

616-001.12-092.25

**ADAPTAČNÍ REAKCE ORGANISMU V HORÁCH VE VÝŠCE 1500—2000 m**MUDr. Vladimír DOLEŽAL, CSc., MUDr. Vladimír SLÁVKA, inž. Josef LUXA,  
František Rybák, Zdeňka ZemanováZ Ústavu leteckého zdravotnictví v Praze a Výzkumného ústavu pro fyziatrii, balneologii  
a klimatologii v Bratislavě

Výzkum ovlivnění výkonnosti a funkcí člověka v malých výškách v horách nabývá na významu zvláště ve spojitosti s připravovanými olympijskými hrami v Mexiku. Dnes již není pochybností o tom, že i malé výšky, např. 1000 m (= 698 mm Hg) mají za následek významné změny některých funkcí. Během zatížení se tyto změny zvětšují a u lidí neaklimatizovaných k výšce dochází k poklesu výkonnosti. Rjabenko a spol. (1962) našli v této výšce tepovou frekvenci zvýšenu v klidu o 25—50 %, rovněž krevní tlak byl proti kontrolám zvýšen. Aykut a spol. (1960) zjistil u lidí v klidu ve výšce 1850 m významně nižší RQ. Další fyziologické parametry byly v klidu stejné jako v normálních výškách při mořské hladině, avšak při standardním zatížení docházelo k významným změnám, např. minutový dechový objem stoupal a výkonnost byla asi o 1—3 % snížena. Ve výšce 1000 m našel Tribukait (1964) signifikantní vzestup celkové hemoglobinu u krys. McIlhany a spol. (1963) zjistil u lidí neaklimatizovaných k výšce 1600 m vyšší minutový dechový objem v klidu, spotřeba kyslíku na jeden tep byla významně nižší.

Proto z otázek, na které nutno hledat odpověď, nejdůležitější jsou tyto: jak dlouhé doby je zapotřebí pro dokonalou aklimatizaci k určité výšce bez poklesu výkonnosti, zda je možno dobu aklimatizace opakovaným vystavením výšce zkrátit a jak dlouho tato aklimatizace přetrvává, zda probíhá rychleji v klidu nebo při fyzickém zatížení a zda je možno adaptaci v horách nahradit do určité míry pobytem v podtlakové komoře s tlakem odpovídajícím příslušné výšce.

V naší práci jsme si postavili otázku, jak probíhá adaptační reakce v horách u lidí neaklimatizovaných ve výšce 1500—2000 m za současného fyzického zatížení, zejména pokud se týká reakce nadledvinek.

**Metoda**

Ze skupiny 30 horolezců bylo vybráno 8 horolezců III. výkonnosti třídy ve věku od 20 do 30 let, kteří byli sledováni po dobu 6 dní v Tatrách ve výšce 1500 m. Před odjezdem do hor byli podrobně vyšetřeni a stupeň jejich pracovní výkonnosti stanoven step-testem. Během pobytu prováděli horolezci denně výstupy na hřebeny do výše 2000 m, odpovídající 3. a 4. stupni obtížnosti. Vyšetření se provádělo v měsíci březnu. Moč jim byla odebírána po 12 hodinách, tj. denní a noční porce. V moči jsme sledovali: kyselinu 3-metoxy-4-hydroxymandlovou (dále VMK) metodikou podle Armstronga v modifikaci Dubovského a Petráška 1962, celkové neutrální ketosteroidy fotometricky podle Callova a spol. po předchozí extrakci podle Robbieho-Gibsona

(viz Hořejší a spol. 1964) a frakcionací 17-ketosteroidů jsme prováděli papírovou chromatografií podle Stárky a spol. (viz Hořejší a spol. 1964) při použití roztoku dehydroepiandrosteronu (dále DEA) jako standardu. Mukoproteiny byly stanoveny fotometricky podle Heremanse (1958) v noční a denní porci moče. Eozinofily byly stanoveny v periferní krvi podle Duncera každý den večer kromě 3. dne. Vanilylmandlovou kyselinu jsme vyjadřovali v mikrogr/hod. a 17-KS v mg/24 h. Horolezci přijeli ve dvou skupinách, druhá skupina přijela o den později (4 horolezci). Další činnost byla u všech podstatně stejná. Strava byla standardní, v hodnotě 3500 kalorií. Byly vyloučeny černá káva a alkohol (kromě 12° plzeňského piva). Výsledky byly hodnoceny statisticky analýzou rozptylu a metodikou podle Duncana (1955).

