

Kopsude mahud, õhuvool forsseeritud hingamisel, sissehingatud õhu jaotus kopsudes ning alveolaargaasi koostis istuva ja lamava kehaasendi korral

Peet-Henn Kingisepp – TÜ füsioloogia instituut

välise hingamise staatilised ja dünaamilised näitajad, õhu jaotus kopsudes, alveolaargaasi koostis, kehaasend

Kehaasendi muutused võivad mõjutada hingamisfunktsiooni erinevaid näitajaid, olles teatud tingimustes hüpokseemia põhjuseks. Töös on näidatud, et istuvast asendist lamavasse asendisse üleminek põhjustab väikeste hingamisteede funktsiooni ning kopsude ventilatsiooni ja perfusiooni suhte muutusi. Tulemused võivad olla huvipakkuvad kliinitsistidele, eeskätt anestezioloogidele.

Üleminek istuvast asendist selili lamavasse asendisse põhjustab intratorakaalse veremahu suurenemise, muudab alveolaarventilatsiooni (V_A) ja kopsude verevoolutuse ehk perfusiooni (Q) suhet ning intrapulmonaalset õhu jaotust. Neid muutusi seostatakse eeskätt raskusjõu mõjuga kopsude verevoolutusele ja intrapleuraalse rõhu väärtustele. Kehaasendi muutmine avaldab mõju ka kopsude mahtudele ja kapatsiteetidele. Üleminekul istuvast asendist selili lamavasse väheneb ekspiraatorne reservmaht (ERV) ja funktsionaalne residuaalkapatsiteet (FRC) ning suureneb inspiratoorne kapatsiteet (IC), vitaalkapatsiteet oluliselt ei muutu (1–3). Behrakis kaasautoritega (4) on näidanud, et istuvast asendist lamavasse üleminekul väheneb kopsude venitatavus (*compliance*). Seda seostatakse kopsuveresoonte verrega täitumise suurenemisega. Asendimuutus mõjutab ka sulgumismahu (*closing volume*, CV) väärtusi, see omakorda võib põhjustada V_A/Q muutuse ning olla seetõttu üheks hüpokseemia põhjuseks (5). Anesteesia lamavas asendis koos kopsude kunstliku ventilatsiooniga võib olla teguriks, mis suurendab hingamisteede sulgusest põhjustatud V_A/Q mittevastavust. Selle tõttu pakuvad lamava asendiga seotud muutused kopsude verevoolutuses, kopsu mahtudes ja gaasivahetuses erilist huvi just anestezioloogidele (6).

Käesoleva töö **eesmärgiks** seati kopsu mahtude, forsseeritud hingamise voolu-mahu lingu

näitajate, kopsusisese õhu jaotuse ja alveolaargaasi koostise muutuste uurimine seoses üleminekul istuvast asendist selili lamavasse asendisse.

Uurimismaterjal ja meetodid

Uuritavateks oli 71 noort inimest (38 naist ja 33 meest). Uuring on kooskõlas Tartu Ülikooli eetika komisjoni nõudmistega. Vaatlused tehti kahes seerias.

Esimeses seerias osales 14 meest ja 14 naist, kelle keskmine vanus, pikkus ja kaal ($x \pm SD$) oli vastavalt $19,8 \pm 1,7$ ja $19,8 \pm 1,4$ aastat; $183,3 \pm 7,2$ ja $168,6 \pm 5,5$ cm ning $73,6 \pm 6,1$ ja $57,3 \pm 5,9$ kg. Spirogramm ja forsseeritud hingamise voolu-mahu ling registreeriti spiroanalüsaatori Pneumoscreen (E. Jaeger, Saksamaa) abil ning süsinikdioksiidi ja hapniku kontsentratsioon hingamistsükli jooksul mass-spektromeetriga MX6202 (Suma, NSVL).

Spirograafilistest näitajatest võeti vaatluse alla vitaalkapatsiteet (VC), ekspiraatorne reservmaht (ERV), inspiratoorne kapatsiteet (IC) ning ekspiraatorne tippvool (PEF) ja forsseeritud ekspiraatorsed voolud, kui välja oli hingatud 50%, 75% ja 75–85% forsseeritud vitaalkapatsiteedist (FEF_{50} , FEF_{75} , FEF_{75-85}).

