

Periferinių plaučių navikų diagnostika: nuo ultragarso iki elektromagnetinės navigacijos bronchoskopijos

DIAGNOSIS OF PERIPHERAL LUNG TUMORS: FROM ULTRASOUND TO ELECTROMAGNETIC NAVIGATION BRONCHOSCOPY

VYTAUTAS ANKUDAVIČIUS, MARIUS ŽEMAITIS
LSMU MA Pulmonologijos klinika

Santrauka. Periferiniai plaučių dariniai nevizualizuojami įprastos bronchoskopijos metu, todėl jų diagnostika yra ganėtinai sudėtinga ir dažnai prireikia pažangių papildomų radiologinių technologijų. Per kelis dešimtmečius bronchologiniai diagnostikos metodai reikšmingai pažengė – nuo pirmųjų transbronchinių biopsijų be papildomų vaizdinių tyrimų iki pažangių technologijų, tokių kaip radialinis endobronchinis ultragarsas, elektromagnetinė navigacija, kūginio srauto kompiuterinė tomografija. Didžiausia diagnostinė transbronchinės biopsijos vertė pasiekama derinant šiuos tyrimus, tačiau, nepaisant to, darinio vieta, paciento individualios savybės, krūtinės ląstos ekskursijos tyrimo metu, kreipiančiojo zondo padėtis turi nemažą įtaką bendram tyrimo rezultatui. Bronchologiniai tyrimo metodai pasižymi aukšta diagnostine verte diagnozuojant periferinius plaučių darinius, yra saugūs, susiję su nedidele komplikacijų rizika, todėl turėtų būti pasirenkami pirmiausia, palyginti su labiau invaziniais metodais, tokiais kaip transtorakalinė biopsija arba chirurginė verifikacija.

Reikšminiai žodžiai: EBUG-RD, periferinis plaučių darinys, diagnostika, elektromagnetinė navigacinė bronchoskopija.

Summary. Peripheral lung lesions cannot be visualized during conventional bronchoscopy, making their diagnosis challenging and necessitating advanced ancillary radiological technologies. Over the past several decades, bronchoscopic diagnostic methods have evolved substantially, progressing from early transbronchial biopsies performed without supplemental imaging to sophisticated technologies such as radial endobronchial ultrasound, electromagnetic navigation bronchoscopy, and cone-beam computed tomography. While the highest diagnostic yield of transbronchial biopsy is achieved through a multimodal approach combining these modalities, the overall outcome remains influenced by factors such as lesion localization, patient habitus, respiratory excursions during the procedure, and the orientation of the guiding probe. Bronchoscopic diagnostic methods demonstrate high diagnostic accuracy for peripheral lung lesions and maintain a favorable safety profile with a low risk of complications; consequently, they should be prioritized as first-line interventions over more invasive methods, such as transthoracic needle biopsy or surgical verification.

Keywords: EBUS-RP, peripheral lung tumor, diagnostic, electromagnetic navigation bronchoscopy.

DOI: <https://doi.org/10.37499/PIA.1884>

IVADAS

Kasdienėje klinikinėje praktikoje, vis dažniau atliekant krūtinės ląstos kompiuterinę tomografiją, gydytojai susiduria su didėjančiu periferinių plaučių darinių skaičiumi. Dažniausiai jie aptinkami atsitiktinai, tačiau juos nustačius būtina spręsti, ar pakanka stebėsenos, ar reikia morfologinio ištyrimo [1]. Periferinių plaučių darinių histologinė verifikacija ganėtinai sudėtinga, nes pakitimai nevizualizuojami paprastos bronchoskopijos metu, jų preciziškai diagnostikai reikalinga papildoma radiologinė technika – ultragarsas, rentgenoskopija, elektromagnetinė navigacija arba net kūginio srauto kompiuterinė tomografija [2].

Įprastu atveju lanksčioji bronchoskopija būna veiksminga tik diagnozuojant centrinius plaučių ir bronchų navikus, o siekiant atlikti biopsiją iš periferijoje

esančių darinių be papildomos radiologinių tyrimų kontrolės, jos diagnostinė vertė ženkliai sumažėja ir dažnai nesiekia 20–30 proc. [2]. Dėl šios priežasties intervencinės pulmonologijos srityje pradėti taikyti papildomi vaizdiniai tyrimo metodai, kurie reikšmingai pagerino pacientų ištyrimo ir diagnostikos galimybes, leido geriau pasiekti ir vizualizuoti periferinius plaučių darinius [1, 2].

