



Iatrogenic pneumothorax that occurred during interventional procedures: literature review

Kraujelytė Agnė¹

¹*Faculty of Medicine, Vilnius University, Vilnius, Lithuania*

Abstract

Background. Pneumothorax - a condition in which there is air in the pleural cavity, it can be spontaneous (primary), secondary and iatrogenic. During invasive procedures, such as lung tissue biopsy (transthoracic or transbronchial), insertion of a central venous catheter, or positive pressure ventilation, iatrogenic pneumothorax is a complication of these procedures. This literature review summarizes the pathophysiological mechanisms of iatrogenic pneumothorax, the symptoms that need to be addressed in various interventions near lung tissue, treatment options, and recommendations to reduce the incidence of iatrogenic pneumothorax and increase the safety of invasive procedures.

Aim: to review the literature on the diagnostics and treatment of iatrogenic pneumothorax.

Methods. Literature analysis was performed using keywords: iatrogenic pneumothorax, pneumothorax treatment, pneumothorax during invasive procedures. The literature review is described in evidence-based medicine, using the PubMed archive of scientific publications, with priority given to content with the highest level of evidence. The Zotero bibliography storage and management program was used to archive and manage literature sources.

Results and conclusions. Using theoretical analysis methods, 65 publications meeting the inclusion criteria were found. 36 publications were excluded because did not meet the inclusion criteria. Iatrogenic pneumothorax usually occurs (32-37% of cases) by lung tissue biopsy, insertion of a central venous catheter, during positive pressure ventilation. The risk of developing a complication is greatly increased when a postoperative central venous catheter is inserted outside of ultrasound control. The primary symptoms of iatrogenic pneumothorax are pleuritic pain, dyspnea, tachypnea, and tachycardia. Confirmation of the diagnosis is based on clinical manifestation and ultrasound examination. In the case of iatrogenic pneumothorax, treatment is preferred to visualization. Treatment options include needle insertion during thoracostomy or surgical interventions.

Keywords: iatrogenic pneumothorax, pneumothorax treatment, pneumothorax during invasive procedures.

Jatrogeninis pneumotoraksas, įvykęs intervencinių procedūrų metu: literatūros apžvalga

Agnė Kraujelytė¹

¹Medicinos fakultetas, Vilniaus universitetas, Vilnius, Lietuva

Santrauka

Įvadas. Pneumotoraksas – būklė, kai pleuros ertmėje yra oro, gali būti spontaniškas (pirminis), antrinis ir jatrogeninis. Invazinių procedūrų metu, pavyzdžiui, atliekant plaučių audinio biopsiją (transtorakalinę arba transbronchinę), įvedant centrinį veninį kateterį arba teigiamo slėgio ventiliacijos metu išskyla jatrogeninio pneumotorakso, kaip minėtų procedūrų komplikacijos, tikimybė. Ši literatūros apžvalga apibendrina jatrogeninio pneumotorakso patofiziologinius mechanizmus, simptomus, į kuriuos būtina kreipti dėmesį atliekant įvairias intervencijas netoli plaučių audinio, gydymo galimybes bei rekomendacijas, kurių laikantis siekiama sumažinti jatrogeninio pneumotorakso pasireiškimą bei didinti invazinių procedūrų saugumą.

Tikslas: atlikti literatūros apžvalgą apie pneumotorakso, sukulto jatrogeninių veiksnių, diagnostiką ir gydymą.

Metodai. Atlikta literatūros analizė, naudojant raktažodžius: jatrogeninis pneumotoraksas, pneumotorakso gydymas, pneumotoraksas invazinių procedūrų metu. Literatūros apžvalga aprašyta, remiantis įrodymais grįsta medicina, naudojant mokslinių publikacijų archyvą „PubMed“, prioritetu laikant aukščiausių įrodymų lygmenį turintį turinį. Literatūros šaltiniams archyvuoti bei tvarkyti naudota „Zotero“ bibliografijos saugojimo ir tvarkymo programa.

