

612.766.1:612.018:616.24-073.173:616-072.7:613.73

HORMONÁLNÍ ZMĚNY PŘI SPIROERGOMETRICKÉM VYŠETŘENÍ A STEP-TESTU

MUDr. Miloslava HORSKÁ, CSc., mjr. MUDr. Peter BEDNARČÍK, pplk. doc. MUDr. Karel MARTINÍK, CSc., kpt. MUDr. Jiří CHALOUPKA

Vojenská lékařská akademie JEP, Hradec Králové
(náčelník: plk. prof. MUDr. Pavel Kuna, DrSc.)

Úvod

Nadměrná fyzická námaha výrazně ovlivňuje energetickou spotřebu organismu. Zvýšená spotřeba substrátů v kosterním svalstvu vyžaduje odpovídající uvolňování tkáňových zásob, jejich pohotový transport krevním oběhem do svalstva, přívod zvýšeného množství kyslíku a likvidaci všech odpadních produktů. Zintenzivněný metabolismus svalstva vyžaduje redistribuci krevního zásobení. Regulace vzrostlých nároků téměř všech funkčních systémů organismu při zátěži vyvolává v neuroendokrinním systému řadu regulačních procesů. Změny hladin hormonů jsou důsledkem požadavků periférie, přímých metabolických nároků a vlastních regulačních podchodů.

Studie zabývající se neuroendokrinní odezvou organismu na fyzickou zátěž sledují změny hormonálních hladin po různých déletrvajících zátěžích – na kole, běhátku, po delších bězích, maratónu nebo plavání a to jak za fyziologických podmínek u zdravých jedinců, tak i při patologických stavech (1, 2, 3, 5). Proti časově delším zátěžím má celková reakce organismu na krátkodobou intenzivní zátěž, jakou představují jednoduché funkční zkoušky, např. vyšetření step-testem, své specifické znaky.

Cílem této práce bylo zjistit změny krevních hladin dopaminu (D), adrenalinu (A), noradrenalinu (NA), trijódtyroninu (T_3), tyroxinu (T_4), tyreotropního hormonu (TSH) a kortizolu (KORT) před a po step-testu a submaximální spiroergometrii a ověřit, jakým způsobem koreluje neuroendokrinní odpověď organismu při obou typech zátěží.

Metodika

Soubor tvořilo 11 zdravých mužů, posluchačů vysoké školy, ve věku 20–23 let.

Spiroergometrické vyšetření bylo prováděno na bicyklovém ergometru při submaximálních zátěžích 1,5–2–2,5 W/kg hmotnosti. Mezi zátěžemi trvajících 6 minut byla 1 minuta odpočinku. Tepová frekvence byla sledována v každé minutě mezi 30. a 60. s, krevní tlak byl měřen ve 4. minutě. V 6. minutě proběhl odběr vzduchu pro měření jeho volumu a analýzu O_2 a CO_2 .

Step-test probíhal podle postupu Čs. společnosti tělovýchovného lékařství z roku 1963 (10) po dobu 5 minut, s frekvencí 30 výstupů za 1 min. Podle indexu zdatnosti při step-testu a maximální spotřeby kyslíku na kg hmotnosti (VO_2 max/kg) při spiroergometrickém vyšetření byla z tabulkových norem stanovena zdatnost skupiny.

Vegetativní tonus a labilita probandů byly orientačně hodnoceny ortoklinostatickým vyšetřením.

Odběry krve byly provedeny po půlhodinovém zklidnění, těsně před spiroergometrickým vyšetřením (A) a step-testem (C) a bezprostředně po jejich skončení (B, D). Ke stanovení hormonálních hladin v krevním séru a plazmě radioimunoanalytickými a radioenzymanalytickými metodami bylo užito komerčně vyráběných souprav. V krevním séru byly sledovány hladiny trijódtyroninu, tyroxinu, tyreotropního hormonu a kortizolu. V plazmě byly stanoveny hladiny dopaminu, adrenalinu a noradrenalinu.

