

612.273.2:612.391

ODOLNOST PROTI HYPOXII PŘI ÚPLNÉM HLADOVĚNÍ*

Podplukovník MUDr. J. DVOŘÁK, CSc., podplukovník MUDr. M. PÍPAL,
podplukovník MUDr. J. ŠTVERÁK, MUDr. V. DOLEŽAL, CSc., Ústav leteckého zdravotnictví, Praha.
Technická spolupráce F. Rybák, A. Pašková, B. Filsaková

Všeobecně se předpokládá, že snížení výkonnosti v hypoglykemických stavech je zhoršováno kombinací s hypoxií. V literatuře jsme našli pouze jediný odkaz (Hartmann, Noltenius, 1936 až 1937). Autoři provedli pokus na sobě, hladovění trvalo sedm dnů, vyšetření v hypoxii se konalo v podtlakové komoře na výšce 6000 m. V práci nejsou uvedeny konkrétní údaje o průběhu hypoxie, z textu lze však soudit, že nebyly zjištěny rozdíly proti normálnímu průběhu reakcí v nedostatku kyslíku, pouze vitální kapacita se při současném působení hypoxie a hladovění snížila.

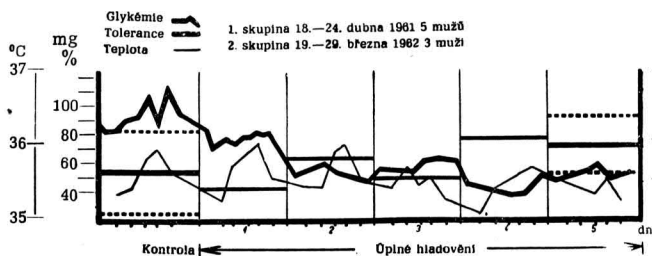
V pokusech o vlivu několikadenního hladovění jsme zjišťovali odolnost proti hypoxii. Pokusy se konaly ve dvou etapách. V první (jaro 1961) bylo vyšetřeno pět osob, ve druhé (jaro 1962) tři osoby. Šlo o mladé dobrovolníky, zdravé, ve věku 18–27 let, somaticky i psychicky v mezích normy, nijak netrénované. V obou případech trvalo úplné hladovění s neomezeným příjmem vody pět dnů. V první skupině jsme sledovali stav pokusných osob též jeden den před hladověním a den po něm; tyto dny sloužily jako kontrolní. Ve druhé skupině se věnovala větší pozornost možnosti nácviku při provádění psychologických testů; proto bylo určeno pět dnů před zahájením hladovění jako kontrolní (v této době se konal nácvik testů); poté následovalo pětidenní hladovění a poslední den (den realimentace) byl opět kontrolní.

Hypoxie se dosahovalo dýcháním v uzavřeném okruhu z metabolometru o obsahu osmi litrů, CO₂ byl absorbován natronovým vápnem. Všechna vyšetření byla provedena v době kolem 18 hodin. Hypoxický test jsme dělali u první skupiny každý den, tj. celkem sedmkrát za sebou. U druhé skupiny byl proveden jeden nácvik v tréninkovém období, vlastní vyšetření v hypoxii jsme dělali večer, den před začátkem hladovění (tj. před poslední večeří) a pátý den hladovění těsně před začátkem realimentace. K vzájemnému srovnání jsme použili dat ze stejných dnů, tj. kontrolní den (těsně před začátkem hladovění) a pátý den hladovění (těsně před jeho skončením).

Měření s registrací jsme dělali před dýcháním v uzavřeném okruhu, během něho a několik minut po převedení na dýchání atmosférického vzduchu.

Při vyšetřování jsme sledovali saturaci hemoglobinu arteriální krve kyslíkem (oxymetricky z pravého ucha), minutový dechový volum, dechovou frekvenci, tepovou frekvenci (z I. standardního svodu ekg), frekvenci tukání na telegrafní klíč, kožní galvanický reflex podle Ferého (kožní potenciály). Jako kritérium odolnosti jsme brali hodnotu oxymetrie, při které došlo ke ztrátě vědomí (určované podle ztráty reaktivity a změny svalového napětí).

Obr. 1



Změny glykémie, tolerance v hypoxii a tělesné teploty během pětidenního úplného hladovění

Během vlastního pokusu klesla hladina krevního cukru z normálních hodnot během prvního dne hladovění na průměr 60 mg% a klesala v dalších dnech, až dosáhla průměrné hodnoty kolem 50 mg% (viz obr. 1). Při tom docházelo k individuálnímu kolísání mezi 40–81 mg% během celého pokusu.

Změny, ke kterým docházelo během hladovění, nebyly příliš velké; jsou popsány jinde (Pípal).