Rezultatai ir išvados. Taikant teorinės analizės metodus, buvo surastos 65 publikacijos, atitinkančios įtraukimo kriterijus. 36 publikacijos buvo atmestos, nes neatitiko įtraukimo kriterijų. Jatrogeninis pneumotoraksas dažniausiai įvyksta (32-37% atvejų) imant plaučių audinio biopsiją, įvedant centrinį veninį kateterį, teigiamo slėgio ventiliacijos metu. Komplikacijos išsivystymo rizika itin padidėja, kai įvedamas poraktikaulinis centrinis veninis kateteris ne ultragarso kontrolėje. Pirminiai jatrogeninio pneumotorakso simptomai yra pleuritinis skausmas, dispnėja, tachipnėja ir tachikardija. Diagnozės patvirtinimas remiasi klinikinio pasireiškimo ir ultragarsiniu tyrimu. Jatrogeninio pneumotorakso atveju pirmenybė teikiama gydymui, o ne vizualizavimui. Gydymo galimybės apima adatos įvedimą torakostomijos metu arba chirurgines intervencijas.

Raktažodžiai: jatrogeninis pneumotoraksas, pneumotorakso gydymas, pneumotoraksas invazinių procedūrų metu.

Įvadas

Jatrogeninis pneumotoraksas - būklė, netikėtai sukelta invazinių procedūrų metu, laikoma kaip tam tikrų intervencinių manipuliacijų komplikacija. Jatrogeninio pneumotorakso pasireiškimas yra tiesiogiai proporcingas atliekamam intervencinių procedūrų skaičiui (1). Įprastai nustatoma, kad hemodinamiškai nestabiliems pacientams, patyrusiems traumą ar tiems, kuriems buvo taikytas gaivinimas, dažniau atliekamos intervencinės procedūros, todėl tokiu būdu padidėja ir jatrogeninio pneumotorakso rizika. Taip pat jatrogeninio pneumotorakso tikimybė išauga, kai susiduriama su situacijomis, kai prieiga prie vidinės jungo venos yra ribota ir norima išvengti manipuliacijos su šlaunikaulio venomis (2). Intervencinių procedūrų metu reiktų atkreipti išskirtinį dėmesį į atsiradusių simptomus: pleuritinį skausmą, dispnėją, tachipnėją, sumažėjusius ar išnykusius kvėpavimo garsus. Pastebėta, kad oras pleuros ertmėje atsiranda dažniau tuomet, kai intervencinės procedūros atliekamos ne ultragarso kontrolėje bei specialistų su mažesne klinikiškai patirtimi, todėl ypatingai svarbu kalbėti apie jatrogeninio pneumotorakso riziką teikiant pagalbą ligoniams tiek aukštesnio, tiek žemesnio lygio ligoninėse.

Ši tema yra aktuali, kadangi turint omenyje galimas sunkias komplikacijas po jatrogeninio pneumotorakso išsivystymo, tokias kaip lėtinis kvėpavimo nepakankamumas, mirtis, svarbu kuo daugiau nagrinėti šią būklę, šviesti ne tik medicinos personalo darbuotojus, tiesiogiai susijusius su intervencijų metu atliekamomis manipuliacijomis, bet ir kitus ligoninės darbuotojus. Literatūros apžvalga apibendrina jatrogeninio pneumotorakso patofiziologinius mechanizmus, simptomus, į kuriuos būtina kreipti dėmesį atliekant įvairias intervencijas netoli plaučių audinio, gydymo galimybes bei rekomendacijas, kurių laikantis siekiama sumažinti jatrogeninio pneumotorakso

pasireiškimą bei didinti invazinių procedūrų saugumą.

Tikslas

Atlikti literatūros apžvalgą apie pneumotorakso, sukkelto jatrogeninių veiksmų, diagnostiką ir gydymą.