**Výsledky**

Největší fyzické zatížení u všech horolezců bylo první den ihned po příjezdu do hor ve výšce 1300 m, kdy byli nuceni vystoupit do výše 1500 m do vzdálenosti 4—5 km se zatížením 30—50 kg. Toto zatížení se projevilo vysokým vylučováním celkových 17-KS, které bylo v tento první den nejvyšší. K poklesu vylučování během pobytu v horách došlo třetí a poslední den pobytu v horách. První den byly průměrné hodnoty 9,75 ± 1,68 mg/24 h., poslední den 6,96 ± 0,84 mg/24 h (viz tab. 1 a graf 1). Naše hodnoty celkových KS jsou poněkud nižší, než se udává v literatuře (Hořejší a spol. 1964), proto hodnotíme jen relativní změny. Třetí den byl pozorován pokles vylučování 17-KS, pak došlo opět k vzestupu s následným poklesem až do konce pobytu v horách. Pokles třetího dne byl významný na hladině 95 %, jak bylo zjištěno statisticky metodou analýzy rozptylu:

$$F = \frac{38,40}{3,18} = 12,07 > F_{5\%} = 6,094$$

Při bližší analýze pomocí Duncanovy statistické metody byl zjištěn významný rozdíl mezi průměrnou hodnotou naměřenou první den při příjezdu do hor (9,75 ± 1,68) a průměrem třetího dne (6,55 ± 1,74). Čtvrtého dne pobytu v horách, kdy horolezci podnikly opět výstupy, se hodnoty vylučovaných 17-KS zvýšily, avšak tento vzestup nebyl statisticky významný. Ani následující pokles vylučování nebyl statisticky významný. Hodnoty posledního (6) dne pobytu v horách nebyly pro svou neúplnost statisticky hodnoceny.

Vylučování DEA močí klesalo v závislosti na době pobytu v horách (tab. 2) z počátečních 7,28 ± 2,81 mg/24 h na 4,86 ± 2,64 mg/24 h předposlední a 4,41 ± 0,40 mg/24 h poslední

Tab. 1

Celkové neutrální 17-ketosteroidy v mg/24 hod.

Jméno	Dny pobytu v horách					
	1	2	3	4	5	6
K.	8,5	7,8	8,8	9,7	6,2	7,8
H.	8,1	5,4	7,0	4,3	7,0	6,1
B.	10,0	6,5	6,8	8,6	5,2	/
H.	9,8	4,5	6,2	3,9	5,5	7,0
N.	12,1	8,6	6,2	8,6	14,2	/
K.	8,8	8,8	6,0	11,3	11,9	/
V.	11,6	11,3	4,4	13,3	6,4	/
V.	9,8	9,7	7,0	9,5	10,3	/
Průměr	9,75	7,82	6,55	8,7	8,33	6,96
Směrodatná odchylka	±1,68	±2,26	±1,74	±3,79	±3,34	±0,84

den. Tento pokles však nebyl významný, jak bylo zjištěno analýzou rozptylu:

$$F = \frac{4,5}{3,4} = 1,3 < F_{5\%} = 4,818$$

Vylučování VMK močí bylo v kontrolním vyšetření před odjezdem do hor  $246 \pm 57$  mikrogr/hod. V den příjezdu, kdy horolezci byli nuceni vystoupit z výšky 1300 m do výšky 1500 m, vylučování VMK klesalo na  $154 \pm 76$  mikrogr/hod. Pak došlo v noční porci z druhého na třetí den k prudkému vzestupu na  $287 \pm 70$  mikrogr/hod. Bylo to potom, co se horolezci dověděli o tragickém neštěstí svých dvou kamarádů, z nichž se jeden zabil a druhý těžce zranil. Následující den (3) horolezci podnikli jen rekreační pochůzky po okolí hotelu. Vylučování VMK zůstalo stále vysoké a v následující dny nastal postupný pokles až do konce pobytu v horách (tab. 3). Při kontrolním vyšetření po návratu z hor došlo k významnému poklesu vylučování VMK, a to na  $126 \pm 26$  mikrogr/hod. Při statistickém hodnocení jsme našli významný rozdíl mezi průměry vyloučené VMK [ $F = 3,072 > F_{5\%} = 2,767$ ]. Pro přesnější analýzu jsme po-

Tab. 2

Dehydroepiandrosteron (chromatograficky) v mg/24 hod.