Při dýchání v uzavřeném okruhu klesala saturace hemoglobinu rovnoměrně a dosahovala minima asi za deset minut; jestliže jsme za výchozí brali hodnotu 96 % (při dýchání atmosférického vzduchu), pak poslední hodnoty se pohybovaly mezi 50 a 70 % (tabulka 1).

Minutový dechový objem stoupal úměrně stupni hypoxie (viz tabulka č. 2), těsně před ztrátou vědomí opět klesal. K hodnocení změny jsme brali rozdíl mezi minutovým dechovým objemem

*) Předneseno zkráceně na 11. mezinárodním sjezdu leteckého a kosmického lékařství v Madridě, říjen 1962.

Tabulka 1

Hodnoty oxymetrie při ztrátě vědomí v hypoxii

Skupina	Kontrolní den	5. den hladovění
I.	65,8 ± 4,8	57,8 ± 2,6
II.	59,7 ± 4,5	63,3 ± 3,1

v první minutě testu a největším minutovým dechovým objemem dosaženým před ztrátou vědomí. Během hladovění nebyly změny jednotné; v první skupině došlo u tří osob z pěti k většímu vzestupu minutového dechového volumu s hypoxií v průběhu pokusu než v kontrolní den. Poslední den hladovění byly hodnoty většinou menší v první skupině a větší ve skupině druhé.

Tabulka 2

Rozdíl mezi počátečním a největším minutovým dechovým objemem během hypoxie (počáteční hodnoty = 100 %)

Skupina	Osoba	Kontrolní den	3. den 5. den	
			hladovění	
I.	Ps	332 %	+18 %	—34 %
	Ž	384 %	—35 %	—43 %
	Pl	205 %	+50 %	+6 %
	S	302 %	+7 %	—3 %
	K	203 %	—37 %	—27 %
II.	J	277 %	—	+13 %
	Š	213 %	—	+37 %
	D	278 %	—	—24 %

Dechová frekvence v průběhu hypoxie se měnila nepříliš pravidelně. Těsně před ztrátou vědomí docházelo však vždy k náhlému zrychlení dýchání (spolu se zmenšením dechové amplitudy); toto zrychlení bylo relativně větší 3. až 5. den hladovění.

Tabulka 3

Vzrůst tepové frekvence s hypoxií

Skupina	Jméno	Kontrolní den		5. den hladovění	
		HbO ₂ %	Tep. frekv.	HbO ₂ %	Tep. frekv.
I.	P.	66	130	55	130
	Ž.	71	150	68	150
	S.	70	130	55	120
	P.	62	110	55	100
	K.	60	110	62	110
II.	Š.	60	138	64	180
	D.	64	160	66	168
	J.	55	156	60	168

Pozn.: HbO₂ % — procento saturace arteriální krve kyslíkem při ztrátě vědomí.

Tepová frekvence stoupala úměrně stupni hypoxie (tabulka 3); rozdíly mezi jednotlivými dny se měnily nepravidelně. Zjistili jsme však znač-

nou závislost návratu tepové frekvence k výchozím hodnotám po skončení dýchání v uzavřeném okruhu (viz tabulka 4). Tato doba se během hladovění signifikantně prodlužovala až do čtvrtého dne, poté se opět zkracovala.

Frekvence ůkání se měnila málo a nepravidelně, a to jak během hypoxie, tak i v průběhu hladovění. Ke konci pokusu s dýcháním v uzavřeném okruhu vyšetřovaní sami přestávali ůkat, nebo nereagovali na signál, poruchy se objevovaly velmi rychle, současně nastupovalo bezvědomí a dostavily se hypoxické křeče.

V zápisu kožního galvanického reflexu se s nedostatkem kyslíku zvětšovala amplituda pomalých vln, někdy se přechodně objevily respirační vlny. Těsně před ztrátou vědomí bylo možné zjistit vlny o různých amplitudách i frekvencích, značně nepravidelné. Po vdechnutí vzduchu vlny v záznamu postupně mizely. Během hladovění se amplituda vln v některých případech zmenšovala, rozdíly však byly velmi malé a nelze je pokládat za průkazné.

Celkový typ reakce na hypoxii byl u všech osob stejný. Se ztrátou vědomí došlo k tonicko-klonickým křečím, s optisthotonem, větší či menší flexí paží, deviací bulbů vzhůru či do strany (pokud pozorování nebylo znemožněno zakrytými víčky). Pouze v jediném případě došlo po realimentaci ke změně křečové reakce v kclapsovu. Intenzita křečí se během hladovění neměnila.

