

Pagrindinio broncho bigės rankinių siūlių atsparumas slėgiui*

Romaldas Rubikas

Kauno medicinos universiteto Širdies, krūtinės ir kraujagyslių chirurgijos klinika

Raktažodžiai: pagrindinio broncho bigė, rankinė siūlė, atsparumas slėgiui.

Santrauka. Tyrimo tikslas. Ištirti pagrindinio broncho bigės rankinių siūlių atsparumą slėgiui, rasti jų silpnąsias vietas ir būdus padaryti jas atsparesnes.

Tyrimo medžiaga ir metodai. Patologijos skyriuje atrinkome ir paruošėme 16 mirusių žmonių trachėją ir abu pagrindinius bronchus, kuriuose nebuvo pataloginių pokyčių. Vieno pagrindinio broncho bigė buvo užsiūta tipiškai, o kita patobulinta ištisine dviejų krypčių 3/0 vikrilo (Vicryl) siūle. Tokiomis siūlėmis krūtinės chirurgijos skyriuje, pašalinus plautį, užsiuvama pagrindinio broncho bigė. Į trachėją įkišamas standartinis intubacinis vamzdelis, sujungtas su manometru ir balionėliu orui pūsti. Trachėja ir abu pagrindiniai bronchai panardinami į kambario temperatūros vandenį, į jų spindį lėtai pučiamas oras. Siūlių atsparumas nustatytas didinant slėgį trachėjos ir pagrindinių bronchų spindyje. Kai per siūlę pasirodo oro burbuliukų, užrašomas manometro rodomas slėgis.

Rezultatai. Tipiška rankinė pagrindinio broncho bigės siūlė atlaikė vidutiniškai $106,6 \pm 11,2$ mmHg stulp., o patobulinta – $141,8 \pm 14,2$ mmHg stulp. slėgį. Skirtumas statistškai reikšmingas, $p < 0,001$. Nustatyta tipiškos siūlės mažesnio atsparumo slėgiui priežastis. Ji panaikinta patobulinus siūlės metodiką.

Išvados. Pagrindinio broncho bigės siūlių sandarumą ir atsparumą slėgiui lemia tolygus pagrindinio broncho kremzlės ir membraninės sienos suglaudimas. Dėl didesnio atsparumo slėgiui patikimesnė patobulinta pagrindinio broncho bigės siūlė.

Išvadas

Po plaučio pašalinimo operacijos (pulmonektomijos) krūtinės chirurgams daugiausiai nerimo kelia pagrindinio broncho bigės gijimo eiga (1–3). Ją lemia daug veiksnių, tačiau už pagrindinio broncho bigės siūlės kokybę atsakingas tik operaciją atliekantis krūtinės chirurgas (4). Kol pagrindinio broncho ir aplinkiniai audiniai nesugiję, tik siūlė išlaiko pagrindinio broncho bigę sandarią. Tikėtis, jog techninį broką ištaisys siūlės uždengimas krūtinplėve, tarpuplaučio riebalais, tarpšonkauliniais raumenimis arba kitais audiniais, labai pavojinga, nes jie gali tik pagerinti pagrindinio broncho bigės gijimą (5).

Išnagrinėję ankstesnio mūsų atlikto tyrimo rezultatus, pastebėjome, jog viena sunkiausių pulmonektomijos komplikacijų – bronchopleurinė fistulė buvo dažnesnė tiems pacientams, kuriems per operaciją nepavyko iš karto nepriekaištingai užsiūti pagrindinio broncho bigės. Dėl to tekdavo papildomai užsiūti nesandarias siūlės vietas, pagrindinio broncho bigę uždengti kitais audiniais (6). Tai paskatino ne tik ieškoti galimų bronchopleurinės fistulės susiformavimo priežasčių paaiškinimo medicinos literatūroje, bet lėmė ir šio tyrimo tikslą – ištirti pagrindinio broncho bigės rankinių siūlių atsparumą slėgiui, rasti jų silpnąsias vietas ir būdus padaryti jas atsparesnes.