Metodika

Publikacijų analizė atlikta naudojant raktažodžius: jatrogeninis pneumotoraksas, pneumotorakso gydymas, pneumotoraksas invazinių procedūrų metu. Išanalizuoti ne senesni kaip 10 metų senumo straipsniai. Įtraukimo kriterijai: straipsniai lietuvių ir anglų kalba, straipsniai, kuriuose aprašoma jatrogeninio pneumotorakso etiologija, simptomai, gydymas. Senesnės kaip 10 metų publikacijos atmestos. Literatūros apžvalga aprašyta, remiantis įrodymais grįsta medicina, naudojant mokslinių publikacijų archyvą „PubMed“, prioritetu laikant aukščiausių įrodymų lygmenį turintį turinį. Literatūros šaltiniams archyvuoti bei tvarkyti naudota „Zotero“ bibliografijos saugojimo ir tvarkymo programa.

Rezultatai ir diskusija

Taikant teorinės analizės metodus, buvo surastos 65 publikacijos, atitinkančios įtraukimo kriterijus. 36 publikacijos buvo atmestos, nes neatitiko įtraukimo kriterijų (straipsniai buvo ne lietuvių ar anglų kalba arba senesni nei 10 metų).

Epidemiologija ir patofiziologija

Jatrogeninis pneumotoraksas dažniausiai nustatomas šiais atvejais: 32-37% atvejų imant plaučių audinio biopsiją (transtorakaliai ir transbronchaliai), įvedant centrinį veninį kateterį, teigiamo slėgio ventilacijos metu (3). Vis dėlto jatrogeninis pneumotoraksas gali išsivystyti ne tik manipuliacijų krūtinės srityje metu, bet ir pilvo (3). Yra klinikinių atvejų aprašymų apie jatrogeninio pneumotorakso pasireiškimą abipus, kai buvo neteisingai įvestas inksto stentas intubotam

pacientui, kvėpuojančiam spontaniškai (4). Kiti klinikiniai atvejai apima įvairias būkles, po kurių įvyko jatrogeninis pneumotoraksas, pavyzdžiui, po poliežuvinio nervo stimulatoriaus įvedimo ar net akupunktūros (5,6). Vis dėlto centrinio veninio kateterio įvedimas į centrinę poraktikaulinę veną išlieka viena dažniausių invazinių procedūrų, kurių metu galimas jatrogeninis pneumotoraksas (2, 5). Kitos atliekamos procedūros, kurių metu įvyksta pneumotoraksas: torakocentėzė (pasireiškimo dažnis 3-16%), tracheostomija (1%), tarpšonkaulinė nervų blokada (8,7%) (1-3,6).

Jatrogeninio pneumotorakso išsivystymo rizika itin padidėja, kai įvedamas poraktikaulinis centrinis veninis kateteris ne ultragarso kontrolėje, vadinamas „aklasis“ būdas, kai pasikliaujama tik vizualiomis anatomicinėmis paciento kūno sritimis ir žinomais punkcijos taškais (3,7). Nustatyti tam tikri techniniai faktoriai, lemiantys jatrogeninio pneumotorakso pasireišimą, kai nėra naudojama ultragarso kontrolė: neadekvatus anatomicinių taškų identifikavimas, neteisinga įvedimo pozicija, adatos įvedimas į antkaulį, adatos galo nematymas įvedimo metu, adata per daug nukreipta galvos link, negebėjimas išlaikyti adatos stabilioje pozicijoje manipuliacijos su pravedėju metu (7). Nemažiau svarbu pabrėžti, kad taikant aklą kateterizaciją, sėkmingos procedūros tikimybė priklauso nuo specialisto pajėgumo ir patirties atlikti intervenciją, todėl pastebėta, kad jatrogeninis pneumotoraksas dažniau įvyksta žemesnio lygio ligoninėse arba įstaigose, kur jaunieji specialistai tobulinasi įgūdžius (8).