Jméno	Dny pobytu v horách					
	1	2	3	4	5	6
K.	6,68	6,53	7,86	4,15	3,31	4,37
H.	4,44	3,14	3,42	1,01	2,81	4,03
B.	5,75	3,99	/	/	3,52	/
H.	/	2,61	/	2,46	2,36	4,83
N.	12,52	12,21	10,53	/	9,4	/
K.	7,93	7,55	/	6,86	7,30	/
V.	6,41	7,47	2,83	6,84	3,36	/
V.	/	7,07	/	4,63	7,05	/
Průměr	7,28	6,32	6,16	4,32	4,86	4,41
Směrodatná odchylka	±2,81	±3,10	±3,67	±2,34	±2,64	±0,40

užili Duncanovu metodu a vypočetli jsme tuto tabulku:

Dny a noci pozorování  
3N Kpř 4D 3D 4NN 5N 5D 6N 2D 6D 2N 1 Kpo

Průměry VMK												
287	246	245	232	231	222	221	183	171	169	165	154	126

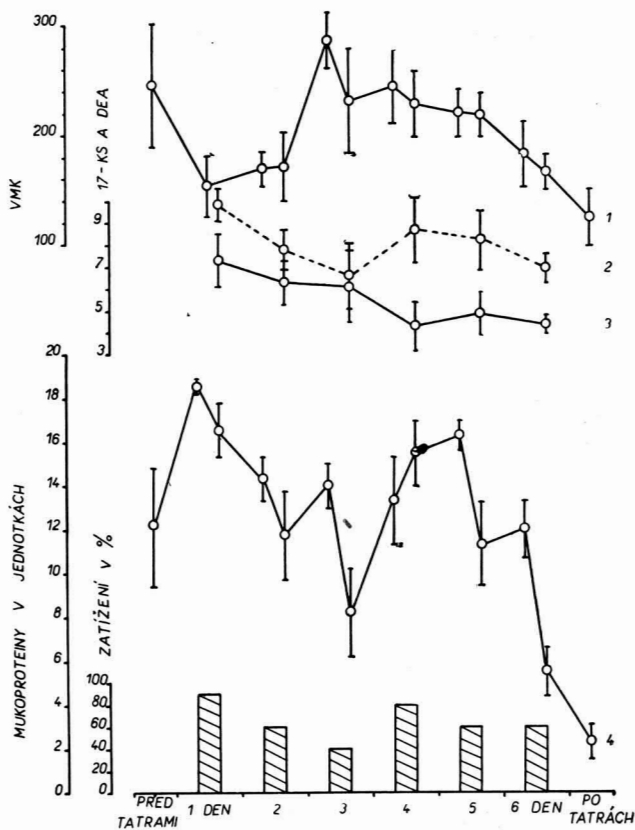
Hodnoty podtržené souvislou čarou se od sebe významně neliší.

Zvýšená fyzická námaha se projevila také zvýšeným vylučováním mukoproteinů močí (tab. 4). Maximálních hodnot bylo dosaženo první den pobytu v horách, pak postupně klesaly a dosáhly minima poslední den. Ve srovnání s hodnotami mukoproteinů v klidu před odjezdem do hor je patrné, že hodnoty vylučovaných mukoproteinů vysoce významně klesaly ( $p < 0,005$ ). Při statistickém hodnocení analýzou rozptylu jsme zjistili vysoce významné změny:  $F = 6,16 > F = 5,345$ . Pro přesnější rozlišení významnosti rozdílů prů-

Tab. 3

Vylučování 3-metoxy-4-hydroxymandlové kyseliny (VMA) v Tatrách.