Süsinikdioksiidi ja hapniku kontsentratsiooni (F_{CO_2} ja F_{O_2}) mõõtmiseks hingas vaatlusalune

Tabel 1. Vitaalkapatsiteet (VC) ja selle alajaotused ning O₂ ja CO₂ osarõhud alveolaargaasis (keskmine ± standardhälve) erinevate kehaasendite korral meestel ja naistel

Välise hingamise näitajad		Mehed, n = 14 Kehaasend		Naised, n = 14 Kehaasend	
Tähistus	Ühikud	istudes	lamades	istudes	lamades
VC	l	5,86 ± 0,86	5,56 ± 0,87	3,61 ± 0,40	3,62 ± 0,31
ERV	l	2,27 ± 0,53	1,31 ± 0,54	1,47 ± 0,54	0,95 ± 0,28
IC	l	3,58 ± 0,58	4,23 ± 0,71	2,13 ± 0,35	2,71 ± 0,47
PEF	l/s	11,71 ± 2,60	10,84 ± 2,64	7,07 ± 0,64	6,52 ± 0,92
FEF	l/s	6,08 ± 1,22	5,36 ± 1,54	4,72 ± 0,68	4,28 ± 0,72
FEF ⁵⁰	l/s	3,12 ± 1,18	2,49 ± 1,05	2,51 ± 0,67	2,07 ± 0,45
FEF ⁷⁵	l/s	2,40 ± 0,92	2,03 ± 0,78	1,80 ± 0,50	1,39 ± 0,37
FEF ⁷⁵⁻⁸⁵	l/s	2,40 ± 0,92	2,03 ± 0,78	1,80 ± 0,50	1,39 ± 0,37
P _{AO2}	mm Hg	98,3 ± 6,7	96,1 ± 5,4	103,5 ± 7,1	100,1 ± 9,2
P _{ACO2}	mm Hg	39,3 ± 4,9	42,2 ± 1,8	37,7 ± 4,5	38,9 ± 3,3

Tabel 2. Vitaalkapatsiteet (VC), N₂ kontsentratsiooni muutused alveolaarplatoo ajal (ΔF_{N_2}), sulgumismaht (CV) ja suhtarv CV/VC (keskmine ± standardhälve) erinevate kehaasendite korral meestel ning naistel

Välise hingamise näitajad		Mehed, n = 19 Kehaasend		Naised, n = 24 Kehaasend	
Tähistus	Ühikud	istudes	lamades	istudes	lamades
VC	l	6,46 ± 0,73	6,19 ± 0,54	4,60 ± 0,77	4,52 ± 0,73
ΔF_{N_2}	%/l	0,79 ± 0,24	0,80 ± 0,26	0,86 ± 0,29	0,99 ± 0,38
CV	l	0,40 ± 0,24	0,45 ± 0,21	0,21 ± 0,14	0,27 ± 0,12
CV/VC	%	6,2 ± 3,60	7,3 ± 2,9	4,6 ± 3,5	5,9 ± 2,5

3 minuti jooksul rahulikult läbi huuliku, nina oli suletud näpitsaga. Analüüsiks imeti sisse- ja väljahingatavat õhku huuliku läheduses paikneva toru abil pidevalt mass-spektromeetrisse. Väljahingamise lõpule vastavad F_{CO₂} ja F_{O₂} näidud keskmistati ning nende põhjal arvutati välja CO₂ ja O₂ osarõhud alveolaargaasis (P_{ACO₂} ja P_{AO₂}). Spirogramm, forsseeritud hingamise voolu-mahu ling ning F_{CO₂} ja F_{O₂} registreeriti enne istuval, seejärel lamaval katsealusel. Asendimuutuse vahe oli vähemalt 15 minutit.

Teises katseseerias osales 19 meest ja 24 naist, kelle vanus, pikkus ja kaal (x ± SD) oli vastavalt 19,2 ± 0,7 ja 20,1 ± 0,8 aastat; 182,9 ± 6,1 ja 167,5 ± 7,1 cm ning 75,9 ± 7,4 ja 61,9 ± 6,7 kg. Katsealustel mõõdeti firma P. K. Morgan Ltd (Inglismaa) analüsaatori abil hingamisteede sulgumismaht ja sissehingatud õhu jaotus kopsudes lämmastiku üksikhingamistestil abil, mille meetodikat on varem kirjeldatud (7). Olgu siinkohal meenutuseks öeldud, et lämmastiku üksikhingamistestil ajal registreeritakse 100% hapniku ühekordsele sissehingamisele järgneva

sügava väljahingamise ajal N₂ kontsentratsiooni muutused (ΔF_{N_2}). Käesolevas töös analüüsime lämmastiku kontsentratsiooni muutusi alveolaarplatoo ajal (ΔF_{N_2}), CV ja suhtarvu CV/VC.

