

FIZIČKO OPTEREĆENJE I BRONHIJALNA HIPERREAKTIVNOST RADNIKA U PROIZVODNJI ALUMINIJA

D. Čala¹, M. Šarić² i J. Godnić-Cvar²

*Medicinski centar, Šibenik¹ i Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb²*

Primljeno 22. III. 1990.

Utjecaj fizičkog opterećenja na stupanj bronhijalne hiperreaktivnosti uz istodobnu izloženost respiratornim nadražljivcima iz radne atmosfere ispitan je u tvornici aluminijske, u stvarnim uvjetima rada u pogonu elektrolize, na dvije skupine radnika: skupini s respiratornim simptomima ($n=34$) i kontrolnoj skupini, bez simptoma ($n=19$). Skupine su se podudarale u godinama radnog staža i starosti te u tjelesnoj visini i težini. Primijenjen je progresivni submaksimalni test opterećenja s 300–600–900 kpm/min s pomoću biciklergometra uz kontinuirano praćenje rada srca i mjerenje pulsa i tlaka. Plućni parametri (FVK, FEV₁, PEF, MEF₂₅, MEF₅₀, MEF₇₅ i omjer FEV₁/FVK%) mjereni su prije testa opterećenja i u zadnjem trenutku nakon završetka testa opterećenja, uz snimanje EKG i mjerenje tlaka nakon isteka 18 minuta. Dobiveni rezultati pokazali su da fizičko opterećenje uz izloženost respiratornim nadražljivcima nije povećalo bronhijalnu hiperreaktivnost skupine sa simptomima, kao ni kontrolne skupine radnika. Unutar uspoređenih skupina radnika zabilježene su, međutim, dosta izražene individualne razlike u reakciji na test opterećenja.

Nastanak bronhokonstrikcije uslijed fizičkog napora interesantan je i još uvijek djelomično nerazjašnjen fenomen. Postoji naime niz faktora koji dovode do razvoja bronhokonstrikcije. Ispitivanja u laboratorijskim uvjetima nisu ih mogla sve obuhvatiti (1, 2). Ovo istraživanje provedeno je u stvarnim uvjetima elektrolitske ekstrakcije aluminijske. Cilj je bio ispitati da li fizičko opterećenje, uz izloženost plinovitim nadražljivcima respiratornog trakta (fluorovodiku, česticama fluorida), utječe na razvoj hiperreaktivnosti bronha u radnika (3, 4).

ISPITANICI I METODA

Ispitivanja su vršena u tvornici aluminijske, u pogonu elektrolize, u uvjetima neposredne izloženosti radnim iritansima: fluorovodiku, sumpornom dioksidu,

fluoridima u česticama tijekom sve tri smjene, od 6 do 24 sata, svaki dan od utorka do petka. Temperatura zraka bila je noću do 16 °C, a danju od 18 do 20 °C. Relativna vlaga bila je oko 31%, a prosječna koncentracija ukupnih fluorida mjerena na više od 20 mjesta iznosila je 1,008 mg/m³ (6, 7). Koncentracije SO₂ bile su od 0,08 do najviše 4,0 mg/m³.