Výsledky

Charakteristika zdatnosti skupiny

Maximální aerobní výkon při spiroergometrickém vyšetření byl vyjádřen maximální spotřebou kyslíku na kg hmotnosti (VO_2 max/kg). U sledovaných osob se tato hodnota pohybovala v rozmezí 33,3–61,0 ml O_2 . Na základě jejího průměru 46,3 ml O_2 lze zařadit skupinu do třídy dobré zdatnosti (10). Index zdatnosti při step-testu kolísal v rozmezí hodnot 84–109, s průměrným počtem 92 bodů. Tabulkové hodnocení indexu zdatnosti pro nesportující osoby charakterizuje tuto skupinu jako velmi zdatnou. Neurovegetativní ladění u jednotlivců bylo zjišťováno ortoklinostatickým vyšetřením, s hodnocením průměrného ortoklinostatického zrychlení, klinostatického zpomalení a indexu lability (10). Pouze u jednoho probanda byla nalezena zvýšená sympatikotonie a u jednoho zvýšená vagotonie. Výsledky ostatních osob odpovídaly normotonické reakci organismu.

Katecholaminy

Odezva adrenální sekrece katecholaminů na fyzickou zátěž se projevila především v reakci plazmatických hladin adrenalinu. K jejich signifikantnímu vzestupu

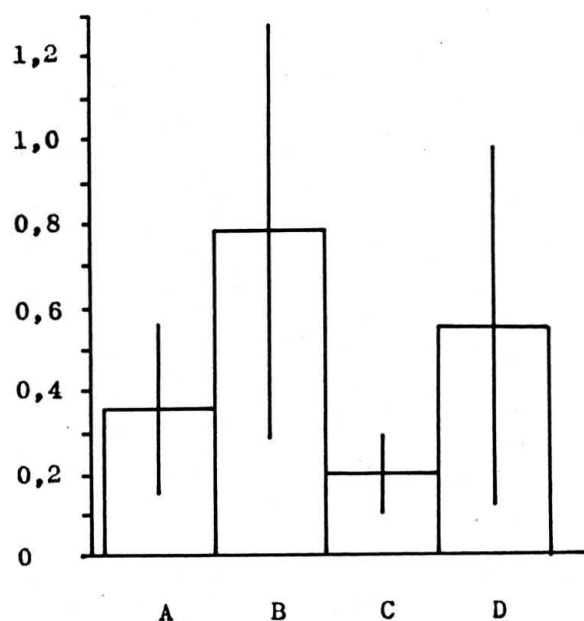
Hladiny hormonů v krvi před spiroergometrickým vyšetřením (A) a step-testem (C) a po vyšetření (B, D).

		A	B	C	D
Dopamin	pmol.ml ⁻¹ s	1.62 0.61	1.91 0.72	2.10 0.56	2.20 0.85
Adrenalin	pmol.ml ⁻¹ s	0.36 0.40	0.78 1.00	0.20 0.19	0.55 0.86
Noradrenalin	pmol.ml ⁻¹ s	5.73 4.40	7.50 4.26	7.54 4.51	7.28 4.07
Kortizol	nmol.l ⁻¹ s	513.75 178.90	533.33 187.10	378.12 17.92	463.12 149.14
T ₃	nmol.l ⁻¹ s	2.89 0.39	2.90 0.60	2.85 0.38	2.54 0.46
T ₄	nmol.l ⁻¹ s	120.37 22.24	135.83 29.42	104.50 16.49	114.87 11.01
TSH	mU.l ⁻¹ s	2.22 0.70	2.23 0.70	1.81 0.60	1.96 0.73

tupu došlo jak po spiroergometrii (o 113 %), tak i po vyšetření step-testem (o 180 %) (tab. 1, graf 1).