Tyrimo medžiaga ir metodai

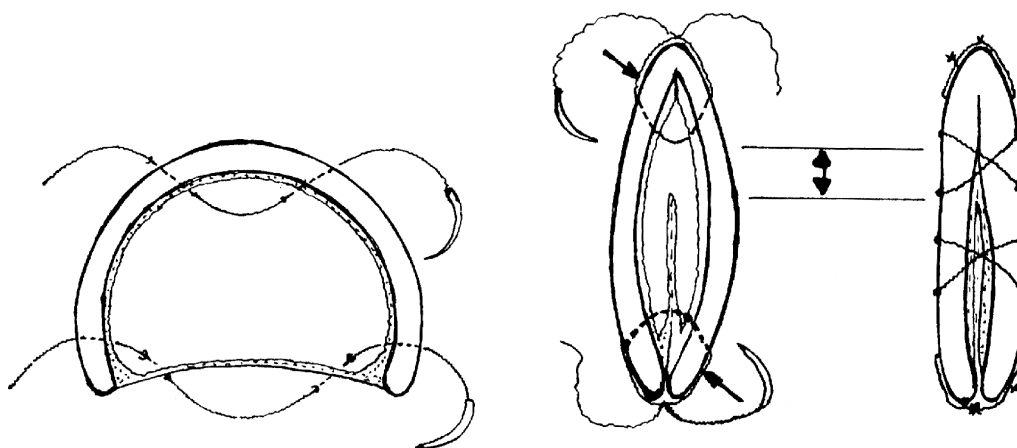
Mūsų tyrimo uždaviniams spręsti labiausiai tiko A. El-Gamel ir bendraautorų aprašytas metodas (7). Tyrimui naudojome 16, 40–65 metų, prieš 18–24 val. mirusių 11 vyrų ir 5 moterų trachėją ir abu pagrindinius bronchus, kuriuos kartu su patologu išimdavome patologoanatominio tyrimo metu. Tyrimui atrinkome tik tuos trachėjos ir pagrindinių bronchų kompleksus, kuriuose nebuvo pataloginių pokyčių. Skirtingai nei A. El-Gamel ir bendraauktoriai mes tame pačiame eksperimente naudojome ne vieną, bet abu pagrindinius bronchus. Vieną iš jų užsiūdavome A (1 pav.), kitą B (2 pav.) tipo siūle. Iš viso tiek kairysis, tiek dešinysis pagrindiniai bronchai abiejų tipų siūlėmis buvo užsiūti po 16 kartų. Tokiomis siūlėmis krūtinės chirurgijos skyriuje, pašalinus plautį, užsiuvamas pagrindinis bronchas. Naudojant abu bronchus, reikėjo mažiau tiriamosios medžiagos ir per tą patį eksperimentą galėjome tirti abiejų tipų siūlių sandarumą bei atsparumą slėgiui. Baigę eksperimentus, tiriamąją medžiagą grąžindavome į patologijos skyrių.

A – tipiška ištisine dviejų krypčių pagrindinio broncho bigės siūlė (1 pav.). Pagrindinis bronchas 7–8 mm nuo trachėjos bifurkacijos nupjaunamas statmenai jo ašiai. Du lėtai tirpstantys (Vicryl) 3/0 storio siūlai perveriami 5–6 mm nuo pagrindinio

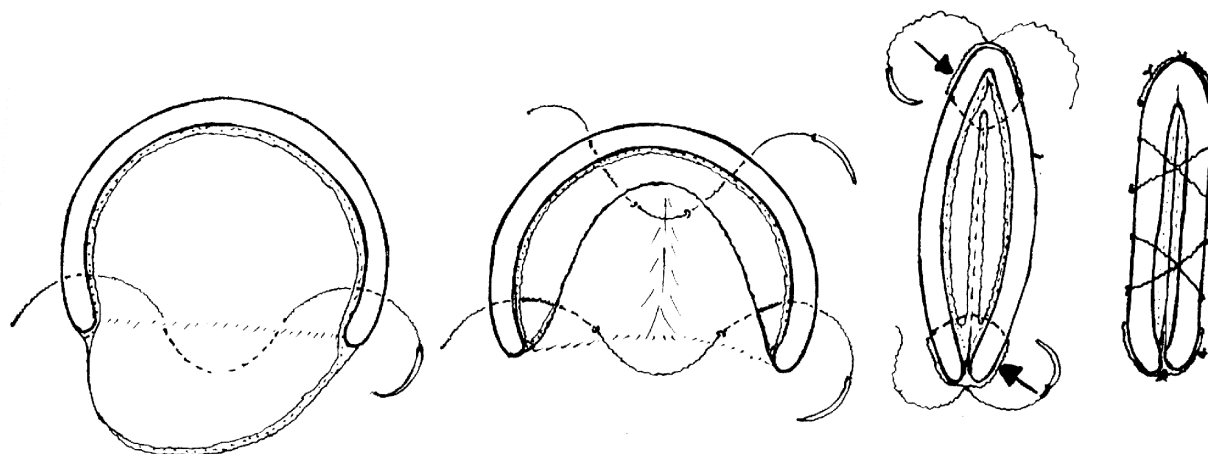
Adresas susirašinėti: R. Rubikas, KMU Širdies, krūtinės ir kraujagyslių chirurgijos klinika, Eivenių 2, 50009 Kaunas
El. paštas: romaldasr@email.lt