Jméno	Den před exp.	Dny pobytu v horách										Den po exp.		
		1.		2.		3.		4.		5.			6.	
		den	noc	den	noc	den	noc	den	noc	den	noc		den	noc
Kauf.	265	88	214	311	274	0	380	302	181	280	241	191	146	
Hal.	500	60	121	168	227	300	254	363	281	209	218	227	260	
B.	485	91	179	25	365	179	144	121	239	212	252	170	146	
Han.	80	217	156	68	242	184	179	199	136	169	161	180	5	
N.	156	134	113	174	254	123	168	290	219	154	96	86	93	
K.	201	156	144	215	421	325	266	233	215	297	176	189	89	
V. M.	138	280	240	197	224	365	202	108	320	239	58	170	142	
V. V.	147	209	144	214	292	384	367	231	189	207	265	154	131	
Průměr	246	154	165	171	287	232	245	231	222	221	183	169	126	
Směrodatné odchylky	±57	±76	±45,9	±89,4	±70,1	±136,1	±89,4	±88	±58	±49,5	±75,4	±40,5	±26	



Graf 1

Vylučování kyseliny vanilylmandlové v mikrogr/hod., ve 12hodinových porcích moče (1), celkových neutrálních 17-ketosteroidů v mg/24 hod. (2), dehydroepiandrosteronu v mg/24 hod. (3), mukoproteinů v jednotkách ve 12 hodinových porcích moče (4). Zatížení je vyznačeno v procentech ve sloupcích (5). Vertikální úsečky představují směrodatné chyby měření. První a poslední hodnoty značí kontrolní vyšetření před odjezdem do hor a po příjezdu z hor.

měrů jsme použili Duncanovu metodu a vypočetli jsme tuto tabulku:

Dny a noci pozorování													
1N	1D	5N	4D	2N	3N	4N	Kpř	6N	2D	5D	3D	6DKpo	
18,5	16,5	15,8	15,2	14,3	13,8	13,3	12,1	11,8	11,6	11,1	8,1	5,5	2,2

Průměry podtržené souvislou čarou se od sebe významně neliší. Vylučování mukoproteinů močí bylo u všech horolezců po návratu z hor šestkrát nižší než před odjezdem (viz graf 1).

Hodnoty eozinofilů se během pobytu v Tatrách významně neměnily. Rovněž při srovnání hodnot eozinofilů před expedicí a po expedici nebyly nalezeny významné změny (tab. 5). Vylučování moče přes den činilo 450–500 ml/12 h.

### Diskuse

Z našich výsledků vyplynulo, že vylučování kyseliny vanilylmandlové močí je vysoce citlivým indikátorem emocionálního zatížení. Ve sle-

dované homogenní skupině horolezců byl nalezen významný pokles vylučování VMK prvního dne po příjezdu do hor ve srovnání s kontrolním vyšetřením před expedicí, přes to, že tento den bylo maximální fyzické zatížení. Tento pokles přetrval i druhý den. Nález je v rozporu s pozorováním Eulera a spol. (1952), který našel vzestup vylučování KA v závislosti na fyzickém zatížení. Pokles v našem případě byl pravděpodobně způsoben klimatickými faktory uplatňujícími se v horách. K významnému vzestupu vylučování VMK došlo až v noční porci moče (ze druhého na třetí den) po zprávě o tragickém neštěstí dvou kamarádů (členů skupiny). Tato zpráva způsobila významný vzestup vylučování VMK rovněž i v průběhu dalších dnů, kdy horolezci zlézali skály pod dojmem tohoto tragického neštěstí (viz graf 1). Teprve poslední den a den kontrolní došlo v důsledku adaptace k poklesu vylučování VMK. Na vylučování VMK má vliv i samotná výška. Tak Cunningham a spol. (1965), Pace a spol. (1964) našli zvýšené vylučování VMK v závislosti na výšce, nejvyšší vylučování VMK našli v nejvyšší výšce. Vzestup aktivity sympatoadrenálního systému nebyl v malých výškách tak významný, jak tvrdí výše uvedení autoři.

Zatímco vylučování VMK bylo první den nejnižší, vylučování 17-KS a DHKS bylo první den nejvyšší jako projev fyzického stressu (viz graf 1). Třetí den, kdy horolezci nebyli fyzicky zatíženi, vylučování 17-KS klesalo, teprve v závislosti na další tělesné činnosti došlo opět k vzestupu vylučování 17-KS. Pouze vylučování DEA od prvního dne do posledního klesalo nezávisle na fyzickém stressu nebo emocionálním zatížení. Zdá se, že tento metabolit může být jedním z indikátorů adaptace organismu k výšce.