Diagnostika

Įvykęs jatrogeninis pneumotoraksas gali būti tiek besimptomės, tiek gyvybei grėšiančios apraiškos. Simptomų pasireišimas priklauso nuo pneumotorakso dydžio, plitimo greičio bei pažeisto plaučio būklės. Intervencinių procedūrų metu reiktų

atkreipti išskirtinį dėmesį į paciento išsakomus skundus: pleuritinį skausmą (pasireiškia 88,1% atvejų), dispnėją (92%) (9). Nemažiau svarbu atsižvelgti į objektyvius požymius: tachipnėją (98,8%), tachikardiją (97,7%), hipoksiją, hipotenziją, sumažėjusius ar išnykusius kvėpavimo garsus. Svarbu paminėti, kad bet koks pneumotoraksas gali virsti į įtampos pneumotoraksą (9,10).

Jatrogeninis pneumotoraksas gali būti diagnozuojamas kliniškai, vertinant anksčiau minėtus simptomus (3,7). Taip pat galimas jatrogeninio pneumotorakso diagnozavimas ultragarsu, kuris yra greitas, paprastas, labai jautrus ir specifiškas. Naudojant ultragarso kaip diagnostinę priemonę bei įtariant jatrogeninį pneumotoraksą, svarbu kreipti dėmesį į pleuros paslankumo nebuvimą. Tokiu būdu ieškoma „taško ženklų“ (*angl. point sign*), kai stebima slenkanti pleura greta neslenkančios pleuros (9). Trūkstant pakankamai diagnostinių įrodymų apie įvykusį jatrogeninį pneumotoraksą, kaip alternatyva galima vertikali krūtinės ląstos rentgenografija, kurios jautrumas siekia 83% (7, 9). 2,5 cm oro erdvės radiografiniai radiniai prilygsta 30% pneumotoraksui (11). Krūtinės ląstos kompiuterinė tomografija yra jautresnis diagnostinis metodas nei krūtinės rentgenografija, tačiau jos atlikimas užima daug laiko, kuris ypač svarbus gelbstint pacientą, patyrusį jatrogeninį pneumotoraksą (9).

Nors jatrogeninio pneumotorakso diagnozei patvirtinti pakanka intervencinės procedūros atlikimo fakto bei būdingos simptomatikos pasireišimo, vis dėlto nepraeinant pleuritiniam skausmui, jei buvo atliktos pneumotorakso gydymo metodikos, svarbu pagalvoti apie galimas kitas būkles, su kuriomis reikėtų diferencijuoti jatrogeninį pneumotoraksą: miokardo infarktas, miokardo išemija, plaučių embolija, perikarditas, pleuritas, pneumonija (3, 11).

Gydymas

Patvirtinus jatrogeninio pneumotorakso diagnozę, pirmiausiai turi būti nustatyta, ar pacientas yra stabilus ar nestabilus. Kitas svarbus žingsnis – užtikrinti adekvatų deguonies tiekimą (12). Jeigu įvykęs jatrogeninis pneumotoraksas yra labai mažas arba mažas, pacientui galimai turėtų užtekti tik stebėjimo, netaikant kitų gydymo metodų, tokių kaip adatos aspiracija, krūtininis drenažas, krūtinės chirurginė intervencija vaizdo pagalba (VATS) arba atvira chirurginė intervencija (13,14). Svarbu suvokti, kad svarbiau yra gydyti įvykusį pneumotoraksą, o ne jį vizualizuoti. Jeigu nustatoma, kad pacientas yra nestabilus, pirmas gydymo žingsnis turėtų būti aspiracija adata arba drenažas tam, kad oras pleuroje būtų sumažintas kuo daugiau. Kaip laikina pagalbos priemonė gali būti didelio spindžio adatos įvedimas į antrą tarpšonkaulinį tarpą ties vidurine raktikaulio linija (15,16).