Correspondence to R. Rubikas, Department of Cardiac, Thoracic and Vascular Surgery, Kaunas University of Medicine, Eivenių 2, 50009 Kaunas, Lithuania. E-mail: romaldasr@email.lt

* The full-length article in English can be found at <http://medicina.kmu.lt>



1 pav. A – tipiška ištisinė dviejų krypčių pagrindinio broncho bigės siūlė



2 pav. B – modifikuota ištisinė dviejų krypčių pagrindinio broncho bigės siūlė

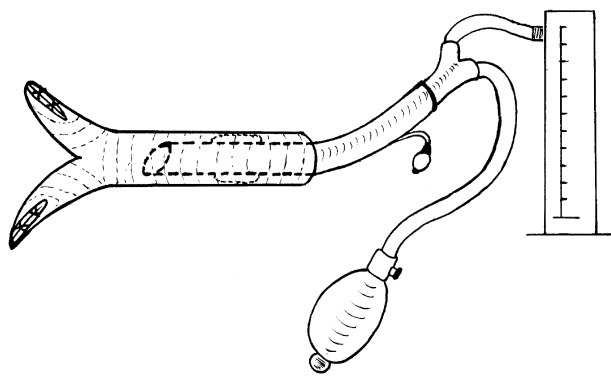
broncho bigės galo. Viršutinis siūlas perveriamas tik per kremzlinę, o apatinis – per kremzlinę ir membraninę pagrindinio broncho sienelės dalis. Abu siūlai surišami, į broncho spindį įverčiant sienelės membraninę dalį. Pagrindinio broncho bigei suteikiama ištęstos elipsės forma. Tais pačiais siūlais, bet priešingomis kryptimis, pagrindinio broncho bigę užsiuvama ištisine siūle, suteikiančia jai sandarumą. Abiejose pagrindinio broncho bigės kraštuose siūlai surišami. Naudojant šį metodą, sulenktos membraninės sienos užtenka maždaug 2/3 siūlės. Į likusią siūlės dalį (1 pav., pažymėta rodykle) patenka tik kremzlinė broncho dalis.

B – modifikuota ištisinė dviejų krypčių pagrindinio broncho bigės siūlė (2 pav.). Nupjaunant pagrindinį bronchą, paliekama tiek membraninės sienos, kad jos užtektų visai pagrindinio broncho bigės siūlei. Viršutinis siūlas perveriamas per kremzlinę sieną ir membraninės sienos galą. Apatinis siūlas perveriamas taip pat kaip pagrindinio broncho bigę

siuvant A tipo siūle. Surišus abu siūlus, membraninė ir kremzlinė sienos dalys suglaudžiamos tolygiai per visą pagrindinio broncho bigės siūlės ilgį. Toliau siuvama taip pat kaip naudojant A tipo siūle.

Užsiuvus abu pagrindinius bronchus, į trachėją įkišamas standartinis intubacinis vamzdelis ir išpučiamas jo balionėlis. Intubacinis vamzdelis sujungiamas su kraujospūdžio matuoklio manometru ir balionėliu orui pūsti. Trachėja ir abu pagrindiniai bronchai panardinami į kambario temperatūros vandenį. Lėtai pučiant orą, palaipsniui didinamas slėgis trachėjos ir pagrindinių bronchų spindyje. Per siūlę pasirodžius pirmiesiems oro burbuliukams, 5 mmHg tikslumu užrašomas manometro rodomas slėgis. Dar padidinus slėgį, tiksliai nustatoma nesandari siūlės vieta ir jos dydis (3 pav.).