Diskuse

V souvislosti s hladověním bylo možné rozlišit v reakci na hypoxii v zásadě dva charakteristické rysy:

1. změnu reaktivity organismu od 3. do 5. dne hladovění,
2. velmi malou změnu odolnosti v hypoxii (posuzováno podle dosažené saturace hemoglobinu kyslíkem).

Reakce organismu se neměnila úměrně době hladovění ani hloubce hypoglykémie. V první skupině jsme pozorovali při první expozici známky emoce, ty však zmizely do druhého dne. Ve druhé skupině jsme tyto známky pozorovali druhé při nácivku. Během hladovění se postupně změnila reaktivita respiračního (větší zrychlení dechu s hypoxií) a cirkulačního aparátu (pomalejší návrat k výchozím hodnotám po hypoxii). Podobné změny se daly zjistit v některých případech i ve změně minutového dechového objemu, v závislosti tepové frekvence na nedostatku kyslíku a v přechodném snížení odolnosti na hypoxii; šlo však spíše o výjimky, rozdíly byly malé a pro malý počet případů se nedají statisticky prokázat. Všechny uvedené změny nastupovaly kolem třetího dne, trvaly až do pátého dne; v několika případech byla reakce pátého dne opět stejná jako druhého dne.

Popsané změny reaktivity, které lze vysvětlit ve smyslu zvýšení vegetativní lability, souhlasí s podobnými jinými změnami, popsány během tohoto pokusu (Pípal). Je známo, že při

Tabulka 4

Průměrné doby návratu tepové frekvence k výchozím hodnotám (v minutách)

Skupina	Kontrolní den	Den hladovění				
		1.	2.	3.	4.	5.
I.	5,1±2,3	1,5±0,8	3,3±1,5	3,0±1,3	5,2±1,4	3,6±1,9
II.	1,3±0,8	—	—	—	—	0,6±0,3

hladovění dochází k větším změnám v organismu právě kolem třetího dne. Tato změna se tedy projevila v našich případech jako přechodné kolísání některých funkcí v nedostatku kyslíku.

Překvapující byly nepatrné změny v celkové reakci na hypoxii. V první skupině došlo ke zlepšení odolnosti; toto zlepšení je malé, neliší se příliš od chyby metody, je však signifikantní (určeno Studentovým t-testem). Ve druhé skupině není změna prokazatelná. Co do tělesné zdatnosti se vyšetřovaní od sebe podstatně nelišili a nenašli jsme žádné jiné charakteristické rysy, které by odlišovaly první skupinu od druhé.

Lehké zlepšení odolnosti je nutno nepochybně přičíst na vrub nácviu. Je to též vidět z reakce respiračního aparátu, kdy v průběhu pokusu se postupně většinou zmenšoval největší dosažený minutový dechový objem při hypoxii v první skupině, zatímco ve druhé skupině tato

změna byla mnohem menší. Vyloučíme-li vliv nácviu, můžeme předpokládat, že reakce na hypoxii se při poklesu hladiny krevního cukru — která byla zřejmě značná — prakticky neměnila, a že byla tedy stejná jako ve druhé skupině.

Pokusili jsme se vysvětlit tento výsledek v souvislosti se změnami metabolismu; je známo, že v hypoxii se mění látková výměna, podle Kartaševského (1906) nejdříve stoupá, pak relativně klesá v důsledku poruchy termoregulace. Všeobecně je známo, že snížení tělesné teploty zvyšuje odolnost proti nedostatku kyslíku. Kdyby se během hladovění snižoval metabolismus, pak by sekundárně mohlo dojít ke zvýšení odolnosti — resp. by se mohlo kompenzovat snížení související s hypoglykemií. V našich pokusech se bazální metabolismus zjišťoval pouze jednou denně, ráno, a k podstatné změně nedošlo (bazální metabolismus na 1 kg váhy v kontrolní den 26,95±4,16 kal proti 28,82±6,43 kal pátý den hladovění), spíše lze pozorovat tendenci ke zvýšení (tab. 5).

Zjistili jsme však, že se hladověním výrazně mění denní průběh rytmických změn tělesné teploty (viz tabulka 6 a obr. 1).

Normální rytmus se udržel pouze do druhého dne hladovění; ranní teploty se příliš neměnily, od třetího dne bylo odpolední zvýšení teploty relativně menší. Pokusy s hypoxií jsme konali právě v době, kdy je normálně denní maximum (tělesná teplota se měřila před expozicí nedostatku O₂). Rozdíly změn tělesné teploty během hladovění nebyly příliš zřetelné a malý počet případů ztěžuje jejich hodnocení. Je však zřejmé, že naše pokusy připadly právě na období relativního snížení tělesné teploty, tj. pravděpodobně i období relativně nižší látkové výměny. Formulovali jsme si proto pracovní hypotézu, že tato relativní změna metabolismu (která je nepochybně spojena s reakcí organismu na hladovění) by měla být jednou z příčin, proč se odolnost proti hypoxii v hypoglykemickém stavu udržela v normálních mezích. Určitou úlohu tu mohou mít i jiné faktory, jako snížení specifickodynamického účinku potravy apod.