Dekompresija adata yra pirmas gydymo pasirinkimo metodas, leidžiantis sunormalizuoti slėgį plaučiuose, pašalinti orą iš pleuros ertmės ir pagerinti širdies veiklą. Kolorimetrinė kapnografija, nustatanti anglies dvideginį, esantį pleuros erdvėje, dažnai naudojamas bei paprastas testas, siekiant įvertinti veiksmingą adatos dekompresiją (17,18). Rekomenduojama naudoti 10 dydžio, 3,25 colių adatą ar kateterį (19). Krūtininis drenažas kaip alternatyva aspiracijai adata yra būdas, užtikrinantis oro pašalinimą iš pleuros ertmės, tokiu būdu išplečiamas plaučių subliuškęs audinys bei atkuriamas neigiamas slėgis krūtinės ertmėje. Stabiliems pacientams rekomenduojama naudoti mažesnio diametro drenus (<14F), sukelti mažiau skausmo drenažo metu. Nepastebėta didelių skirtumų tarp dreno diametro, vertinant drenažo sėkmės dažnį ar trukmę (20). Tam, kad būtų

adekvačiai užtikrinta paciento hemodinamika bei kvėpavimo funkcija, turi būti kreipiamas didelis dėmesys dreno, kuris įvedamas į krūtinės ertmę, naudojimui ir priežiūrai galimybėms. Krūtininis drenažas gali būti atliekamas rutiniškai palatos arba intensyviosios terapijos skyriaus ribose, tačiau ypatingai ūmiais atvejais procedūra gali būti atliekama priėmimo skyriuje (21).

Svarbu pabrėžti, kad pirštais atliekama torakostomija yra paskutinis jatrogeninio pneumotorakso gydymo etapas (22). Ne pirštais atliekama torakostomija yra galutinis jatrogeninio pneumotorakso gydymo metodas, naudojant neigiamą slėgį, sukurtą vandens sandarinimo ar siurbimo būdu tam, kad būtų sumažintas oras pleuros ertmėje (22, 23). Naudojant šį metodą, į antrąjį arba trečiąjį tarpšonkaulinį tarpą įvedami drenažiniai vamzdeliai ties vidurine raktikaulio linija, vadinama Monaldi pozicija. Alternatyva Monaldi pozicijai yra Bulau pozicija, kai vamzdelis įvedamas iš priekinės pusės ties vidurine pažasties linija į ketvirtąjį ar penktąjį tarpšonkaulinį tarpą (23). Kaip jau minėta, jatrogeninis pneumotoraksas gali būti gydomas, taikant chirurgines intervencijas su vaizdo asistuojama technika arba atviru būdu, tačiau tokie metodai naudojami esant ypatingai sunkiems atvejams (24-26).

Prognozė

Iš anksčiau paskelbtų mokslinių publikacijų žinoma, kad pneumotorakso pasikartojimo rizika per 1-5 metų stebėjimo laikotarpį yra 23-50%, kai didžiausia pasikartojimo tikimybė yra per pirmąjį mėnesį (27). Vis dėlto nėra duomenų apie jatrogeninio pneumotorakso pasikartojimo rizikos tendencijas. Įvedus drenažinį vamzdelį, pacientą svarbu informuoti, kad vamzdelis bus laikomas tol, kol plautis grįš į prieš tai buvusį normalų dydį ir funkciją (28). Nemažiau svarbu pacientui, kuris buvo gydytas

dėl jatrogeninio pneumotorakso, įspėti, kad pasikartojimo rizika yra maža, tačiau pirmas 72 valandas reikia vengti nardymo ir skraidymo (28, 29). Pati dažniausia komplikacija bet kokios kilmės pneumotorakso yra įtampos pneumotoraksas (20% atvejų) (30-32) (23). Kita literatūroje minima pneumotorakso komplikacija yra nuolatinis oro trūkumas dėl nevisiško plaučio atsistatymo po įvykusio pneumotorakso. Esant tokiai būklei reikalinga chirurginė intervencija (33).