Skaiciavimai atlikti naudojant statistinį paketą „Statistica 5.0“. Abiejose grupėse nustatyti didžiausias ir mažiausias slėgio dydžiai, apskaičiuoti jų vidurkiai (M) ir standartinis nuokrypis (SN).



3 pav. Pagrindinio broncho bigės siūlių atsparumo slėgiui eksperimentinių tyrimų modelis

Lyginant dydžių vidurkius, naudotas Fišerio testas. Skirtumas tarp grupių statistiškai reikšmingas, kai $p < 0,05$.

Rezultatai

Laipsniškai didinant slėgį, trachėjoje ir pagrindiniuose bronchuose oro burbuliukai visais atvejais anksčiau pasirodė per A tipo siūlę užsiūtą pagrindinio broncho bigę (lentelė). A ir B tipų siūlės atsparumo slėgiui skirtumas buvo statistiškai reikšmingas, $p < 0,001$.

Lentelė. Pagrindinio broncho bigės siūlių atsparumas slėgiui

Siūlių atsparumas slėgiui (mmHg stulpelio)	A tipo siūlė	B tipo siūlė	p
Minimalus slėgis	85	130	0,001
Maksimalus slėgis	125	160	
M±SN	106,6±11,2	141,8±14,2	

M – vidurkis

SN – standartinis nuokrypis

A tipo siūlės dalis, į kurią nepateko pagrindinio broncho membraninė siena, pasirodė mažiausiai atspari slėgiui (1 pav., pažymėta rodykle). Oras per ją pirmiausia prasiveržė 13 (iš 16) atvejų. Kitais atvejais oras pirmiausia prasiveržė per siūlais pervertas pagrindinio broncho sienelės vietas.

Vienos silpniausios B tipo siūlės nenustatėme – oras dažniausiai prasiverždavo per įvairias siūlų pervėrimo per broncho sienelę vietas. B tipo siūlė (2 pav.) silpniausioje A tipo siūlės vietoje (1 pav., pažymėta rodykle) didėjančio slėgio pirmiausia neatlaikė tik 2 (iš 16) bandymuose.

Rezultatų aptarimas

Pagrindinio broncho bigės gijimas sukėlė rūpesčių prieš 75 metus pirmąją (panašia į dabartinę metodiką) pulmonektomiją atlikusiems chirurgams. Lai-

mei, bronchopleurinė fistulė užgijo, o ilgas paciento gyvenimas po kairiojo plaučio pašalinimo įrodė, jog operacija buvo radikali (8). Norėdamas pabrėžti tai, jog pulmonektomija tebėra sunki ir rizikinga operacija, buvęs Europos krūtinės chirurgų draugijos prezidentas P. A. Fuentes krūtinės chirurgų sukaupę ir medicinos literatūroje išsamiai aprašytą patyrimą įvertino kritiškai: „...daug parašyta, mažai išmokta“ (9). Tai reikėtų suprasti, kaip kvietimą toliau gilintis į visus pulmonektomijos medicininius ir techninius aspektus, tobulinti jau esamus ir kurti naujus šios operacijos metodus.