Eozinofily nevykazovaly proti očekávání významné změny, jak bylo např. pozorováno u pilotních žáků (Doležal aj. 1954, 1965), kdy po celou dobu letu (letového dne) byla nalezena významná eozinopenická reakce jako výsledek negativní emoce (strachu). Jisté změny byly pozorovány u zaměstnanců visuté lanovky v Tatrách (Borský a spol.). V horách byla eozinopenická reakce rušena fyzickým zatížením a faktory klimatickými.

Velmi významné změny byly pozorovány u vylučování mukoproteinů v moči. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny první den pobytu v horách, kdy bylo největší zatížení fyzické i emocionální. Toto pozorování souhlasí s naší představou o korelaci mezi fyzickým (svalovým) zatížením, únavou a množstvím vyloučených mukoproteinů (Doležal a spol. 1954, 1965). Během pobytu v horách se horolezci postupně adaptovali a v důsledku toho docházelo i k poklesu vylučování mukoproteinů. Vysoce významný pokles vylučování mukoproteinů byl zaznamenán po návratu z hor, kdy vylučování mukoproteinů klesalo o více než 80 % proti hodnotám naměřeným před odjezdem, jako projev adaptace.

Při sledování výkonnosti pomocí step-testu bylo zjištěno podstatné zlepšení fyziologických

Tab. 4

Mukoproteiny v Tatrách u 8 horolezců

Jméno	Dny pobytu v horách								Po expedici					
	Před expedicí	7.—8. 3.		8.—9. 3.		9.—10. 3.		10.—11. 3.		11.—12. 3.		12.—13. 3.		
	ranní moč	noc	den	noc	den	noc	den	noc		den	noc	den	noc	den
H.	20	18	14	18	12	16	11	10	6	16	8	13	5	6
B.	19	18	15	15	6	16	7	1	18	16	4	14	12	0
N.	20	19	18	14	17	12	3	17	14	14	6	8	7	2
V.	14	19	19	18	20	17	20	19	20	19	18	17	4	3
V.	5	/	/	10	6	9	1	13	15	16	16	11	7	1
K.	13	/	/	14	16	13	7	16	17	13	7	5	4	0
K.	6	/	/	15	11	16	9	16	19	18	14	13	2	1
H.	0	/	/	11	5	12	7	15	13	15	16	14	3	5
Průměr	12,1	18,5	16,5	14,3	11,6	13,8	8,1	13,3	15,2	15,8	11,1	11,8	5,5	2,2
Směrodatné odchylky	±2,7	±0,27	±1,18	±1,02	±2,01	±0,98	±2,03	±2,01	±1,55	±0,68	±1,92	±1,27	±1,12	±0,79

funkcí po 6denním pobytu v horách ve srovnání s vyšetřením před odjezdem do hor. Projevilo se to zvýšenou spotřebou kyslíku na jeden tep. Rovněž byla vysoce významně zrychlena fáze uklidňování po námaze. Ve vyšších polohách (2000 až 3000 m) k dokonalé adaptaci bez poklesu výkonnosti a s normalizací vegetativních funkcí dochází podle Halhubera a spol. (1958) až po 14 dnech pobytu v této výšce. Pobyt v ho-

Tab. 5

Eozinofily

Jméno	Dny pobytu v horách					
	1	2	3	4	5	6
H.	62,5	56,2	/	87,5	50,0	50,0
K.	100,0	100,0	/	68,7	100,0	100,0
B.	103,	75,0	/	75,0	87,5	62,5
H.	134,4	150,0	/	75,0	62,5	75,0
V.	306,2	184,2	/	375,0	393,7	387,5
V.	212,5	162,5	/	325,0	212,5	306,2
K.	175,0	175,0	/	237,5	168,7	181,2
N.	93,0	75,0	/	87,5	43,7	68,7
Průměr	148,3	122,2	/	166,4	139,6	153,8

rách ve výšce 1500 až 2000 m po dobu 6 dnů za současného fyzického zatížení se projevuje pravděpodobně dřívější adaptací organismu bez poklesu výkonnosti. Tomu by nasvědčovala postupná normalizace sledovaných humorálních parametrů v našich pokusech. Domníváme se proto, že při sledování adaptační reakce organismu k fyzickému zatížení v nezvyklých podmínkách lze používat těchto indikátorů: vylučování mukoproteinů a 17-KS močí jako projev fyzické adaptace. Mukoproteiny lze stanovit kolorimetricky, polní metodikou popsanou na jiném místě (Doležal 1959), nebo ve fotometrické modifikaci dle Heremans (1958) a vylučování KA jako reakce sympatoadrenálního systému.