Fyziologická individualita jednotlivých probandů se odrazila v diferenci klidové koncentrace noradrenalinu v plazmě, v rozpětí hodnot po zátěžích (B:

pmol.ml⁻¹ ADRENALIN

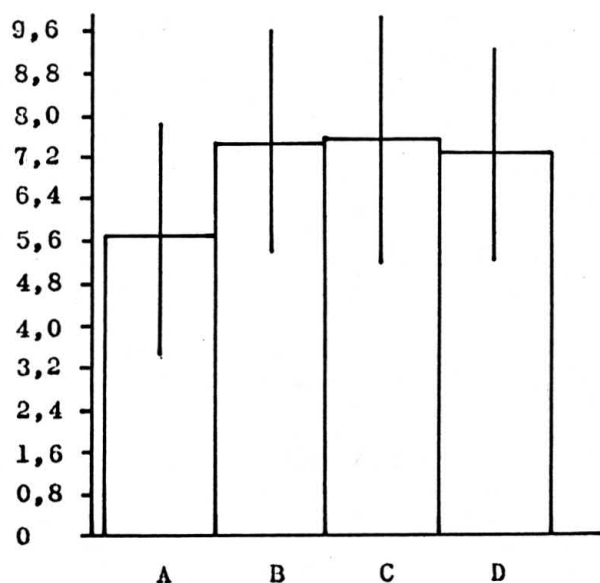


Graf 1 Koncentrace adrenalinu v plazmě (A, B – spiroergometrie, C, D – step-test)

min. $-0,77$, max. $-14,05$ pmol/ml, D: min. $-1,45$, max. $-15,83$ pmol/ml) i ve vlastní reakci na vyšetření. Po spiroergometrii došlo k průměrnému zvýšení hladiny noradrenalinu v plazmě o 30,9 %, na vyšetření step-testem reagovala skupina nevýznamným poklesem hladiny o 3,4 % (tab. 1, graf 2).

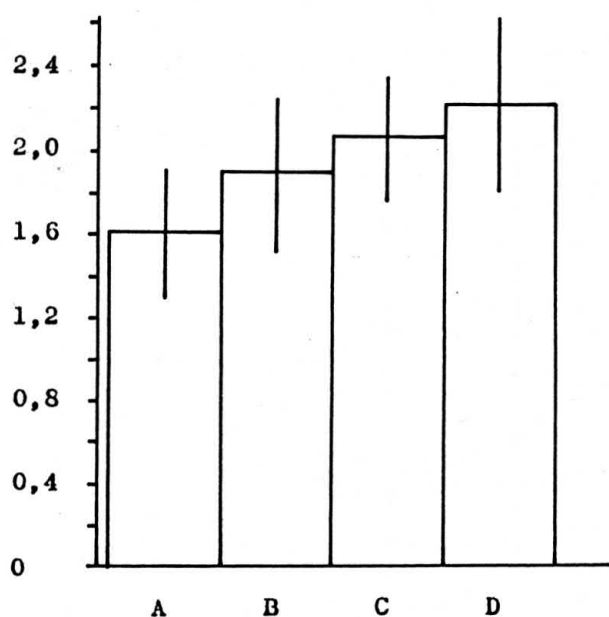
Hladina dopaminu se zvýšila po spiroergometrickém vyšetření i po step-testu. Zřetelnější vzestup dopaminu v plazmě (o 17,3 %) se objevil po spiroergometrii, po step-testu nastalo zvýšení o 7,5 % (tab. 1, graf. 3).

pmol.ml⁻¹ NORADRENALIN



Graf 2 Koncentrace noradrenalinu v plazmě (A, B – spiroergometrie, C, D – step-test)