Šiame straipsnyje aptariamos pagrindinės šiuolaikinės technologijos – endobronchinis ultragarsas su radialiniu davikliu (EBUG-RD) ir elektromagnetinė navigacija (EMN) [3, 4]. Šie metodai leidžia ne tik tiksliau paimti biopsiją iš sunkiai prieinamų periferinių plaučių darinių, bet ir padeda išvengti labiau invazinių tyrimų, tokių kaip transtorakalinė biopsija (TTB) arba chirurginė verifikacija [2, 4].

TRANSBRONCHINĖS BIOPSIJOS IŠTAKOS

Transbronchinės biopsijos (TBB) metodikos ištakos siekia praėjusio amžiaus vidurį. 1963 m. pulmonologas Howard Arne Andersen, naudodamas rigidinį bronchoskopą ir specialias biopsines žnyplės, pirmą kartą sėkmingai atliko ir aprašė intersticines plaučių ligas. Vis dėlto esminis šio metodo proveržis įvyko po keleto metų, septintojo dešimtmečio pabaigoje, kai krūtinės ląstos chirurgas Shigeto Ikedai sukūrė lankstųjį fibrooptinį bronchoskopą. Vėliau chirurgas sėkmingai pritaikė šį prietaisą TBB atlikti, todėl atsivėrė gerokai platesnės galimybės pasiekti periferinėse plaučių dalyse esančius pakitimus [5]. Nepaisant to, netgi pagerėjus bronchoskopo techninėms galimybėms, periferinių plaučių darinių biopsija ilgą laiką išliko sudėtinga, nes buvo dažnai atliekama be papildomos vaizdinės kontrolės arba remiantis tik dvimate rentgenoskopija. Nors aštuntajame dešimtmetyje rentgenoskopijos kontrolė atliekant TBB tapo rutininio metodu klinikinėje praktikoje, šio metodo diagnostinė vertė išliko gana nedidelė (14–40 proc.) ir labai priklausė nuo darinio dydžio bei vietos [2, 5]. Tuo pat metu sparčiai tobulėjanti TTB pasižymėjo gerokai aukštesne diagnostine verte, siekiančia 76–97 proc., tačiau tai buvo labiau invazinė procedūra, susijusi su didesne komplikacijų rizika, palyginti su TBB [5]. Dėl šių priežasčių atsirado poreikis ieškoti modernesnių, veiksmingesnių ir saugesnių periferinių plaučių darinių diagnostikos metodų, taip pat jų derinių, taikomų atliekant TBB.

EBUG-RD

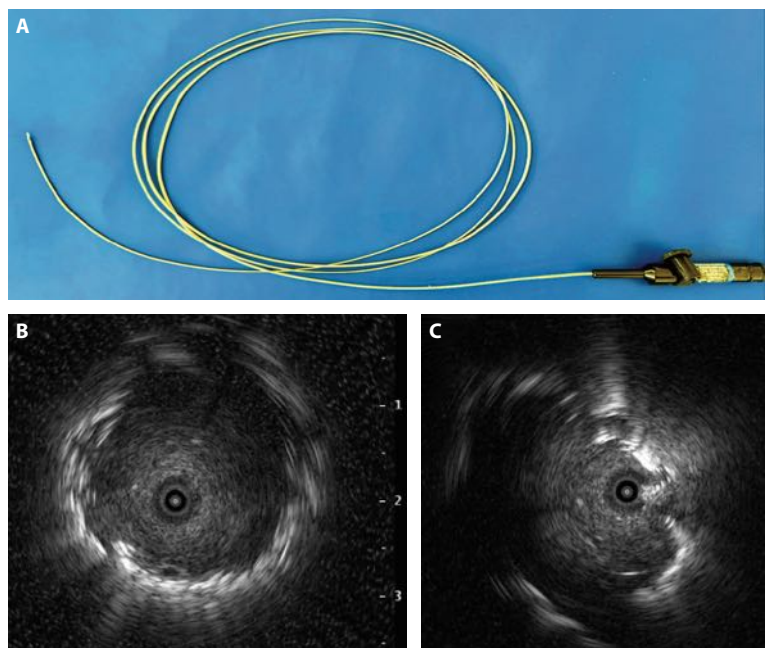
EBUG-RD intervencinės pulmonologijos srityje pradėtas taikyti apie 1990 m., kai pirmą kartą panaudotas apatinių kvėpavimo takų gleivinei, pogleiviui ir gilesnėms endobronchinėms struktūroms vizualizuoti. Šiuo metu tai miniatiūrinis, 1,4–2,6 mm skersmens, 20 MHz dažnio zondas, įstumiamas per standartinio bronchoskopo darbinį kanalą (1 pav. A). Jis leidžia 360° kampu įvertinti aplinkines plaučių struktūras iki maždaug 5 cm gylio [3]. Klinikinėje praktikoje EBUG-RD tapo svarbia priemone vizualizuojant periferinius plaučių darinius, kai tiesioginė endoskopinė vizualizacija yra neįmanoma. Be to, šis metodas leidžia atskirti navikinį audinį nuo kraujagyslių arba nepakitusios plaučių parenchimos, taip didinant procedūros saugumą ir tikslumą [2, 3].