Hingamisnäitajad registreeriti enne istuval, selle järel lamaval katsealusel. Asendimuutuse vahe oli nagu esimeses katseseeriasi vähemalt 15 minutit.

Katseandmete statistiline töötlus tehti tarkvarapaketi Statistica abil. Mõõdetud näitajate vahelise erinevuse tõenäosust erinevates kehaasendites hinnati Studenti t-testi abil, leiti ka näitajatevahelised lineaarsed korrelatsioonikordajad, aritmeetilised keskmised ja nende standardhälbed.

Tulemused

Esimeses katseseerias mõõdetud välise hingamise näitajad, süsinikdioksiidi ja hapniku osarõhk alveolaargaasis (P_{ACO₂} ja P_{AO₂}) on toodud tabelis 1.

Kehaasendist sõltuvad erinevused ilmnesisid kõikides näitajates (p < 0,05), välja arvatud VC ja P_{AO₂}. Lamavas asendis vähenes ERV ja nii suurte kui väikeste hingamisteede õhuvoolud (PEF, FEF₅₀, FEF₇₅, FEF₇₅₋₈₅) olid väiksemad.

Sissehingatud õhu jaotust kopsudes iseloomustavad näitajad on esitatud tabelis 2.

Sulgumismahu (CV) ja CV/VC suurenemine osutus usutavalt erinevaks naistel, meestel ei olnud erinevus statistiliselt usaldusväärne.

Arutelu

Istuvast asendist lamavasse üleminekul ERV väheneb ja IC suureneb (vt tabel 1). Hingamise kesk-asendi muutuste arvestamise vajadust rõhutab Nunn (6). Ta märgib, et sageli ei osata õigesti hinnata lamavas asendis tekkivaid hingamise muutusi ja mitmed nn ebanormaalsed nähtused anesteesia ajal on seletatavad pikaajalise selili lamamisega. ERV ja FRC vähenemine on tõenäoliselt põhjustatud sellest, et lamavas asendis suruvad kõhuõõnelundid diafragma rinnaõõne poole, VC suurust need muutused aga oluliselt ei mõjuta. Forsseeritud hingamise voolu-mahu lingu näitajad on lamades väiksemad kui istudes, kusjuures voolu-mahu lingu kuju oluliselt ei muutu. Navajas jt (2) on leidnud, et hingamisteede takistus suureneb oluliselt, kui inimene läheb istuvast asendist lamavasse, mis seletab ka õhuvoolude vähenemise forsseeritud väljahingamisel. Osaliselt võib lamavas asendis tekkivat õhuvoolu vähenemist hingamisteedes põhjustada ka suurenenud verevoolutusest tingitud kopsukoe venitatavuse vähenemine.

Mis puutub istuvast asendist lamavasse asendisse ülemineku mõjusse kopsudes toimuvale gaasivahetusele, siis Craig jt (8) on seda seostanud peamiselt FRC ja sulgumismahu vahelise suhtega ning sissehingatud õhu jaotuse ja V_A/Q regionaalsete muutustega. Pistelli jt (9) ei leidnud sulgumismahu ja N_2 alveolaarplatoo tõusu olulist erinevust üleminekul istuvast asendist lamavasse. Meie andmetel on naistel alveolaarplatoo tõus järsem ja sulgumismaht suurem lamavas asendis võrreldes istuvas asendis mõõdetud samade näitajatega. Meestel nendes näitajates erinevust ei õnnestunud kindlaks teha (vt tabel 2). Lamavatel vaatlusalustel oli CV ning FEF_{75} ja FEF_{75-85} vaheline korrelatsioon negatiivne ($r = -0,57$; $r = -0,65$), mis

viitab sellele, et väiksemate õhuvoolukiirustega vaatlusalustel algab väikeste hingamisteede sulgus forsseeritud väljahingamise lõpul varem. Isikutel, kellel sissehingatava õhu jaotus oli ebahütlasem, millele viitas nende N_2 alveolaarplatoo järsem tõus, olid ka sulgumismahu väärtused suuremad (CV ja ΔF_{N_2} vaheline korrelatsioon $r = 0,75$). V_A/Q muutust istuvast asendist lamavasse üleminekul näitab kaudselt ka see, et kopsude difusioonivõime on lamavas asendis suurem kui istudes. Seda kinnitavad kirjanduse andmed (10) ja ka meie varem saadud tulemused kehaasendi mõju kohta kopsude difusioonivõimele (11). Ilmselt võib sellega osaliselt seletada ka asendimuutuse mõju alveolaargaasi koostisele. P_{ACO_2} väärtused on lamavas asendis kõrgemad nii meestel kui naistel (vt tabel 1), samas aga P_{AO_2} väärtused istuvas ja lamavas asendis ei erinenud. Seda, et ka arteriaalses veres on CO_2 osarõhk (P_{aCO_2}) lamades kõrgem kui istudes, on näidanud Lilja jt (12).