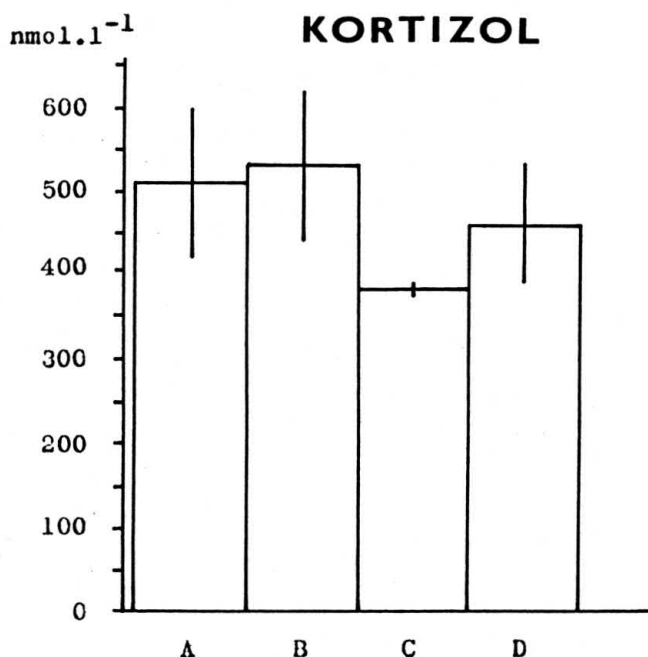
pmol.ml⁻¹ DOPAMIN



Graf 3 Koncentrace dopaminu v plazmě (A, B – spiroergometrie, C, D – step-test)

Kortizol

Sekrece kortizolu reagovala jak na submaximální zátěž organismu spiroergometrickým vyšetřením, tak i step-testem. Hladiny kortizolu u jednotlivých probandů se pohybovaly v širokém rozmezí při odběrech výchozích, klidových i při odběrech po zátěži (A: $s = 178,9$, B: $s = 187,1$, C: $s = 17,9$, D: $s = 149,1$). V obou případech však došlo ke vzestupu hladin kortizolu v krevním séru. Po spiroergometrickém vyšetření se sérová hladina kortizolu zvýšila o 3,8 % oproti hladinám před zátěží. K podstatně větší změně hladin došlo po vyšetření step-testem. Krátkodobá zátěž organismu step-testem vyvolala vzestup kortizolu o 22,5 % (tab. 1, graf 4).

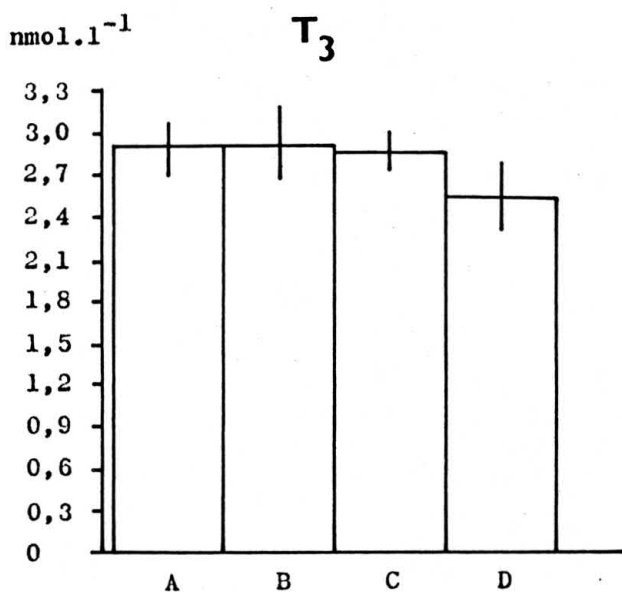


Graf 4 Koncentrace kortizolu v séru (A, B – spiroergometrie, C, D – step-test)