Pagrindinė EBUG-RD paskirtis – padidinti TBB diagnostinę vertę. Taikant EBUG-RD kartu su rentgenoskopija, TBB diagnostinė vertė siekia apie 63–73 proc., tačiau esminę reikšmę turi zondo

padėtis darinio atžvilgiu. Kai zondas yra darinio centre (1 pav. B), diagnostinė vertė padidėja iki maždaug 81 proc., o esant ekscentrinei padėčiai (zondas greta darinio, 1 pav. C) – sumažėja iki 40–47 proc. [3, 6]

TBB diagnostinę vertę lemia ne tik EBUG-RD padėtis darinio atžvilgiu, bet ir periferinio darinio savybės – jo dydis, ryšys su bronchais ir kiti veiksniai. Nustatyta, kad tiriant didesnius nei 3 cm periferinius plaučių darinius diagnostinė vertė siekia apie 81 proc., o mažesnius nei 2 cm – sumažėja iki 53 proc. [3]. Diagnostinę TBB vertę lemia ir broncho takelio požymis kompiuterinės tomografijos vaizduose: jam esant, tikimybė pasiekti darinį yra beveik dvigubai didesnė, palyginti su atvejais, kai šio požymio nenustatoma (atitinkamai – 81 proc. ir 46 proc.) [2, 3]. Siekiant dar labiau pagerinti diagnostinius rezultatus, vis dažniau derinami keli metodai – EBUG-RD kartu su EMN leidžia pasiekti 74–88 proc. diagnostinę vertę [4, 7]. Be to, šis derinys užtikrina didesnę neigiamą prognostinę vertę (apie 76,9 proc.), palyginti su EBUG-RD taikymu kartu su rentgenoskopija (apie 33,3 proc.), o tai svarbu vertinant neinformatyvius histologinio tyrimo rezultatus [4].

Atliekant TBB iš periferinių darinių ir siekiant geresnių rezultatų, galima papildomai naudoti kreipiamąjį gaubtą, kuris leidžia išlaikyti darbinį kanalą tikslinėje padėtyje ir nukreipti instrumentus į tą pačią vietą, kur buvo lokalizuotas darinys naudojant EBUS-RD. Priešingu atveju, atliekant biopsiją be kreipiamojo gaubto, kyla rizika, kad žnyplės nukryps į kitą bronchų šakojimosi subsegmentą, todėl gali būti gauti klaidin-



1 pav. EBUG-RD: A – endobronchinis ultragarsinis radialinis daviklis; B – EBUG-RD centrinėje padėtyje darinio atžvilgiu; C – EBUG-RD ekscentrinėje padėtyje darinio atžvilgiu

EBUG-RD – endobronchinis ultragarsas su radialiniu davikliu.