Iz skupine od 240 radnika, muškaraca, izdvojili smo dvije: skupinu sa simptomima i kontrolnu skupinu. Prvu su činila 34 radnika sa simptomima respiratorne bronhospastične bolesti u smislu dispneje i dužih ataka nedostatka zraka od kojih je nekolicina imala i dokazanu hiperreaktivnost bronha (3, 4, 5). Kontrolna skupina izabrana metodom slučajnog izbora sastojala se od 19 radnika koji nisu imali smetnje u smislu dispneje pri istovrsnoj ekspoziciji. Radnici obih skupina bili su slične životne dobi i dužine radnog staža u elektrolizi. Prosječna visina radnika u skupini sa simptomima bila je 178 cm, u kontrolnoj skupini 177 cm, dok je prosječna težina u skupini sa simptomima bila 80 kg, a u kontrolnoj skupini 77 kg. Ispitanici su anketirani upitnikom o kardiorespiratornim simptomima (5), alergiji i navici pušenja. Navika pušenja kategorizirana je s obzirom na indeks – broj cigareta na dan pomnožen s brojem godina pušenja prema *Brinkmanu i Coatesu* (8). Izmjerena je visina i težina ispitanika, učinjen klinički pregled srca i pluća, izmjeren krvni tlak i puls, snimljen EKG na trokanalnom EKG aparatu 300 T, Helige EI-Niš. Prema kriteriju Svjetske zdravstvene organizacije (za 90% maksimalne frekvencije srca) očitana je maksimalno dopuštena frekvencija srca pri fizičkom naporu u odnosu na dob. Spirometrijsko testiranje vršeno je aparatom »Pneumoscreen« tvrtke Jaeger. Na bazi triju forsiranih ekspiograma uzeta je u obzir najbolja vrijednost svake varijable: forsirani vitalni kapacitet (FVK), forsirani ekspiracijski volumen u prvoj sekundi (FEV₁), maksimalni ekspiracijski protok (PEF) te protok kod izdahnutih 25% vitalnog kapaciteta (MEP_{50%}, MEP_{75%}) i odnos forsiranog ekspiracijskog volumena u prvoj sekundi i forsiranog vitalnog kapaciteta izražen u postocima – Tiffeneauov indeks, FEV₁/FVK% (9, 10). Za svaku varijablu je izračunan postotak od očekivanih vrijednosti prema nomogramima *Morrisa i suradnika*. Ispitanici su zatim testirani na biciklergometru SB-300, Spremo i Barač, uz konstantno praćenje akcije srca tokom izvođenja testa monitorom Servocard SG 100 T, EI-Niš. Primijenjen je progresivni submaksimalni test opterećenja od 300–600–900 kpm/min (50–150 WAT/min), jer je lako izvodljiv, siguran je i daje zadovoljavajuće informacije (11). Testiranje je na svakom stupnju opterećenja trajalo do postizanja nivoa ravnoteže (»steady-state«) fizičke aktivnosti na kojem stupnju potrošnja kisika odgovara potrebama tkiva, a srčana frekvencija i plućna ventilacija su stabilizirane (šest minuta uz 60 okretaja na biciklu u minuti). Puls je mjeran s pomoću zapornog sata u zadnjoj trećini tekuće minute opterećenja stetoskopom nad iktusom. Mjerilo se vrijeme potrebno za 30 otkucaja, a iz tablica se očitavala frekvencija, prema metodi po *Astrandu i Rodablu* (13). Nakon što je postignuta ravnoteža opterećenje je povećano za još jedan nivo. Test je trajao ukupno 18 minuta i odmah nakon završetka testa opterećenja ispitanik je silazio s biciklergometra i izvodio jedan forsirani ekspiogram, zatim mu je snimljen EKG i izmjeren krvni tlak i puls; sve je to učinjeno unutar vremena od pet minuta.

Za statističku obradu rezultata upotrijebljene su statističke metode izračunavanja aritmetičke sredine, standardne devijacije, standardne greške te analiza varijance i χ^2 -test (12). Kako su se uspoređivali rezultati mjerenja kod istih osoba prije i nakon opterećenja, upotrijebili smo u obradi podataka metodu razlika. Statistički značajnom smatrala se razlika između skupina na razini $P < 0,05$.

REZULTATI

Simptome kroničnog bronhitisa nije imao nitko od kontrolnih ispitanika, a u skupini sa simptomima 20 radnika (58,8%) imalo je kronični bronhitis. Razlika među skupinama s obzirom na ovu bolest statistički je značajna. Na tablici 1. vidi se da postoji

Tablica 1.

Navika pušenja u radnika iz elektrolize aluminija

Skupina	n	Nepušači	Pušači			
			Bivši	Laki*	Srednji**	Teški***
Sa simptomima	34	26,5% (9)	0	53,0% (18)	20,5% (7)	0
Kontrolna	19	79,0% (15)	0	10,5% (2)	10,5% (2)	0