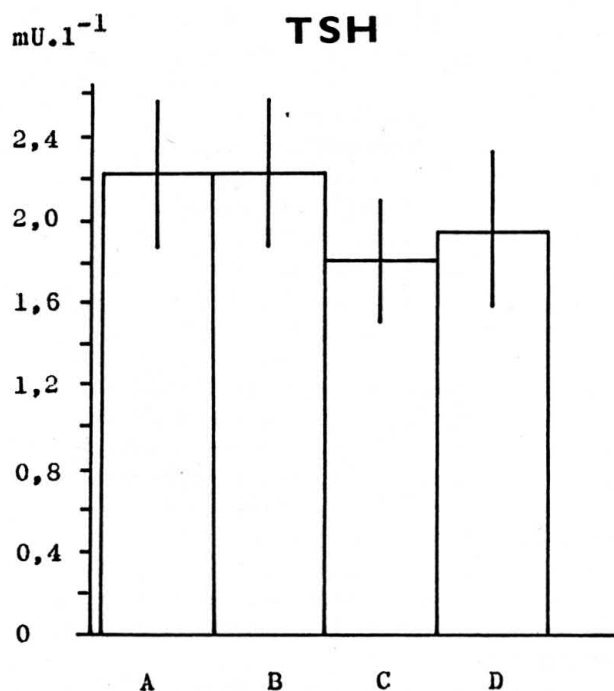
T₃, T₄, TSH

Reakce sekrece tyroidálních hormonů na zátěž spiroergometrie a step-testu byla u jednotlivých probandů rozdílná. U dvou sledovaných osob hladina T₃ po spiroergometrickém vyšetření stoupla o 4,3 a 6,8 %, u ostatních došlo k mírnému poklesu. Skupina jako celek reagovala na spiroergometrické vyšetření zvýšením hladiny T₃ v krevním séru o 0,4 %. Fyzická zátěž step-testu vedla u všech probandů ke snížení hladiny T₃ v průměru o 10,9 % (tab. 1, graf 5).

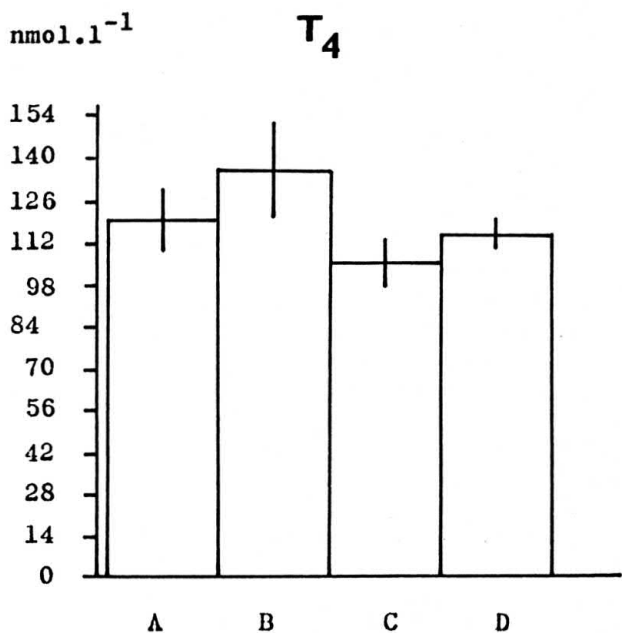
Na déletrvající zátěž spiroergometrického vyšetření reagovala sekreční aktivita štítné žlázy zvýšením hladiny T₄ v krevním séru v průměru o 12,8 %. I když vyšetření step-testem vedlo ke vzestupu hladiny T₄, bylo toto zvýšení menší než v případě spiroergometrie (o 9,9 %). Diference v tyroxinémii probandů se odrazily v rozsahu hodnot před vyšetřením i po něm (tab. 1, graf 6).