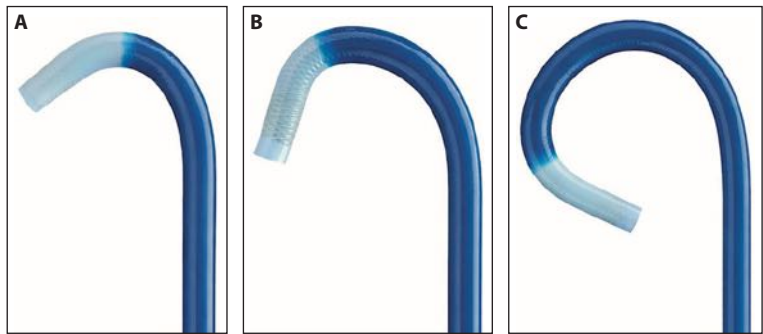
gai neigiami rezultatai. Nors sisteminės apžvalgos rodo, kad kreipiamojo gaubto naudojimas iš esmės nekeičia bendros diagnostinės vertės (apie 72 proc. su kreipiamuoju gaubtu ir 70 proc. be jo), pavieniai atsitiktinių imčių tyrimai nurodo statistiškai reikšmingą histologinių mėginių kokybės pagerėjimą – nuo 46,6 proc. iki 55,3 proc. [6]. Vis dėlto didesnė nei 80 proc. diagnostinė vertė dažniausiai siejama ne vien su kreipiamojo gaubto naudojimu, bet ir su tikslia EBUG-RD ir (arba) EMN daviklio padėtimi [4, 6]. Be to, esant broncho takelio požymiui KT tyrime, diagnostiniai rezultatai gali siekti apie 81 proc., nepriklausomai nuo to, ar naudojamas kreipiamasis gaubtas [3, 6]. Nepaisant šių apribojimų, kreipiamasis gaubtas išlieka svarbus pereinant nuo paprasto ultragarsinio vaizdinimo prie pažangesnių navigacinių technologijų. Pavyzdžiui, NAVIGATE tyrime taikytas išplėstinis darbinis kanalas atspindi tolesnę kreipiamojo gaubto koncepcijos raidą ir sudaro galimybę sudėtingesnių procedūrų metu išlaikyti stabilią prieigą prie periferinių plaučių darinių [4].

ELEKTROMAGNETINĖ NAVIGACINĖ BRONCHOSKOPIJA: TECHNOGINĖ KONCEPCIJA IR METODIKA

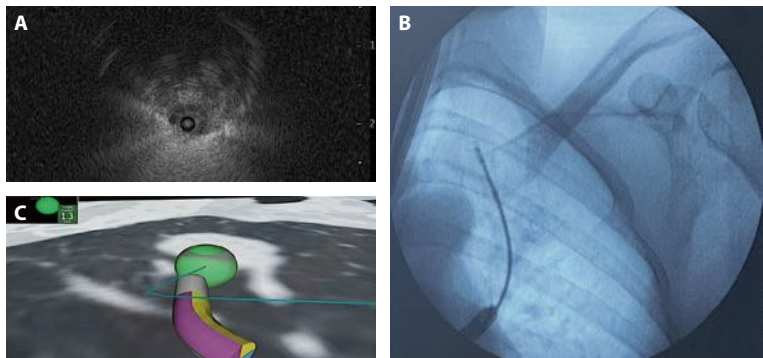
Elektromagnetinė navigacinė bronchoskopija (ENB) žymi svarbų bronchologijos raidos etapą, pereinant nuo tradicinių metodų prie skaitmeniniu vaizdu valdomų intervencijų [2, 7]. Šis metodas dažniausiai taikomas periferinių plaučių darinių diagnostikai. Metodo veikimas pagrįstas silpno elektromagnetinio lauko generavimu, kuris leidžia susieti kompiuterinės tomografijos duomenis su paciento anatomija realiuoju laiku ir sudaryti virtualų maršrutą iki tiriamojo darinio [4, 7].

Sėkminga ENB procedūra prasideda nuo kruopštaus pasirengimo. Vienas svarbiausių etapų – aukštos raiškos kompiuterinės tomografijos vaizdų atlikimas pagal specialų elektromagnetinės navigacijos protokolą, siekiant gauti išsamius ir persidengiančius vaizdus (1,0–1,5 mm storio sluoksniais) [4]. Gauti skaitmeniniai aukštos rezoliucijos radiologiniai duomenys perkeliama į planavimo programinę įrangą, kurioje sudaroma trimatė bronchų medžio rekonstrukcija [7].