* do 200 cigareta godišnje; ** 200 do 600 cigareta godišnje; *** više od 600 cigareta godišnje

značajna razlika između skupina u odnosu na naviku pušenja. EKG nalazi u obje skupine bili su u granicama normale u 73% ispitanika, a u 27% slučajeva (devet ispitanika u skupini sa simptomima i pet kontrolnih ispitanika) odstupali su od normale u smislu hipertrofije lijeve klijetke. Krvni tlak u obje skupine ispitanika pokazao je blagu tendenciju hipotonije, osobito prije opterećenja i kretao se u granici normale i prije i nakon opterećenja. Prosječna vrijednost tlaka u skupini sa simptomima prije opterećenja bila je 18/11,5 kPa, nakon opterećenja 19,2/11,8 kPa, a u kontrolnoj skupini 17/11 kPa, odnosno 18,5/11,5 kPa. Puls koji smo na svakom nivou opterećenja mjerili u zadnjoj trećini minute (po pet minuta na svakom nivou) bio je u svih ispitanika obiju skupina ispod maksimalno dopuštenog (predviđenog pulsa). Prosječna vrijednost pulsa u skupini sa simptomima prije opterećenja bila je 78/min, nakon opterećenja 143/min, dok su kontrolne vrijednosti bile 76/min, odnosno 147/min. U šest ispitanika u skupini sa simptomima test opterećenja bio je prekinut na drugom stupnju opterećenja zbog subjektivnih smetnji (boli u rukama i nogama, pritisak u prsima), a u jednog radnika, iako je izveo test do kraja, pojavila se tetanija zbog hiperventilacije. U kontrolnoj skupini u jednog ispitanika test je prekinut na trećem stupnju opterećenja, zbog profuznog znojenja i boli u nogama. Srednje apsolutne vrijednosti mjernih indeksa plućne funkcije prikazane su na tablici 2, a kao postotak od očekivanih vrijednosti na tablici 3. Vidi se da je u skupini sa simptomima već u mirovanju izražena tendencija nižih plućnih volumena, odnosno svi ispitanici osim dva

Tablica 2.

Srednje vrijednosti ventilacijskih funkcija pluća radnika u elektrolizi

Parametri	Kontrolna skupina (n=19)		Skupina sa simptomima (n=34)		Ocjena statističke značajnosti nakon opterećenja	
	Prije opterećenja $\bar{X} \pm SD$	Nakon opterećenja $\bar{X} \pm SD$	Prije opterećenja $\bar{X} \pm SD$	Nakon opterećenja $\bar{X} \pm SD$	Kontrolna skupina $t \leq 2,10$	Skupina sa simptomima $t \leq 2,04$
FVK	4,31 ± 1,16	4,20 ± 1,04	3,70 ± 0,85	3,72 ± 0,78	-0,87227	0,5655
FEV ₁	3,75 ± 0,80	3,76 ± 0,96	3,20 ± 0,68	3,34 ± 0,72	0,1136	1,797
PEF	8,65 ± 2,77	9,04 ± 2,67	7,84 ± 2,07	7,73 ± 2,15*	1,53	-3,750
MEP ₂₅	2,96 ± 0,80	2,97 ± 1,03	2,56 ± 1,02	2,70 ± 1,01	0,062	0,089
MEP ₅₀	5,45 ± 1,45	5,87 ± 1,52	4,60 ± 1,38	4,84 ± 1,59*	0,32	1,32
MEP ₇₅	7,54 ± 1,99	7,67 ± 2,19	6,89 ± 2,00	6,94 ± 2,29	0,71	0,1
FEV ₁ /FVK%	88 ± 8	91 ± 5	87 ± 10	89 ± 8	1,91	1,014

* Statistički značajna razlika na razini $P \leq 0,05$

$t \leq 2,04$ (95%) vjerojatnosti proizlazi da opterećenje ne utječe na mjerenu karakteristiku

$t \leq 2,10$ (95%) vjerojatnosti proizlazi da opterećenje ne utječe na mjerenu karakteristiku

imali su opstruktivno-restruktivne smetnje blažeg do srednjeg stupnja. Nakon opterećenja svi plućni volumeni u toj skupini također su bili niži od onih u kontrolnoj i gotovo se nisu mijenjali u odnosu na vrijednosti prije opterećenja. U kontrolnoj skupini sve vrijednosti plućnih funkcija i prije i nakon opterećenja (tablice 2. i 3) bile su više od vrijednosti za iste plućne funkcije u skupini sa simptomima. Usporedba vrijednosti prije i nakon opterećenja pokazuje da pod utjecajem fizičkog opterećenja dolazi do

Tablica 3.

