly nejvyšší v prvních dvou dnech energetické deprivace a byly vyvolány především ztrátami vody z organismu. Pozorovali jsme také statisticky významný pokles obsahu tělesného tuku, hladiny minerálních látek v moči, hladiny cholesterolu a triglyceridů v séru a změny v procentickém zastoupení jednotlivých frakcí lipoproteinů. Dusíková bilance byla záporná s maximem ve třetím dnu podání nízkenergetické dávky.

Literatura

1. Consolazio, F. C. - Matoush, L. O. - Johnson, H. L. - Krzywicki, H. J. - Isaac, G. J. - Witt, N. F.: Metabolic aspects of calorie restriction: hypohydration effects on body weight and blood parameters. *Amer. J. clin. Nutr.*, 21, 1968, č. 8, s. 793-802.
2. Consolazio, C. F. - Matoush, L. O. - Johnson, H. L. - Krzywicki, H. J. - Isaac, G. J. - Witt, N. F.: Metabolic aspects of calorie restriction: nitrogen and mineral balances and vitamin excretion. *Amer. J. clin. Nutr.*, 21, 1968, č. 8, s. 803-812.
3. Ivanov, P. P. - Laričeva, K. A. - Petuchov, B. N. - Katkovskij, B. S. - Kakurin, L. I. - Vysockij, V. G. - Georgievskij, V. S. - Purachin, J. N. - Čerepachin, M. A. - Ušakov, A. S. - Mačinskij, G. V. - Michajlov, V. M. - Pometov, J. D. - Smirnova, G. I.: Vlivání je malokalorijného raciona pitanija na nekotoryje fiziologičeskie reakcije čelověka. *Vopr. Pitan.*, 1971, č. 2, s. 22-27.
4. Johnson, H. L. - Consolazio, C. F. - Krzywicki, H. J. - Isaac, G. J. - Witt, N. F.: Metabolic aspects of calorie restriction: nutrient balances with 500-kilocalorie intakes. *Amer. J. clin. Nutr.*, 24, 1971, č. 8, s. 913-923.
5. Kakurin, L. I. - Purachin, J. N. - Georgievskij, V. S. - Katkovskij, B. S. - Vysockij, V. G. - Čerepachin, M. A. - Ušakov, A. S. - Laričeva, K. A. - Petuchov, B. N. - Ivanov, P. P. - Mačinskij, G. V. - Michajlov, V. M. - Pometov, J. D. - Smirnova, G. I.: O režime dvigatělnoj aktivnosti čelověka pri racioně pitanija s ponižennoj kalorijnostju. *Vopr. Pitan.*, 1971, č. 3, s. 7-12.
6. Katkovskij, B. S. - Georgievskij, V. S. - Čerepachin, M. A. - Purachin, J. N. - Kakurin, L. I. - Vysockij, V. G. - Petuchov, B. N. - Michajlov, V. M. - Mačinskij, G. V. - Pometov, J. D. - Ivanov, P. P. - Laričeva, K. A. - Ušakov, A. S.: Vlivanije uskorenij, gipokineziji i malokalorijnogo pitanija na organizm čelověka. *Vopr. Pitan.*, 1971, č. 4, s. 55-60.
7. Krzywicki, H. J. - Consolazio, C. F. - Matoush, L. O. - Johnson, H. L.: Metabolic aspects of acute starvation. Body composition changes. *Amer. J. clin. Nutr.*, 21, 1968, č. 1, s. 87-97.
8. Logatkin, M. N.: Azotnyj (bělkovyj) balans pri kratkovremennom subkalorijnom pitanii i fizičeskoj nagruzke. *Vopr. Pitan.*, 1969, č. 3, s. 48-52.
9. Logatkin, M. N.: Malokalorijnnye raciony inostrannyh armij i principy ich formirovaniya. *Voj. med. ž.*, 1972, č. 3, s. 57-60.
10. Vysockij, V. G. - Ušakov, A. S. - Agurejev, A. N. - Pučko, R. S.: Kliniko-fiziologičeskie issledovaniya eksperimentaľnoy bělkovoj nedostatočnosti u čelověka. *Vopr. Pitan.*, 1972, č. 4, s. 3-5.