Souhrn

Zjišťovali jsme změny odolnosti v hypoxii při dýchání v uzavřeném okruhu během pětidenního úplného hladovění u osmi mladých zdravých mužů ve věku 18—27 let, ve dvou skupinách: 5 osob v roce 1961 a 3 osoby v roce 1962. Mezi třetím a pátým dnem hladovění byly reakce na hypoxii labilnější.

Tabulka 5

Bazální metabolismus u pokusných osob během 5denního hladovění [bazál. metabol. /24 hod./ tělesnou vahou]

Skup.	Jméno	Kontrola	1. den	2. den	3. den	4. den	5. den
I.	P.	25,71	28,27	28,69	34,32	29,52	30,30
	Ž.	27,54	25,12	20,65	31,01	25,93	28,10
	S.	32,40	32,72	33,33	32,04	34,18	42,51
	P.	26,25	25,80	26,14	25,16	24,00	22,97
	K.	33,89	29,38	32,67	38,18	35,18	31,19
II.	Š.	23,27	27,81	27,35	29,43	30,30	28,79
	D.	22,84	21,59	23,78	20,98	25,57	22,70
	J.	23,73	19,97	24,52	21,44	23,14	24,07
Průměr:		26,95	26,33	27,14	29,07	28,47	28,82

Tabulka 6

Průměrné hodnoty tělesné teploty během hladovění (°C)

	6 hod.	14 hod.	17 hod.	21 hod.
Kontrolní den	35,4	35,9	36,08	35,7
1. den hladovění	35,3	36,0	36,1	35,6
2. den hladovění	35,5	36,0	36,1	35,6
3. den hladovění	35,5	35,5	35,6	35,3
4. den hladovění	35,1	35,6	35,7	35,8
5. den hladovění	35,6	35,4*	35,6	35,3

* Měření provedeno pouze u 5 osob.

Celkově se odolnost téměř nezměnila. V první skupině došlo k malému zlepšení odolnosti, což přičítáme vlivu nácviку. Předpokládáme, že se očekávaný pokles odolnosti proti nedostatku kyslíku neobjevil, protože v důsledku hladovění došlo ke změně denního rytmu tělesné teploty a k jejímu relativnímu snížení (a tedy pravděpodobně i k poklesu látkové výměny) v době, kdy jsme dělali hypoxický test.

Резюме

Авторы определяли изменения сопротивляемости организма в условиях гипоксии при дыхании в замкнутой системе на протяжении пятидневного полного голодания у 8 молодых здоровых мужчин в возрасте 18-27 лет, разделенных на две группы: 5 лиц было обследовано в 1961, а трое — в 1962 году. Более лабильной реакция на гипоксию наблюдалась между третьим и пятым днем голодания. В общем сопротивляемость почти не изменилась. В первой группе наблюдалось незначительное повышение сопротивляемости; авторы приписывали это тренировке. Авторы считают, что понижение сопротивляемости, которое, как они предполагали, должно было наступить от недостатка кислорода, не наблюдалось потому, что в результате голодания менялся дневной ритм колебаний температуры тела и ее относительное понижение (в связи с чем, оче-

видно, наступало понижение и обмена веществ) в период осуществления гипоксической пробы.

Summary

The changes in tolerance to hypoxia produced by breathing in a closed circuit were studied in 8 young healthy men aged from 18 to 27 years during five days of complete fasting. Two groups were investigated, five subjects in 1961 and three subjects in 1962. The reactions to hypoxia were more labile between the third and fifth day, on the whole, the tolerance remained almost unchanged. In the first group a small increase in tolerance occurred, which is explained by the effect of training. It is supposed that the expected decrease in tolerance to lack of oxygen did not occur because the starvation caused a change in the daily rhythm of the body temperature and its relative decrease (and probably also a lowered metabolic rate) during the time the testing for hypoxia was carried out.

Pisemnictví

Hartman H., Noltenius F.: Über die körperliche Leistungsfähigkeit und Höhenfestigkeit im Hungerzustand. *Luftfahrtmedizin*, —, —, 44—48, 1936—37.

Kartaševskij E. A.: O vlijaniji nedostatka kisloroda na obmen veščestv i teploproizvodstvo v živom organizme. SPB, VMA, 1908.

Pipal M.: Vliv několikedenního hladovění na výkonost člověka — v tisku.