Stambiųjų, pirmiausia pagrindinių, bronchų bigės chirurginio gydymo svarba didėjo kartu su plaučių chirurgijos plėtra. Neatsitiktinai iš visų pulmonektomijos medicininių ir techninių aspektų daugiausia dėmesio buvo skiriama būtent pagrindinio broncho bigės atspariausios slėgiui siūlės paieškai. Rankinės siūlės rezultatai netenkino krūtinės chirurgų, todėl daug tikėtasi iš gana greitai plitusių mechaninės siūlės metodų. Kai šiais metodais nepavyko išspręsti visų pagrindinių bronchų chirurginio sutvarkymo ir gijimo po operacijos problemų, išsivyravo nuosaikiai kritiškas požiūris į abu (rankinės ir mechaninės) siūlės metodus. Dėl kelių svarbių pranašumų populiariesnė, įskaitant ir mūsų kliniką, rankinė pagrindinio broncho bigės siūlė (6, 10–14). Pasirinkęs ją, krūtinės chirurgas turi daugiau, nei naudodamas mechaninės siūlės aparatą, galimybių tinkamiausioje vietoje nupjauti pagrindinį bronchą ir pagrindinio broncho bigei suteikti optimalią formą, nes nuo to taip pat gali priklausyti siūlės atsparumas slėgiui (15, 16). Prieš užsiūdamas pagrindinio broncho bigę rankine siūle, krūtinės chirurgas gali apžiūrėti broncho gleivinę. Tai labai svarbu, nes dauguma pulmonektomijų atliekama radus plaučių piktybinių navikų. Vizualus pagrindinio broncho bigės įvertinimas turi būti patvirtintas skubaus pagrindinio broncho rezekcinio krašto histologinio tyrimo rodmenimis. B tipo siūlės (2 pav.) mums teko atsisakyti, kai plaučių navikas buvo pernelyg arti pagrindinio broncho rezekcinio krašto. Be to, krūtinės chirurgas, atsižvelgdamas į objektyvius ir subjektyvius veiksnius, iš daugelio siūlomų gali pasirinkti tinkamiausią siūlės formą, adatą ir siūlą.

Daugelio pagrindinio broncho bigės užsiuvimo metodų didelė reikšmė teikiama pagrindinio broncho membraninės sienos tinkamam paruošimui ir susiuvimui karu su kremzline siūle (10, 11, 14). Mūsų klinikoje naudojama A tipo siūlė panaši į R. J. Overholto dar 1949 m. pasiūlytą, po to plačiai paplitusią pagrindinio broncho bigės rankinę siūlę. Skirtingai nei rekomendavo R. J. Overholtas, mes bronchą užsiuvame ne atskiromis, bet dviejų kryptų ištisinėmis siūlėmis. Atskira siūlė lyg žiedas cirkuliarai suspaudžia broncho audinius. Tokio trūkumo neturi spiralės formos ištisinė siūlė, todėl mažiau

sutrikdo pagrindinio broncho bigės kraujotaką. Be to, kremzlinės ir membraninės sienos dalių tolygus suglaudimas (B tipo siūlė), kaip parodė mūsų tyrimai, žymiai padidino pagrindinio broncho bigės siūlės atsparumą slėgiui.

Nėra vienodos nuomonės, koku slėgiu reikia tikrinti pagrindinio broncho bigės sandarumą. Medicinos literatūroje nurodoma, jog, stipriai kosint, slėgis apatiniuose kvėpavimo takuose gali padidėti iki 200 mmHg stulpelio (16, 17). Po pulmonektomijos pagrindinio broncho bigės siūlės sandarumas tikrinamas į kvėpavimo takus pučiamo dujų mišinio slėgį padidinus maždaug dukart, palyginus su prieš tai buvusiu, t. y. iki 30–50 cm vandens stulpelio (6, 10). Tokio slėgio nepakanka ištirti visas pagrindinio broncho bigės siūlės savybes, todėl atliekami eksperimentai. Pagrindinio broncho bigės siūlės sandarumui ir atsparumui slėgiui tirti eksperimentuose naudojami keli panašūs, tuo pačiu principu pagrįsti metodai: iš mirusio žmogaus arba stambaus gyvūno (avies, kiaulės, šuns) išimama trachėja ir abu pagrindiniai bronchai. Vienas pagrindinis bronchas užspaudžiamas spaustuku, o kitas užsiuvamas tyrimui pasirinkta siūle. Į trachėją įkišamas vamzdelis su jos spindį uždarančiu balionėliu. Vamzdelis sujungiamas su įtaisu orui įpūsti ir slėgiui matuoti. Trachėja ir abu pagrindiniai bronchai panardinami į vandenį. Manometru matuojant įpučiamo į trachėją oro slėgį, įvertinamos siūlės mechaninės savybės: sandarumas ir atsparumas slėgio pokyčiams. Šiuo metodu galima imituoti visus operacinėje atliekamus chirurginius veiksmus: paruošti tinkamo ilgio ir formos pagrindinio broncho bigę, labai tiksliai perverti siūlus. Eksperimentuojant nustatytas labai įvairus (nuo 33 iki 200 mmHg stulpelio) pagrindinio broncho bigės siūlės atsparumas slėgiui (7, 16–19). Tai galima paaiškinti metodikos savitumais ir subjektyviais veiksniais, pvz., siūlės suveržimo laips-