Planavimo etape pažymimas tiriamasis darinys ir parenkamas optimalus virtualus endobronchinis kelias iki jo. Taip pat įvertinamas broncho takelio požymis, laikomas svarbiu sėkmingos diagnostikos veiksmu [1, 2].



2 pav. Per elektromagnetinę navigacinę bronchoskopiją naudojami kateteriai: A – 45°; B – 90°; C – 180°



3 pav. Periferinio plaučių darinio biopsija EMN, kontroliuojant rentgenoskopija ir EBUG-RD: A – EBUG-RD ekscentrinėje padėtyje darinio atžvilgiu; B – rentgenoskopijos kontrolė, atliekant ENB; C – EMN simuliacija, atliekant biopsiją

EBUG-RD – endobronchinis ultragarsas su radialiniu davikliu; EMN – elektromagnetinė navigacija; ENB – elektromagnetinė navigacinė bronchoskopija.

Intervencija atliekama taikant bendrąją nejautrą, pacientą intubavus ne mažesnio kaip 8,5 mm vidinio skersmens endotrachėjiniu vamzdeliu [4]. Tai leidžia sumažinti kvėpavimo judesių artefaktus ir užtikrinti stabilią dirbtinę plaučių ventilaciją, nes tyrimo metu bronchoskopas įstumiamas per šį intubacinį vamzdelį. Per procedūrą aplink krūtinės ląstą sukuriamas silpnas elektromagnetinis laukas, būtinas ENB veikti [7].

Be sudėtingos EMN sistemos, tyrimui atlikti naudojamas elektromagnetinis jutiklis, įstumiamas per išplėstinį darbinį kanalą. Atsižvelgiant į darinio vietą ir bronchų anatomiją, parenkami skirtingo išlinkio kateteriai (2 pav.): 180° kateteriai dažniau taikomi viršutinių skilčių segmentams, o 90° ir 45° – staigiau atsišakojantiems bronchams, ypač apatinėse arba vidurinėse skiltyse [7].

Pasiekus taikinį, elektromagnetinis jutiklis pašalinamas, o išplėstinis darbinis kanalas paliekamas stabilioje padėtyje ir naudojamas kaip prieigos kanalas papildomiems instrumentams (3 pav.) – EBUG-RD, žnyplėms, adatoms arba šepetėliams – įstumti [2, 4, 6].

Pirmą kartą šis tyrimas Baltijos šalyse atliktas 2021 m. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninėje Kauno klinikose, o 2025 m. Kauno klinikų Pulmonologijos klinikoje atliktos 134 ENB procedūros, naudojant rentgenoskopijos ir EBUS-RD kontrolę.

LYGINAMOJI DIAGNOSTINIO VEIKSMINGUMO ANALIZĖ

Šiuolaikinis požiūris, grindžiamas EMN, EBUG-RD ir fluoroskopijos derinimu, išsamiausiai įvertintas iki šiol didžiausiame prospektyviajame NAVIGATE tyrime [4]. Jame analizuota kiek daugiau nei 1 200 kompleksinių TBB su EMN; rentgenoskopija naudota 91 proc., o EBUG-RD – 57,4 proc. atvejų. Taikant šį metodų derinį pasiekta apie 73 proc. diagnostinė vertė [4, 7]. Tyrimo duomenys taip pat parodė, kad šis derinys leidžia saugiai atlikti biopsiją iš nedidelių (mediana – 20 mm) periferinių plaučių darinių, o intervencijos dėl pneumotorakso prireikė tik 2,9 proc. atvejų [4]. Klinikinėje praktikoje šis metodų derinimas leidžia išnaudoti kiekvienos technologijos privalumus: ENB padeda pasiekti taikinį, EBUG-RD patvirtina zondo padėtį darinio atžvilgiu, o rentgenoskopija suteikia galimybę realiuoju laiku stebėti instrumentų judėjimą ir koreguoti biopsijos eigą [2, 7].