Vrijednosti ventilacijskih funkcija pluća u uspoređenim skupinama radnika izražene kao postotak predviđenih vrijednosti

Parametri	Kontrolna skupina (n=19)		Skupina sa simptomima (n=34)	
	Prije opterećenja	Nakon opterećenja	Prije opterećenja	Nakon opterećenja
FVK	75	73	64	65
FEV ₁	85	85	73	75
PEF	92	96	83	85
MEP ₂₅	98	97	85	90
MEP ₅₀	93	100	78	81
MEP ₇₅	93	97	84	85
FEV ₁ /FVK%	88	90	87	89

minimalnog povećanja vrijednosti mjerenih plućnih funkcija. Nešto značajnija razlika javlja se kod PEF-a i MEP-a 50%, FEV₁ i FVK ne pokazuju razlike između skupina, odnosno veliki dišni putovi nisu oštećeni iritansima radne atmosfere. Srednje vrijednosti mjerenih varijabli bitno se ne razlikuju pa na osnovi provedenog ispitivanja testom fizičkog opterećenja proizlazi da fizičko opterećenje nema bitnog utjecaja na jače izražavanje simptoma bronhijalne hiperreaktivnosti.

RASPRAVA

Način nastanka dispnoičnih simptoma praćenih povećanom bronhijalnom reaktivnošću u jednog dijela radnika izloženih respiratornim nadražljivcima i razvoja bronhokonstrikcije nakon fizičkog napora još uvijek nisu sasvim razjašnjeni. Mehanizam bronhokonstriktivnog odgovora na fizičko opterećenje predmetom je istraživanja više autora. Prema nekim tumačenjima, pod utjecajem fizičkog napora povećava se ventilacija pa bi tako nastala hiperventilacija s hipokapnijom (14) mogla dovesti do bronhokonstrikcije ili se razvija metabolična acidoza (15), ili gubitak vode i topline iz dišnih putova (16). Svaki od tih faktora može dovesti do oslobađanja bronhokonstriktivnih supstancija iz mastocita, uz istodobnu pojačanu aktivnost simpatikusa koja se suprotstavlja djelovanju tih medijatora izazivajući bronhodilataciju. Bronhokonstriktivni transmitteri se relativno brzo razgrade, pa ako fizičko opterećenje traje duže od 15 minuta, može doći samo do minimalnog sužavanja dišnih putova, ili prevage utjecaja simpatikusa i bronhodilatacije (17). Irnell i Svarting su 1966. godine postigli bronhokonstrikciju kod ispitanika vožnjom na biciklergometru upotrijebivši progresivni test opterećenja tijekom 18 minuta s posljednjim opterećenjem od 900 kpm/min, kao ekvivalent potrošnje kisika od 2,1 L/min. Novija istraživanja govore da su za razvoj bronhokonstrikcije najvažnije temperatura, vlažnost zraka i hiperventilacija (18–20). Stupanj opstrukcije je u direktnom odnosu s ukupnom količinom izgubljene topline i stupnjem hlađenja koje se razvija (21, 22). Jedna od vjerojatnih pretpostavki koje bi razjašnjavale dispnoične tegobe u nekolicine radnika je i oštećenje epitela dišnih putova iritansima radne atmosfere te nastanka inducirane hiperreaktivnosti bronha i eventualne senzibilizacije (23).

Rezultati naših ispitivanja istodobnog djelovanja fizičkog opterećenja i izloženosti respiratornim nadražljivcima na veličinu mjerenih plućnih parametara nisu pokazali značajnijih razlika između uspoređenih skupina radnika. Dobiveni rezultati idu u prilog saznanja da fizičko opterećenje biciklergometrom nije dovoljno uspješna metoda za izazivanje bronhokonstrikcije (24, 25), odnosno da bronhokonstrikcija ne mora biti uvijek prisutna kod osoba s kroničnim bronhitisom (26). Ipak, statistički značajna povezanost pada ventilacijskih volumena pluća nakon višegodišnje ekspozicije iritansima u radnoj atmosferi u skupini radnika koji su pokazali preosjetljivost u mirovanju, kao i nakon fizičkog opterećenja, govori o povezanosti ekspozicije iritansima i induciranja bronhijalne hiperreaktivnosti. Vodeći računa o tome da su oko 10% zdrave populacije latentni hiperreaktori, opravdano je u uvjetima ovakve ekspozicije provoditi prethodne preglede prije zaposlenja, kao i periodično (jedanput godišnje)