niu. Krūtinės chirurgai žino siūlų įtempimo, siūlės suveržimo reikšmę, nes nuo to priklauso siūlės sandarumas. Stipriai įtempus ir suveržus siūlus, galima žymiai pagerinti pagrindinio broncho bigės atsparumą slėgiui. Tačiau tai labai nutolintų eksperimento ir realios operacijos sąlygas, kai krūtinės chirurgas privalo ne tik sandariai susiūti pagrindinio broncho bigę, bet sudaryti sąlygas (nesužaloti audinių, nesutrikdyti kraujotakos) jai užgyti.

Visi tirtųjų A ir B siūlių elementai (adatos, siūlai, siūlės forma, atstumas nuo broncho galo, tarpai tarp dygsnių) ir subjektyvūs veiksniai (siūlų įtempimas ir suveržimas), kiek to buvo galima pasiekti, buvo vienodi ir tokie patys kaip realios operacijos. Nedaryta nieko, kas galėtų dirbtinai pagerinti tyrimų rezultatus. Šiame straipsnyje aprašytus tyrimus atliko krūtinės chirurgas, turintis beveik 150 pulmonektomijų patirtį. Atsparesnė slėgiui pasirodė ta siūlė (B tipo), kurią siuvant tolygiai suglaudžiamos pagrindinio broncho kremzlinė ir membraninė siena. Silpniausia A tipo siūlės vieta buvo ten, kur suglaudžiama tik kremzlinė broncho siena. Didinant slėgį, čia atsiveria siauras plyšelis, per kurį pirmiausia prasiveržia oras. Geresnės siūlės savybės gali turėti reikšmės pagrindinio broncho bigės gijimui, kai slėgis apatiniuose takuose nuolat tampa didesnis už įprastinį, pvz., stipriai kosint. Eksperimentiniai duomenys paskatino pradėti pagrindinio broncho bigės abiejų siūlių klinikinį tyrimą.

Išvados

Pagrindinio broncho bigės siūlių sandarumą ir atsparumą slėgiui lemia tolygus pagrindinio broncho kremzlinės ir membraninės sienos suglaudimas.

Patikimesnė yra modifikuota ištisinė dviejų kryptių (B tipo) pagrindinio broncho bigės siūlė, nes ji išlieka sandari esant didesniai slėgiui apatiniuose kvėpavimo takuose.

Resistance of the main bronchial stump to pressure after manual suture

Romaldas Rubikas

Department of Cardiac, Thoracic, and Vascular Surgery, Kaunas University of Medicine, Lithuania

Key words: main bronchial stump; manual suture; resistance to pressure.

Summary. Objective. To study the resistance of manual sutures used for the closure of the main bronchial stump to intraluminal inflation pressure.

Material and methods. A total of 16 human intact cadaveric tracheobronchial tree specimens were selected in the Department of Pathology. All specimens were dissected so that the intact trachea and main bronchi remained en bloc without perforation. Then they were randomized into either group A or B. Both groups consisted of 16 specimens: 8 right main bronchi and 8 left main bronchi. In the group A, the bronchial stump was closed with typical manual running suture using 3/0 Vicryl. In the group B, the bronchial stump was closed with modified manual running suture using 3/0 Vicryl. The trachea in all cases was intubated with a standard endotracheal tube followed by inflation of the cuff. The proximal end of the tube was connected to a sphygmomanometer. The specimens were submerged in water, and intraluminal pressure monitored by the mercury column gradually increased until air leakage was observed.

Results. The median leakage pressure was significantly higher in the group B as compared to the group A (142 ± 14.2 versus 106.6 ± 11.2 mm Hg, $P < 0.001$). In the group A, the weakest site of the suture was revealed.

Conclusions. Modified manual running sutures of the main bronchial stump revealed a significantly higher resistance to intraluminal inflation pressure as compared with typical manual running sutures. It may contribute to better early postoperative tolerance to abnormal pressure before sound healing of the main bronchial stump is achieved.