Remiantis mokslinių tyrimų rezultatais, svarbu atsižvelgti į jų metodologinius skirtumus, kurie lemia diagnostinės vertės svyravimus. Lyginant didžiausią prospektyvų daugiacentrį NAVIGATE tyrimą su naujesniu atsitiktinių imčių RELIANT tyrimu, matyti esminiai dizaino skirtumai: NAVIGATE atspindi kasdienę klinikinę praktiką, o RELIANT orientuotas į robotizuotos bronchoskopijos ir ENB palyginimą [4,8]. NAVIGATE tyrime nustatyta 73 proc. diagnostinė vertė, o RELIANT tyrime ENB grupėje ji buvo šiek tiek didesnė – 75,5 proc. [8]. Tikėtina, kad šis skirtumas gali būti susijęs su tuo, kad NAVIGATE analizėje vertinti visi TBB atvejai, įskaitant ir tuos, kai dėl techninių galimybių nebuvo pasiektas darinys, todėl gauti rezultatai geriau atspindi realios klinikinės praktikos sąlygas [4, 8].

Kai kuriuose moksliniuose tyrimuose pateikiami dar aukštesni diagnostiniai rodikliai – atliekant TBB, kartu taikant EMN ir EBUG-RD kontrolę, diagnostinė vertė gali viršyti 81 proc. [9]. Vis dėlto tokius tyrimų rezultatus reikėtų vertinti atsargiai dėl ribotos imties ir galimos atrankos paklaidos. Metaanalizė, kurioje išanalizuota daugiau kaip 6 000 TBB, rodo, kad atliekant biopsiją vien tik su EBUG-RD kontrole, diagnostinė vertė siekia apie 70 proc. [10]. Šiuo atveju rezultatams didelę įtaką daro ne tik tyrimo modifikacija, bet ir periferinio darinio ypatybės [3, 10]. Esant broncho takelio požymiui arba centrinei EBUG-RD padėčiai darinio atžvilgiu, diagnostinė vertė daugelyje tyrimų viršija 80 proc. Priešingai, ekscentrinė EBUG-RD padėtis darinio atžvilgiu siejama su gerokai prastesniais rezultatais – tokiu atveju diagnostinė vertė sumažėja iki maždaug 40–47 proc. [3, 6, 10].

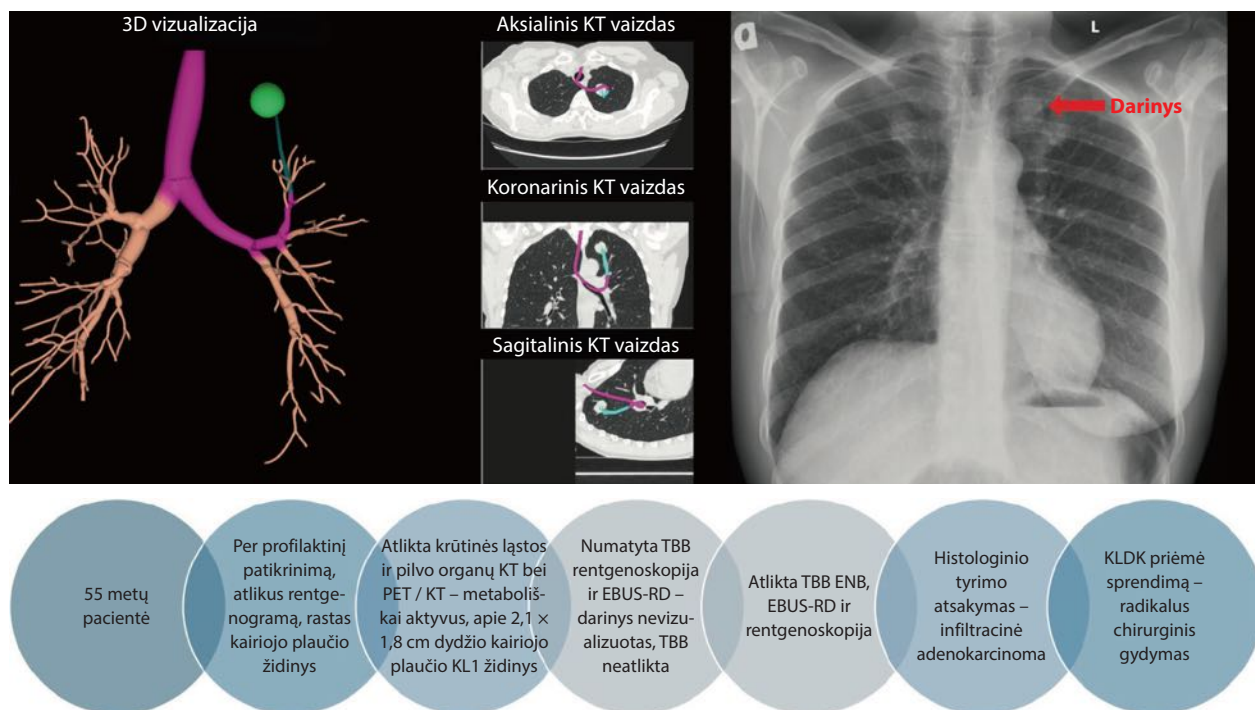
Pagrindinis navigacinių sistemų ribotumas – kompiuterinės tomografijos ir paciento kūno duomenų neatitikimas, išsamiai aptariamasis RELIANT tyrime [8].