Graf 5 Koncentrace trijódtyroninu v séru (A, B – spiroergometrie, C, D – step-test)



Graf 7 Koncentrace tyreotropního hormonu v séru (A, B – spiroergometrie, C, D – step-test)



Graf 6 Koncentrace tyroxinu v séru (A, B – spiroergometrie, C, D – step-test)

Diskuse

Při fyzické zátěži jsou hormonální odpověď, její vliv na energetický metabolismus a konečný efekt ve využití získané energie závislé na řadě faktorů. Mezi primární faktory patří intenzita zátěže a doba jejího trvání. Rozhodující vliv má však i stav organismu před zátěží, jeho výživa a stupeň trénovanosti. U sledované skupiny byly tyto vedlejší faktory téměř eliminovány, věkový rozdíl probandů byl jeden rok, stravovali se ve stejném kolektivním zařízení a podléhali průběžně stejnému cvičebnímu režimu. Zátěžovými testy byl soubor charakterizován jako skupina zdatných mužů na horní hranici srovnatelné čs. populace. Vegetativní tonus u většiny probandů se pohyboval v oblasti normotonie.

Nejvýznamnější složkou hormonální reakce na fyzickou zátěž je zvýšení sympatoadrenální aktivity. Adrenalin a noradrenalin jsou prvními produkovanými hormony s výraznými metabolickými efekty, mobilizujícími energetické zdroje pro mimořádné, krátkodobé vypětí, aktivujícími potřebnou lipolýzu a glykogenolýzu. K vzestupu hladin katecholaminů v plazmě dochází bezprostředně po počátku fyzické námahy. Vzestup noradrenalinu je zpočátku fyzické zátěže pomalý a je úměrný velikosti zátěže (3, 6, 9). Při nižších zátěžích organismu se sekrece adrenalinu v porovnání s noradrenalinem zvyšuje v menší míře. Velmi intenzivně i krátkodobá námaha však vede k výraznější stimulaci adrenalinu. Tento efekt je vysvětlován přítomností emočního náboje. Po krátkodobé maximální zátěži 1,5 min, vedoucí k exhausci, byl popsán 15krát vyšší vzestup adrenalinu i nora-

Hladiny TSH v séru se po obou typech vyšetření v průměru zvýšily. Spiroergometrie vedla ke vzestupu hladiny o 0,45 %, větší zvýšení – o 8,3 % – bylo zjištěno po step-testu. Individuální reakce probandů, zejména při spiroergometrii, byla odlišná. U skupiny čtyř jedinců došlo ke snížení hladiny, u ostatních sledovaných osob reagovala sekrece TSH vzestupem jeho hladiny v séru. I když step-test vyvolal u skupiny jako celku zvýšení hladiny TSH, ve dvou případech se jeho hladina snížila (1,3 % a 0,7 %) (tab. 1, graf. 7.)

drenalinu proti bazálu, s jejich vzájemným poměrem 3:1 (3,7). Fyzická zátěž vede i ke zvýšení sekrece dopaminu. Názory na význam tohoto hormonu v zátěžové situaci jsou nejednotné (2,4).

V souhlase s literárními údaji prokázaly výsledky našeho sledování zvýšenou sympatoadrenální aktivaci v závislosti na fyzické zátěži. Nejvýznamnější odezva jak po spiroergometrii, tak i po step-testu byla zjištěna ve změnách plazmatických hladin adrenalinu. Patrně se při obou typech zátěží výrazněji v aktivaci nadledvin uplatnila emoční složka stresu než nároky vlastní fyzické námahy. Svědčí pro to i minimální pokles noradrenalinu po step-testu a relativně nízký vzestup jeho hladiny po spiroergometrii. Zvýšená sekrece noradrenalinu je považována za odraz fyzické složky stresu. Z tohoto hlediska by vyšetření step-testem v porovnání se spiroergometrií kladlo na organismus intenzivnější nároky emocionální a v menší míře nároky fyzické. Reakce plazmatických hladin dopaminu svědčí pro jeho zvýšenou adrenální sekreci. Odrazí se v ní vliv zátěže na celý komplex neuroendokrinních vztahů.