Literatūra

1. Al-Kattan K, Cattelan L, Goldstraw P. Bronchopleural fistula after pneumonectomy for lung cancer. *Eur J Cardiothorac Surg* 1995;9:479-82.
2. Kybartas A, Kiškis G, Žilinskas A, Janilionis R. Broncho siulės nesandarumas po pulmonektomijos. (Bronchopleural fistula after pneumonectomy.) *Medicina (Kaunas)* 2000;36:1639-43.
3. Darling GE, Abdurahman A, Yi QL, Johnston M, Waddell TK, Pierre A, et al. Risk of a right pneumonectomy: role of bronchopleural fistula. *Ann Thorac Surg* 2005;79(2):433-7.
4. Bernard A, Deschamps C, Allen MS, Miller DL, Trastek VF, Jenkins GD, et al. Pneumonectomy for malignant disease: factors affecting early morbidity. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001;121:1076-82.
5. Klepetko W, Taghavi S, Pereszlenyi A, Birsan T, Groetzner J, Kupilik N, et al. Impact of different coverage techniques on incidence of postpneumonectomy stump fistula. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999;15(6):758-63.
6. Rubikas R, Sasnauskienė R, Gradauskas P, Vilčinskas A, Jasulaitis L. Pulmonektomijos medicininiai ir techniniai ypatumai. (Pneumonectomy: medical and technical peculiarities.) *Medicina (Kaunas)* 2001;37:1238-43.
7. El-Gamel A, Tsang GMK, Watson DCT. The threshold for air leak: stapled versus sutured human bronchi, an experimental study. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999;15:7-10.
8. Brewer LA, Linda L. The first pneumonectomy. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1984;88:810-26.
9. Fuentes PA. Pneumonectomy: historical perspective and prospective insight. *Eur J Cardiothorac Surg* 2003;23(4):439-45.
10. Sarsam MAI, Moussali H. Technique of bronchial closure after pneumonectomy. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1989; 98:220-3.
11. Hubaut JJ, Baron O, Al Habash O, Despins Ph, Duveau D, Michaud JL. Closure of the bronchial stump by manual suture and incidence of bronchopleural fistula in a series of 209 pneumonectomies for lung cancer. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999;16:418-23.
12. Asamura H, Kondo H, Tsuchiya R. Management of the bronchial stump in pulmonary resections: a review of 533 consecutive recent bronchial closures. *Eur J Cardiothorac Surg* 2000;17:106-110.
13. Kesler KA, Hammoud ZT, Rieger KM, Yu M, Brown JW. Carinoplasty airway closure: a technique for right pneumonectomy. *Ann Thorac Surg* 2008;85:1178-86.
14. Kakadellis J, Karfis EA. The posterior membranous flap technique for bronchial closure after pneumonectomy. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2008;7:638-42.
15. Hollaus PH, Setinek U, Lax F, Pridun NS. Risk factors for bronchopleural fistula after pneumonectomy: stump size does matter. *Thorac Cardiovasc Surg* 2003;51(3):162-6.
16. Ludwig C, Behrend M, Hoffarth U, Schüttler W, Stoelben E. Druckresistenz einer Bronchusnaht. (Resistance to pressure of bronchial closures.) *Chirurg* 2004;75(9):896-9.
17. Ludwig C, Hoffarth U, Haberstroh J, Schüttler W, Passlick B, Stoelben E. Resistance to pressure of the stump after mechanical stapling or manual suture. An experimental study on sheep main bronchus. *Eur J Cardiothorac Surg* 2005;27(4):693-6.
18. Tezel C, Urek S, Keles M, Kiral H, Koşar A, Dudu C, et al. Detecting the limits of bronchial closure methods in an animal model. *Thorac Cardiovasc Surg* 2006;54(3):193-7.
19. Bof AM, Rapoport A, Paulo DN, Leiro LC, Gomes MR, Pando-Serrano RR. Comparative study of the resistance of manual and mechanical sutures in the bronchial stump of dogs submitted to left pneumonectomy. *J Bras Pneumol* 2007;33(2):141-7.

Straipsnis gautas 2008 09 29, priimtas 2010 05 07

Received 29 September 2008, accepted 7 May 2010