Tai skirtumas tarp prieš procedūrą atlikto kompiuterinės tomografijos tyrimo ir realios plaučių bei darinio padėties, dydžio ir tūrio pokyčio biopsijos metu, kuriuos veikia anestezija, atelektazės ir krūtinės ląstos judesiai kvėpavimo metu. Dėl to net tiksliai pasiekus virtualų taikinį reali instrumento padėtis gali nesutapti su tikrąja darinio lokalizacija [2, 8]. RELIANT tyrime nustatyta, kad robotizuota bronchoskopija pasižymi didesniu stabilumu ir pasiekia beveik 78 proc. diagnostinę vertę, tačiau statistškai reikšmingo skirtumo, palyginti su ENB, nenustatyta [8]. Remiantis šiais rezultatais, abi technologijos, dirbant patyrusiems operatoriams, pasižymi panašiu veiksmingumu.

Atsižvelgiant į tyrimų rezultatus, galima teigti, kad TBB yra saugi procedūra, pasižyminti mažesniu komplikacijų dažniu nei alternatyvi intervencija – TTB [2]. Nors TTB pasižymi aukšta diagnostine verte, ji susijusi su žymiai didesne komplikacijų, tokių kaip pneumotoraksas, rizika – įvairių šaltinių duomenimis, ji siekia 15–25 proc., o apie 5–7 proc. atvejų prireikia pleuros ertmės drenavimo [1, 2]. Be to, po TTB dažniau prasideda kraujavimas į plaučių parenchimą bei kraujotakos sutrikimas. Navigacinės TBB procedūros pasižymi gerokai mažesne komplikacijų rizika: NAVIGATE tyrime pneumotoraksas, kai prireikė intervencijos, nustatytas tik 2,9 proc. atvejų, o, remiantis metaanalizės duomenimis, jis buvo dar mažesnis – vos 1 proc. [4, 10]. Tyrimo duomenys patvirtina, kad derinant EBUG-RD su kitais metodais pasiekama didesnė neigiama prognozinė vertė, nei naudojant vien rentgenoskopiją, todėl galima tiksliau interpretuoti neinformatyvius biopsijos rezultatus ir sumažinti pakartotinių, rizikingesnių intervencijų, tokių kaip TTB, poreikį [9].

APIBENDRINIMAS

Periferinių plaučių navikų diagnostika per pastaruosius dešimtmečius reikšmingai pažengė – nuo biopsijų be papildomos vaizdinės kontrolės iki tikslinių, vaizdiniais tyrimais valdomų intervencijų, leidusių sumažinti ilgai buvusią diagnostinę spragą. Šiuo metu didžiausias diagnostinis tikslumas pasiekiamas taikant kompleksines intervencijas, kai ENB derinama su EBUG-RD ir rentgenoskopija. Toks metodų derinys leidžia užtikrinti itin aukštą diagnostinę vertę net tiriant nedidelius periferinius darinius. Be to, šios intervencijos yra itin saugios ir gali sukelti ženkliai mažiau komplikacijų, palyginti su alternatyviu periferinių plaučių darinių diagnostikos metodu – TTB. Šiuolaikinė ENM daugelyje centrų jau laikoma ankstyvos ir minimaliai invazyvios periferinių plaučių darinių diagnostikos standartu, tačiau šių technologijų prieinamumą riboja ganėtinai didelė įrangos ir vienkartinų priemonių kaina. Diagnostinių rezultatų skirtumus lemia ne tik taikomos technologijos, bet ir tyrimų metodika, operatoriaus patirtis bei gebėjimas atsižvelgti į procedūros metu kintančią plaučių anatomiją.