V dalším výzkumu bude nutno rozhodnout, jak tato adaptace k výšce probíhá v klidu, jak dlouho přetrvává a zda je možno adaptační procesy opakovaným vystavením výšce zkrátit.

### Souhrn

Skupina osmi horolezců třetí výkonnostní třídy byla sledována po dobu 6 dnů v Tatrách, ve výšce 1500—2000 m při fyzickém zatížení. Byly stanoveny: 3-metoxy-4-hydroxymandlová kyselina, celková 17-ketosteroidy, dehydroepiandrosteron, mukoproteiny v moči a eozinofily v periferní krvi. Byla nalezena souvislost mezi stupněm fyzického zatížení a vylučováním 17-ketosteroidů a mukoproteinů. Kyselina vanilylmandlová se ukázala jako vysoce citlivý indikátor emocionálního zatížení. Autoři předpokládají, že 6denní pobyt v horách ve výšce 1500—2000 m za současného fyzického zatížení má vysoce pozitivní vliv na výkonnost ve smyslu adaptace k mírné hypoxii. Stanovení katecholaminů, 17-ketosteroidů a mukoproteinů v moči doporučují autoři užívat při sledování stupně adaptace organismu k určitému stressu.

### Literatura

1. Armstrong, M. D., McMillan, A.: Identification of a major urinary metabolite of norepinephrine. Fed. Proc., 16, 1957, 146.
2. Aykut, R., Terzioglu, M.: Energy exchange under basal conditions at rest and during exercise at 1850 m altitude. Arch. Internal. Physiol. Biochem., 68, 1960, 285.
3. Borský, I., Hajsoková, M., Hubač, M.: Zmeny niektorých krvných hodnot u zamestnancov visutej lanovky v Tatranskej Lomnici. Prac. lék., 12, 1960, 426.
4. Cunningham, W. L., Becker, E. J., Kreuzer, F.: Catecholamines in plasma and urine at high altitude. J. Appl. Physiol., 20, 1965, 607.
5. Doležal, V., Procházková, O., Zemanová, Z.: Stanovení únavy u letců. Voj. zdrav. listy, 28, 1959, 20.
6. Doležal, V., Pipal, M.: Některé humorální změny u pilotních žáků při prvních letech na proudových letounech. Voj. zdrav. listy, 34, 1965, 8.
7. Doležal, V., Luxa, J.: Vylučování 3-metoxy-4-hydroxymandlové kyseliny u pilotů. Voj. zdrav. listy, 34, 1965, 164.
8. Dubovský, J., Petráček, J.: Fenolické kyseliny v moči. Sbor. lék., 64, 1962, 69.
9. Duncan, D. B.: Multiple range and multiple F-test. Biometrics, 11, 1955, 1.
10. Euler Von, U. S., Heller, S.: Excretion of noradrenalin and adrenalin in muscular work. Acta physiol. Scand., 26, 1952, 183.
11. Halhuber, M. J., Jungman, H., Hierholzer, G., Krauss, J.: Untersuchungen zur Anpassung des Wintersportlers an 2000 bis 3000 m Höhe. Med. Klin., 53, 1965, 256.
12. Heremans, N.: The Donaggio reaction. Rev. Belg. Pathol. med., 26, 1957, 5.
13. Hornbein, J. E.: Adrenal cortical response to chronic hypoxia. J. Appl. Physiol., 17, 1962, 246.
14. Hořejší, J.: Základy chemického vyšetřování v lékařství. stát. zdrav. nakl., Praha 1964, str. 1—693.
15. Ilhaný Mc, M. C., Langfield, A. N.: Performances d'athletes acclimatés et non acclimatés a l'altitude 1650 m. Poumon Coeur, 19, 1963, 621.
16. Pace, N., Griswold, R. L., Grundbraum, B. W.: Increase in urinary norepinephrine excretion during 14 days sojourn at 3800 m elevation. Fed. Proc., 23, 1964, 521.