V literatuře je jednotně uváděno zvýšení hladin kortizolu po spiroergometrickém vyšetření, avšak s rozdíly v závislosti na intenzitě zátěže, trénovanosti jedinců a denní době. Při zátěžích (1,5–2–2,5–3,5 W/kg) je udáváno zvýšení s maximem 10 minut po skončení zátěže, bez signifikantních rozdílů mezi trénovanými a netrénovanými osobami (11). Při submaximálních zátěžích (1,5–2–2,5 W/kg) dochází u trénovaných jedinců k menší aktivaci sekrece kortizolu, s rychlejším dozníváním reakce, pokles k normě je popisován za 30 až 90 minut. U netrénovaných jedinců je maximální zvýšení hladiny kortizolu uváděno bezprostředně po zátěži (2, 5, 11). Stejně jako v celé neuroendokrinní odpovědi je popisována odlišná reakce na zátěž v ranních a večerních hodinách. V případě trénovaných i netrénovaných osob je udáváno signifikantně vyšší zvýšení hladin kortizolu ve večerních hodinách. Příčina je asi v cirkadiánních změnách aktivit nervových systémů, ať již na úrovni neurosekreční, nebo na úrovni vyšších regulačních center (1, 3, 4).

U sledovaných osob se projevíly značné rozdíly již ve výchozích, klidových hodnotách hladin kortizolu, které by měly odpovídat fyziologické normě. I přes uniformní reakci probandů na zátěž se primární difference v klidové kortizolémii odrazily v rozptylu hodnot po obou zátěžích. Akcelerace aktivity kůry nadledvin jak po spiroergometrii, tak i po step-testu odpovídá realizaci základních mechanismů odpovědi adrenální sekrece na fyzickou zátěž. Zřetelně intenzivnější kortikoadrenální reakce organismu na krátkodobou zátěž step-testem nemusí být plně odpovědí na potřeby organismu vyvolané vlastní fyzickou zátěží, ale na její vznik může mít vliv i akutní stresový faktor.

Hodnocení reakce tyroidální sekrece na pracovní zátěž aspektují dvě hlediska. Při krátkodobé zátěži je reakce organismu odezvou především na zátěžové – stresové vlivy. V průběhu prolongované, intenzivní

zátěže se vedle těchto faktorů odráží i kalorické požadavky (8, 12). Studie hodnotící odezvu na dvacetiminutové submaximální spiroergometrické vyšetření uvádějí, že po této době stoupá v séru hladina T_4 a rT_3 a klesá hladina T_3 . Jedná se patrně o uplatnění inhibičního vlivu glukokortikoidů na transformaci T_4 na T_3 , místo něhož vzniká metabolicky inaktivní rT_3 (5, 8, 12).

V našem sledování došlo k reakci hladin hormonů štítné žlázy po obou zátěžových testech. Výraznější vzestup hladiny T_4 po spiroergometrickém vyšetření svědčí pro odezvu vyšších energetických požadavků při této déletrvající zátěži. Akutní, zátěžový – stresový faktor se odrazil v poklesu hladiny T_3 po krátkodobém step-testu. Minimální vzestup hladiny T_3 po spiroergometrickém vyšetření nelze považovat za významný, neboť byl ovlivněn odlišnou reakcí dvou probandů. U dalších osob došlo v souhlase s literárními údaji k poklesu hladin T_3 . Z porovnání výsledků obou zátěžových vyšetření vyplývá, že odezva sekrece hormonů štítné žlázy je v případě spiroergometrie podmíněna spíše energetickými nároky, kdežto při step-testu se více uplatňují zátěžové-stresové vlivy.

V literatuře udávané zvýšení hladin TSH po spiroergometrii je hodnoceno jako přímá stresogenní odezva sekrece na úrovni hypotalamus-hypofýza (1, 12).

U jednotlivých probandů reagovala sérová hladina TSH na zátěž rozdílně. Spiroergometrie vyvolala pouze mírný vzestup hladiny tohoto hormonu, výraznější vzestup byl zjištěn po step-testu. Tyto změny jsou pravděpodobně výsledkem nejen stresové odpovědi hypofýzo-tyreoidální osy, ale i odezvy celého neuroendokrinního regulačního hypotalamo-hypofýzárního komplexu.