Kokkuvõte

Istuvast asendist lamavasse üleminekul muutub hingamise keskasend, seda näitab ERV vähenemine ja IC suurenemine, samal ajal vitaalkapatsiteet aga ei muutunud. Võrreldes istuva asendiga on lamades forsseeritud väljahingamise õhuvoolud väiksemad, F_{N_2} tõus alveolaarplatoo ajal suurem ja alveolaargaasi P_{CO_2} väärtused kõrgemad. Nihked kopsuimahtudes ja forsseeritud hingamisel mõõdetud õhuvooludes ning alveolaargaasi koostises viitavad väikeste hingamisteede funktsiooni ning kopsude ventilatsiooni ja perfusiooni suhte muutustele lamavas asendis võrreldes istuva asendiga.

Teadusuuringuid on toetanud Eesti Teadusfond (grant nr 3336 ja 4363).

Kirjandus

1. Agostoni E, Mead J. Statics of the respiratory system. In: Handbook of physiology. Sec.3: Respiration, vol. I. Washington, DC: Williams&Wilkins; 1964. p. 387–409.
2. Navajas D, Farri R, Rotger MM, Milic-Emil J, Sanchis J. Effect of body posture on respiratory impedance. *J Appl Physiol* 1988;64:194–8.
3. Kingisepp P-H. Comparison of closing volume and flow-volume curve parameters in adults in different body position. In: Hirvonen L, Timisjärvi J, Niiranen S, Leppäluoto J, eds. Proceedings of the XXXI International Congress of Physiological Sciences; 1989 July 9–14; Helsinki, Finland.1989. p.544.
4. Behrakis PK, Baydur A, Jaeger M, Milic-Emili J. Lung mechanics in sitting and horizontal body positions. *Chest* 1983;83:643–6.
5. Hedenstierna G, Bindslev L, Santesson J, Norlander OP. Airway closure in each lung of anesthetized human subjects. *J Appl Physiol* 1981;50:55–64.
6. Nunn JF. Applied respiratory physiology. London, Boston: Butterworths; 1977.
7. Kingisepp P-H, Kivastik J. Lämmastiku üksikhingamistesti rakendamisesest kopsude funktsionaalse seisundi hindamisel. *Eesti Arst* 1997;(5):396–400.
8. Craig DB, Wahba WM, Don HF, Couture JG, Becklake MR. "Cosing volume" and its relationship to gas exchange in seated and supine positions. *J Appl Physiol* 1971;31: 717–21.
9. Pistelli R, Fuso L, Muzzolon R, Canfora M, Ferrante E, Ciappi G. Factors affecting variations in pulmonary diffusing capacity resulting from postural changes. *Respiration* 1991;58:233–7.
10. Cotes JE, Chinn DJ, Quanjer PhH, Roca J, Yernault J-C. Standardisation of the measurement of transfer factor (diffusing capacity). *Eur Respir J* 1993;6(Suppl 16):41–53.
11. Kingisepp P-H, Pert V. Kopsude difusioonivõime määramine CO üksikhingamispeetuse meetodil. *Eesti Arst* 1998;(6):499–501.
12. Lilja B, Arborelius M, Janzon Jr L, Länsimies E, Lindell SE. The volume of trapped gas, closing volume and pulmonary gas exchange in smokers and non-smokers aged 60. *Scand J Resp Dis* 1976;Suppl 95:48–59.

Summary

Lung volumes, forced respiration flow, distribution of inspired air and alveolar gas composition in recumbent and supine positions

Vital capacity and its subdivisions, alveolar gas composition, single breath nitrogen wash-out and the forced expiratory flow-volume curves were measured in 71 young persons (mean age 19.7 years) in sitting and supine positions. A decreased expiratory reserve volume accompanied by a tendency to an increased slope of the alveolar N₂ plateau and an increased closing volume, were observed in supine position. Forced expiratory flow indices (PEF, FEF_{50%}, FEF_{75–85%}) were lower

in supine position suggesting increased respiratory resistance. Alveolar CO₂ partial pressure was higher in recumbency than in upright position. The increased slope of the alveolar N₂ plateau and changes in alveolar gas composition in recumbency are considered to indicate changes in the distribution of inspired air and in the ventilation-perfusion relationship.

phk@ut.ee