Prevenција

Suvokiant, kad jatrogeninis pneumotoraksas yra gyvybei pavojinga būklė, yra be galo svarbu vykdyti kvalifikacijos kėlimo kursus šia tematika ligoninėse personalui. Naujausiose literatūrinėse apžvalgose pateikiamos rekomendacijos, skatinant atkreipti dėmesį į procedūras, kurių metu yra didelė jatrogeninio pneumotorakso rizika, taikyti simuliacinius metodus personalo mokymams bei kitaip šviesti ligoninėje dirbančius asmenis (34,35). Pastebėta, kad vykdant tokius simuliacinius mokymus apie centrinę veninę kateterizaciją, buvo pagerinta kateterių įvedimo technika, tokiu būdu mažinant jatrogeninio pneumotorakso riziką (34-37). Tokiu būdu mažinama jatrogeninio pneumotorakso rizika žemesnio lygio ligoninėse, kur trūksta tokio tipo patirties ir įgūdžių ne tik specialistams, slaugytojams, bet ir besimokantiems medikams, tiesiogiai susijusiems su intervencinėmis procedūromis (35,36). Atkreipus didesnę dėmesį bei susirūpinus jatrogeninio pneumotorakso kaip mirtinos komplikacijos reiškiniu, aktyviai pradėti taikyti standartizuoti protokolai, švietimo priemonės, simuliaciniai mokymai, naujos ultragarsinės įrangos pirkimas, grįžtamojo ryšio dėl atliktų intervencijų tarp skirtingų ligoninės skyrių stiprinimas (2).

Išvados

Jatrogeninis pneumotoraksas dažniausiai įvyksta imant plaučių audinio biopsiją, įvedant centrinę veninę kateterį. Jatrogeninio pneumotorakso rizika itin padidėja, kai įvedamas poraktikaulinis centrinis veninis kateteris ne ultragarso kontrolėje. Dažniausi simptomai yra pleuritinis skausmas, dispnėja, tachipnėja ir tachikardija. Diagnozei patvirtinti užtenka klinikinio pasireiškimo bei ultragarsinio tyrimo. Profesionali pagalba turi būti kuo skubesnė, teikiant pirmenybę gydymui, o ne vizualizavimui. Taikoma dekompresija įvedant adatą torakostomijos metu, sunkesniais atvejais galima chirurginė atvira arba vaizdo pagalba atliekama intervencija.

Literatūra

1. Celik B, Sahin E, Nadir A, Kaptanoglu M. Iatrogenic pneumothorax: etiology, incidence and risk factors. *Thorac Cardiovasc Surg.* 2009 Aug;57(5):286-90.
2. Shieh L, Go M, Gessner D, Chen JH, Hopkins J, Maggio P. Improving and sustaining a reduction in iatrogenic pneumothorax through a multifaceted quality-improvement approach. *J Hosp Med.* 2015 Sep;10(9):599-607.
3. Loiselle A, Parish JM, Wilkens JA, Jaroszewski DE. Managing iatrogenic pneumothorax and chest tubes. *J Hosp Med.* 2013 Jul;8(7):402-8.
4. Garg SK, Garg P, Anchan N, Jaiswal A. Iatrogenic Bilateral Simultaneous Pneumothorax: Call for Vigilance. *Indian J Crit Care Med.* 2017 Sep;21(9):607-609.
5. Arteaga AA, Pitts KD, Lewis AF. Iatrogenic pneumothorax during hypoglossal nerve stimulator implantation. *Am J Otolaryngol.* 2018 Sep-Oct;39(5):636-638.