4 pav. Klinikinis atvejis – Kauno klinikų Pulmonologijos klinikos patirtis atliekant elektromagnetinę navigacinę bronchoskopiją

3D – trijų dimensijų; cm – centimetrai; EBUG-RD – endobronchinis ultragarsas su radialiniu davikliu; EMN – elektromagnetinė navigacija; ENB – elektromagnetinė navigacinė bronchoskopija; KLDK – krūtinės ląstos daugiadalykė komanda; KT – kompiuterinė tomografija; Kauno klinikos – Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninė Kauno klinikos; PET – pozitronų emisijos tomografija; TBB – transbronchinė biopsija; KL1 – kairiojo plaučio viršutinė skiltis.

LITERATŪRA

1. Mazzone PJ, Lam LVK. Evaluating the patient with a pulmonary nodule: a review. *JAMA*. 2022;327(3):264–73.
2. DiBardino DM, Gonzalez AV. Electromagnetic navigation bronchoscopy and transthoracic Sampling of Peripheral Pulmonary Nodules: One Step Back, One Leap Forward for the evaluation of technology targeting the lung periphery. *Am J Respir Crit Care Med*. 2023;208(8):827–8.
3. Ali MS, Trick W, Mba BI, Mohananeey D, Sethi J, Musani AI. Radial endobronchial ultrasound for the diagnosis of peripheral lung lesions: a systematic review and meta-analysis. *Respirology*. 2017;22(3):443–53.
4. Folch EE, Pritchett MA, Nead MA, Bowling MR, Murgu SD, Krimsky WS, et al. Electromagnetic navigation bronchoscopy for peripheral pulmonary lesions: one-year results of the prospective, multicenter AVIGATE study. *J Thorac Oncol*. 2019;14(3):445–58.
5. Balasubramanian P, Abia-Trujillo D, Barrios-Ruiz A, Garza-Salas A, Koratala A, Chandra NC, et al. Diagnostic yield and safety of diagnostic techniques for pulmonary lesions: systematic review, meta-analysis and network meta-analysis. *Eur Respir Rev*. 2024;18;33(173):240046.
6. Sainz Zuñiga PV, Vakil E, Molina S, Bassett RL Jr, Ost DE. Sensitivity of radial endobronchial ultrasound-guided bronchoscopy for lung cancer in patients with peripheral pulmonary lesions: an updated meta-analysis. *Chest*. 2020;157(4):994–1011.
7. Khandhar SJ, Bowling MR, Flandes J, Gildea TR, Hood KL, Krimsky WS, et al. Electromagnetic navigation bronchoscopy to access lung lesions in 1,000 subjects: first results of the prospective, multicenter NAVIGATE study. *BMC Pulm Med*. 2017;17(1):59.
8. Paez R, Lentz RJ, Salmon C, Siemann JK, Low SW, Casey JD, et al. Robotic versus electromagnetic bronchoscopy for pulmonary lesion assessment: the RELIANT pragmatic randomized trial. *Res Sq [Preprint]*. 2023;rs.3.rs-3222369.
9. Fu Y, Yuan X, Pan W, Lu Y, Zeng D, Jiang J. Comparative analysis of the efficacy and safety of electromagnetic navigation bronchoscopy combined with x-ray or radial endobronchial ultrasound biopsy in the diagnosis of small peripheral pulmonary nodules. *Thorac Cancer*. 2023;14(15):1348–54.
10. Tay JH, Irving L, Antippa P, Steinfort DP. Radial probe endobronchial ultrasound: factors influencing visualization yield of peripheral pulmonary lesions. *Respirology*. 2013;18(1):185–90.