Oba typy fyzické zátěže, spiroergometrické vyšetření i step-test, vyvolaly reakci krevních hladin sledovaných hormonů odrážejících vztah mezi jejich sekrecí a požadavky periférie. Většinou se jednalo o stejný typ odezvy, projevující se zvýšením nebo snížením hormonálních hladin. Difference regulační kinetiky metabolismu jednotlivých hormonů se v některých případech projevíly interindividuálními rozdíly. Jejich detailnější analýzu by pomohlo objasnit průběžné sledování hormonálních hladin během zátěže. Relativně vyšší reakce, která byla zjištěna po step-testu, by mohla svědčit pro to, že zejména v případě tzv. „rychlých hormonálních reakcí“ je z neuroendokrinního hlediska vyšetření step-testem pro organismus sice krátkodobou, ale intenzivnější zátěží.

Souhrn

Práce porovnává vliv intenzity a doby trvání tělesné zátěže na krevní hladiny hormonů během step-testu a submaximální spiroergometrie na bicyklovém ergometru. U skupiny jedenácti zdravých mužů věku 20–23 let byly radioimunoanalyticky stanoveny krevní hladiny dopaminu, adrenalinu, noradrenalinu, trijódtyroninu, tyroxinu, tyreotropního hormonu a

kortizolu. U obou sledovaných zatížení došlo ke stejnému typu reakce hormonální sekrece, ale s rozdílnou intenzitou, která by mohla indikovat, že z neuroendokrinního hlediska je pro organismus vyšetření step-testem krátkodobou, intenzivnější zátěží.

Literatura

1. AAKVAAG, A.: Hormonal changes in serum in young men during prolonged physical strain. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 39, 1978, č. 2, s. 283–291.
2. BUNT, J. C.: Hormonal alteration due to exercise. *Sports Med.*, 3, 1986, č. 4, s. 331–345.
3. DELAHUNT, J. W. – MELLISOP, F.: Hormone changes in stress. *Stress Med.*, 3, 1987, č. 1, s. 123–134.
4. GALBO, H. – HOLST, J. J.: Glucagon and plasma catecholamine responses to graded and prolonged exercise in man. *J. Appl. Physiol.*, 38, 1975, č. 1, s. 38.
5. GALBO, H.: Hormonal and metabolic adaptation to exercise. Stuttgart, Verlag 1985, 238 s.
6. GAWEL, M. S. et al.: Exercise and hormonal secretion. *Postgrad. Med.*, 55, 1979, č. 4, s. 373–376.
7. GILLBERG, M. – ANDERZEN, I. – AKERSTADT, T.: Urinary catecholamine responses to basic types of physical activity. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55, 1986, č. 4, s. 575–578.
8. HASHIMOTO, T. – MIGITA, S.: Response of thyrotropin, prolactin and free thyroid hormones to graded exercise in normal male subjects. *Endocrinol. Japon.*, 33, 1986, č. 5, s. 735–741.
9. CHRISTENSEN, N. J.: Catecholamines and exercise. *Diabetes*, 28, 1979, Suppl. 1, s. 58–62.
10. MARTINÍK, K.: Fyziologické vyšetřovací metody v hygieně práce. Hradec Králové, VLVDÚ JEP 1986, 156 s.
11. NAVERI, H.: Blood hormone and metabolite levels during graded cycle ergometer exercise. *Scand. J. clin. Lab.*, 45, 1985, č. 5, s. 599–603.
12. OPSTAD, P. K. – FALCH, D. – OKTEDALEN, F.: The thyroid function in young men during prolonged exercise and the effect of energy and sleep deprivation. *Clin. Endocrinol.*, 20, 1984, č. 5, s. 657–669.

Klíčová slova: Fyzická zátěž; Stres; Hormony.