6. Tagami R, Moriya T, Kinoshita K, Tanjoh K. Bilateral tension pneumothorax related to acupuncture. *Acupunct Med.* 2013 Jun;31(2):242-4.
7. Kilbourne MJ, Bochicchio GV, Scalea T, Xiao Y. Avoiding common technical errors in subclavian central venous catheter placement. *J Am Coll Surg.* 2009 Jan;208(1):104-9.
8. John J, Seifi A. Incidence of iatrogenic pneumothorax in the United States in teaching vs. non-teaching hospitals from 2000 to 2012. *J Crit Care.* 2016 Aug;34:66-8.
9. Swierzy M, Helmig M, Ismail M, Rückert J, Walles T, Neudecker J. Pneumothorax [Pneumothorax]. *Zentralbl Chir.* 2014 Sep;139 Suppl 1:S69-86; quiz S87. German.
10. Leigh-Smith S, Harris T. Tension pneumothorax—time for a re-think? *Emergency Medicine Journal* 2005;22:8-16.
11. McKnight CL, Burns B. Pneumothorax. [Updated 2020 Nov 16]. In: *StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441885/>*
12. Haynes D, Baumann MH. Management of pneumothorax. *Semin Respir Crit Care Med.* 2010 Dec;31(6):769-80.
13. Hefny AF, Kunhivalappil FT, Matev N, Avila NA, Bashir MO, Abu-Zidan FM. Management of computed tomography-detected pneumothorax in patients with blunt trauma: experience from a community-based hospital. *Singapore Med J.* 2018 Mar;59(3):150-154.
14. Tupchong K. Update: Is Needle Aspiration Better Than Chest Tube Placement for the Management of Primary Spontaneous Pneumothorax? *Ann Emerg Med.* 2018 Jul;72(1):e1-e2.
15. Bruschetti M, Romantsik O, Ramenghi LA, Zappettini S, O'Donnell CP, Calevo MG. Needle aspiration versus intercostal tube drainage for pneumothorax in the newborn. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016 Jan 11;(1):CD011724.
16. Naik ND, Hernandez MC, Anderson JR, Ross EK, Zielinski MD, Aho JM. Needle Decompression of Tension Pneumothorax with Colorimetric Capnography. *Chest.* 2017 Nov;152(5):1015-1020.
17. Zietlow J, Hernandez M, Bestland A, Musa J, Ferrara M, Berns K, Anderson J, Zielinski M, Aho J. "Decompression of tension pneumothorax in a trauma patient -first use of a novel decompression colorimetric capnography device in human patient". *Gen Thorac Cardiovasc Surg.* 2021 Feb;69(2):391-393.
18. Naik ND, Hernandez MC, Anderson JR, Ross EK, Zielinski MD, Aho JM. Needle Decompression of Tension Pneumothorax with Colorimetric Capnography. *Chest.* 2017 Nov;152(5):1015-1020.
19. Butler FK Jr, Holcomb JB, Shackelford S et al. Management of Suspected Tension Pneumothorax in Tactical Combat Casualty Care: TCCC Guidelines Change 17-02. *J Spec Oper Med.* 2018 Summer;18(2):19-35.
20. Hallifax RJ, Psallidas I, Rahman NM. Chest Drain Size: the Debate Continues. *Curr Pulmonol Rep.* 2017;6(1):26-29.
21. Durai R; Hoque H; and Davies T. Managing a chest tube and drainage system. *AORN Journal.* 2011; 91(2):275-280
22. Wang C, Lyu M, Zhou J, Liu Y, Ji Y. Chest tube drainage versus needle aspiration for primary spontaneous pneumothorax: which is better? *J Thorac Dis.* 2017 Oct;9(10):4027-4038.
23. Drinhaus H, Annecke T, Hinkelbein J. Die Thoraxdekompression in der Notfall- und