ispitivanjem plućnih volumena – mjerenjem krivulje protok-volumen, kao i metodom nespecifične bronhoprovokacije (27, 28). Rezultati provedenog ispitivanja testom fizičkog opterećenja pokazuju u skupini sa simptomima značajno niže vrijednosti za FVK i FEV₁ (kao i PEP i MEP_{50%}) za 20% i više i prije i nakon izvođenja testa opterećenja, ukazujući na to da su se u tih radnika razvile trajne opstruktivno-restriktivne smetnje te da je njihova radna sposobnost za maksimalne fizičke napore smanjena. U skupini bez simptoma postoje također, iako nešto manjeg stupnja, opstruktivno-restriktivne smetnje koje govore o štetnom utjecaju višegodišnje izloženosti iritansima u radnoj atmosferi u pogonu elektrolize i također o smanjenoj radnoj sposobnosti za maksimalne fizičke napore. Moguće je da radnici ne pokazuju veće subjektivne smetnje upravo zato što njihov posao u pogonu elektrolize nije težak fizički rad već srednje težak, i to samo povremeno, kraće vrijeme u toku jedne radne smjene.

ZAKLJUČAK

U uvjetima istodobne izloženosti respiratornim nadražljivcima i provociranom fizičkom opterećenju na radnom mjestu nije se pokazala razlika u ventilacijskim volumenima pluća između skupine sa simptomima tipa bronhijalne astme i kontrolne skupine radnika bez respiratornih simptoma. Vrijednosti ventilacijskih plućnih volumena prije i nakon opterećenja u skupini s respiratornim simptomima bile su nešto niže nego u kontrolnoj skupini. Na rezultate su dijelom mogli utjecati uvjeti u kojima su mjerenja vršena (temperatura, vlaga) te trenutak kada su mjereni plućni volumeni. Kako je eksperiment izveden u samom pogonu elektrolize, nisu mogli biti kontrolirani svi ostali uvjeti i utjecaji tijekom izvođenja testa.

LITERATURA

1. Andersin SD. Current concepts of exercise-induced asthma. *Allergy* 1983;38:289 – 302.
2. Boushey HA, Holzman MJ, Sheller JR, Nadel JA. Bronchial hyperreactivity. *Am Rev Respir Dis* 1980;121:389 – 413.
3. Šarić M, Žuškin E, Gomzi M. Bronchoconstriction in potroom workers. *Br J Ind Med* 1979;36:211 – 5.
4. Šarić M, Gomzi M, Hrustić O, Pauković R, Rudan P. Respiratory impairment in the electrolytic extraction of aluminium. *Int Arch Occup Environ Health* 1979;42:217 – 21.
5. Medical Research Council Committee on the Aetiology of Chronic Bronchitis. Standardised questionnaire of respiratory symptoms. *Br Med J* 1960;2:1665 – 7.
6. Kalinić N, Skender Lj. Ocjena izloženosti fluoridima u radnoj okolini. *Arh hig rada toksikol* 1986;37:375 – 84.
7. Šega K, Kalinić N. Lebdeće čestice i kruti fluoridi u zraku pogona elektrolize ljevaonice tvornice aluminija Šibenik. *Arh hig rada toksikol* 1986;37:385 – 92.
8. Brinkman GL, Coates EO Jr. The effect of bronchitis, smoking and occupation on ventilation. *Am Rev Respir Dis* 1963;87:684 – 93.
9. Žuškin E, Pavičić F, Kanceljak B. Izbor spirometrijskih testova za procjenu ventilacijske funkcije pluća. *Arh hig rada toksikol* 1984;35:31 – 42.