- Intensivmedizin [Chest decompression in emergency medicine and intensive care]. *Anaesthesist*. 2016 Oct;65(10):768-775. German.
24. Delpy JP, Pagès PB, Mordant P, Falcoz PE, Thomas P, Le Pimpec-Barthes F, Dahan M, Bernard A; EPITHOR project (French Society of Thoracic and Cardiovascular Surgery); EPITHOR project French Society of Thoracic and Cardiovascular Surgery. Surgical management of spontaneous pneumothorax: are there any prognostic factors influencing postoperative complications? *Eur J Cardiothorac Surg*. 2016 Mar;49(3):862-7.
 25. Tsotsolis N, Tsirgogianni K, Kioumis I, Pitsiou G, Baka S, Papaiwannou A, Karavergou A, Rapti A, Trakada G, Katsikogiannis N, Tsakiridis K, Karapantzou C, Karapantzos I, Karapantzos C, Barbetakis N, Zissimopoulos A, Kuhajda I, Andjelkovic D, Zarogoulidis K, Zarogoulidis P. Pneumothorax as a complication of central venous catheter insertion. *Ann Transl Med*. 2015 Mar;3(3):40.
 26. Barsuk JH, Cohen ER, Williams MV, Scher J, Jones SF, Feinglass J, McGaghie WC, O'Hara K, Wayne DB. Simulation-Based Mastery Learning for Thoracentesis Skills Improves Patient Outcomes: A Randomized Trial. *Acad Med*. 2018 May;93(5):729-735.
 27. Baumann MH, Strange C, Heffner JE, Light R, Kirby TJ, Klein J, Luketich JD, Panacek EA, Sahn SA; AACP Pneumothorax Consensus Group. Management of spontaneous pneumothorax: an American College of Chest Physicians Delphi consensus statement. *Chest*. 2001 Feb;119(2):590-602.
 28. Zonies D, Elterman J, Burns C, Paul V, Oh J, Cannon J. Trauma patients are safe to fly 72 hours after tube thoracostomy removal. *J Trauma Acute Care Surg*. 2018 Sep;85(3):491-494.
 29. Imran JB, Eastman AL. Pneumothorax. *JAMA*. 2017 Sep 12;318(10):974.
 30. Sihoe AD, Wong RH, Lee AT, Lau LS, Leung NY, Law KI, et al. Severe acute respiratory syndrome complicated by spontaneous pneumothorax. *Chest*. 2014 Jun. 125 (6):2345-51.
 31. Roberts DJ, Leigh-Smith S, Faris PD, Blackmore C, Ball CG, Robertson HL, Dixon E, James MT, Kirkpatrick AW, Kortbeek JB, Stelfox HT. Clinical Presentation of Patients With Tension Pneumothorax: A Systematic Review. *Ann Surg*. 2015 Jun;261(6):1068-78.
 32. Jalota R, Sayad E. Tension Pneumothorax. [Updated 2021 Jan 23]. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559090/>
 33. Slade M. Management of pneumothorax and prolonged air leak. *Semin Respir Crit Care Med*. 2014 Dec;35(6):706-14. doi: 10.1055/s-0034-1395502. Epub 2014 Dec 2.
 34. Giacomini M, Iapichino G, Armani S, Cozzolino M, Brancaccio D, Gallieni M. How to avoid and manage a pneumothorax. *J Vasc Access*. 2006 Jan-Mar;7(1):7-14
 35. Soffler MI, Hayes MM, Smith CC. Central venous catheterization training: current perspectives on the role of simulation. *Adv Med Educ Pract*. 2018 May 25;9:395-403.
 36. Ma IW, Brindle ME, Ronksley PE, Lorenzetti DL, Sauve RS, Ghali WA. Use of simulation-based education to improve outcomes of central venous catheterization: a systematic review and meta-analysis. *Acad Med*. 2011 Sep;86(9):1137-47.

37. Sekiguchi H, Tokita JE, Minami T, Eisen LA, Mayo PH, Narasimhan M. A prerotational, simulation-based workshop improves the safety of central venous catheter insertion: results of a successful internal medicine house staff training program. *Chest*. 2011 Sep;140(3):652-658.