10. *Pavičić F.* Značenje određivanja plućnih volumena i protoka u procjeni ventilacijske funkcije pluća. Arh hig rada toksikol 1984;35:43 – 50.
11. *Žuškin E, Šarić M.* Ispitivanje ventilacijske funkcije pluća i procjena funkcionalne sposobnosti. Ergonomija 1980;3:5 – 19.
12. *Petz B.* Osnovne statističke metode za nematematičare. 2. izd. Zagreb: Sveučilišna naklada Liber, 1985.
13. *Astrand PO, Rodahl K.* Textbook of work physiology. New York: McGraw Hill Book Co, 1970.
14. *Rebuck AS, Read J.* Exercise-induced asthma. Lancet 1968;2:429 – 31.
15. *Seaton A, Davis G, Gaziano D, Huges RO.* Exercise-induced asthma. Br Med J 1969;3:556 – 8.
16. *Deal EC Jr, McFadden ER Jr, Ingram RH Jr, Jaeger JJ.* Hyperpnea and heat flux. The initial reaction sequence in exercise-induced asthma. J Appl Physiol 1979;46:476 – 83.
17. *Godfrey S.* Exercise-induced asthma. J Allergy 1970;33:228 – 31.
18. *Chen WY, Horton DJ.* Heat and water loss from the airways and exercise-induced asthma. Respiration 1979;34:305 – 13.
19. *Godfrey S.* Controversies in the pathogenesis of exercise-induced asthma. Eur J Respir Dis 1986;68:81 – 8.
20. *Suzuki S, Chanon T, Sasaki H, Takishima T.* Time-course of response in exercise-induced bronchoconstriction. Ann Allergy 1984;53:341 – 5.
21. *Strauss RH, McFadden ER Jr, Ingram RH Jr, Jaeger JJ.* Enhancement of exercise-induced asthma by cold air breathing. N Engl J Med 1977;297:743 – 7.
22. *Deal EC Jr, McFadden ER Jr, Ingram RH Jr, Breslin FJ, Jaeger JJ.* Airway responsiveness to cold air and hyperpnea in normal subjects and in those with hay fever and asthma. Am Rev Respir Dis 1980;121:621 – 8.
23. *Godnić-Cvar J.* Reaktivnost bronha u radnika iz elektrolize aluminija Alu-Swiss tehnologije. Arh hig rada toksikol 1986;37:311 – 7.
24. *Anderson SD, Conclly NM, Godfrey S.* Comparison of bronchoconstriction induced by cycling and running. Thorax 1977;26:396 – 401.
25. *Haxhiu MA, Krasniqi A, Trpković M, Mandera I.* Uporedo proučavanje bronhokonstriktorskog dejstva inhaliranog histamina i fizičkog opterećenja. Pluć Bol Tuberkul 1984;36:34 – 9.
26. *Kanceljak-Macan B, Žuškin E, Pavičić F.* Reakcija većih i manjih dišnih putova na fizičko opterećenje u bolesnika s kroničnim bronhitisom i bronhijalnom astmom. Arh hig rada toksikol 1988;39:183 – 93.
27. *Ofner B, Marelja J.* Ispitivanje bronhijalne hiperreaktivnosti metaholinom kod radnika u pogonu elektrolize aluminija. Arh hig rada toksikol 1986;37:301 – 9.
28. *Godnić-Cvar J.* Reaktivnost bronha – metoda nespecifične bronhoprovokacije. Arh hig rada toksikol 1986;37:463 – 73.

Summary

PHYSICAL LOAD AND BRONCHIAL HYPERREACTIVITY AMONG THE ALUMINIUM ELECTROLYSIS WORKERS

A possible impact of physical load on the degree of bronchial hyperreactivity was studied in actual working conditions among the workers in an aluminium electrolysis plant. Respiratory irritants present in the working environment were also determined. The study was conducted in two groups of workers: one, of 34 workers who had been previously categorized as having

respiratory symptoms and the other, of 19 control workers without symptoms. Both groups were matched by age, height, weight and years of service in the plant.

All workers underwent a progressive submaximum exercise test of 300 – 600 – 900 kpm/min load on a bicycle ergometer. Simultaneously a continuous monitoring of heart function was performed. Heart rate, blood pressure and lung function parameters: FVC, FEV₁, PEF, MEF₂₅, MEF₅₀, MEF₇₅ and FEV₁/FVC% ratio were measured before and 18 minutes after exercise. The results of the study showed that physical load and concurrent exposure to respiratory irritants had no impact on bronchial hyperreactivity in either group of workers. However, the exercise test demonstrated the existence of appreciable individual differences within the two groups.

*Medical Centre, Šibenik¹ and Institute for Medical Research and
Occupational Health, University of Zagreb, Zagreb²*