

A mellkas és a tüdő ultrahangvizsgálatának szerepe az általános érzéstelenítés során

Szabó Marcell dr.¹ ■ Orosz Gábor dr.^{2, 3, 4},
Iványi Zsolt Dániel dr.² ■ Darvas Katalin dr.^{1, 2}

¹Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Sebészeti,
Transzplantációs és Gasztroenterológiai Klinika, Budapest

²Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Aneszteziológiai és Intenzív Terápiás Klinika, Budapest

³Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Orvosi Képképző Klinika, Budapest

⁴Óbudai Egyetem, Egyetemi Kutató és Innovációs Központ, Bejczy Antal iRobottechnikai Központ, Budapest

Az ultrahang alkalmazása az aneszteziológiai és intenzív terápiás eszköztár mára elengedhetetlen feltétele mind az invazív beavatkozások pontos kivitelezése, mind az ágy melletti diagnosztika során. A mellkas és a tüdő vizsgálatai a képalkotás nehézségei ellenére gyorsan fejlődő területet jelentenek, a COVID-19-világjárvány kihívásai és a közelmúlt eseményei pedig nagyobb lendületet adtak a terület kutatásának. Az intenzív terápia egyre nagyobb tapasztalattal alkalmazza e módszereket differenciáldiagnosztikára, az állapotsúlyosság felmérésére és a terápia optimalizálására. A műtői anesztézia és a perioperatív ellátás kis módosításokkal, de szintén képes hasznosítani ezeket az eredményeket. A jelen összefoglalóban a szerzők sorra veszik a tüdő ultrahangvizsgálatának diagnosztikus jelentőségű műtermékeit, valamint a kvantitatív vizsgálatok alapjait, illetve azokat az eljárásokat, amelyek általános anesztézia során kellő irodalmi megalapozottsággal bírhatnak a betegbiztonság fokozásában a légútbiztosítás, az intraoperatív lélegeztetés finomhangolása, műtét alatti légzészavarok, posztoperatív prognosztika terén. Irodalmi összefoglalónk célja egyúttal az is, hogy rávilágítsunk azokra a területekre, amelyeken a közeljövőben technológiai vagy tudományos jelentőségű újítások várhatók.

Orv Hetil. 2023; 164(22): 864–870.

Kulcsszavak: tüdőultrahang, anesztézia, műtét, betegbiztonság, gépi lélegeztetés

Use of thoracic and lung ultrasound in general anesthesia

The use of ultrasound became an essential tool in the everyday practice of anesthesiology and intensive care as an indispensable prerequisite for the precise guidance of invasive procedures and also as a point-of-care diagnostic method. Despite the limitations of imaging the lung and thoracic structures, the COVID-19 pandemic and recent advances made this technology an evolving field. The intensive therapy applies these methods with important experience for differential diagnosis and assessment of disease severity or prognosis. Minor modifications of these results make the method beneficial for anesthesia and perioperative medicine. In the present review, the authors accentuate the most important imaging artefacts of lung ultrasonography and the principles of lung ultrasound diagnostic steps. Methods and artefacts of high importance supported by evidence for the assessment of airway management, attuning of intraoperative mechanical ventilation, respiratory disorders during surgery, and postoperative prognosis are articulated. This review intends to focus on evolving subfields in which technological or scientific novelties are expected.

Keywords: lung ultrasound, anesthesia, surgery, patient safety, mechanical ventilation

Szabó M, Orosz G, Iványi ZsD, Darvas K. [Use of thoracic and lung ultrasound in general anesthesia]. Orv Hetil. 2023; 164(22): 864–870.

(Beérkezett: 2023. március 5.; elfogadva: 2023. március 23.)

Rövidítések

BLUE = (bedside lung ultrasound in emergency) ágy melletti tüdő-ultrahangvizsgálat vészhelyzetben; COPD = (chronic obstructive pulmonary disease) krónikus obstruktív tüdőbetegség; COVID-19 = (coronavirus disease 2019) koronavírus-betegség 2019; CT = (computed tomography) komputertomográfia; FiO₂ = (fraction of inspired oxygen) belégtetett oxigénkoncentráció; PEEP = (positive end expiration pressure) pozitív végkilégzési nyomás; PLAPS = (posterolateral alveolar and/or pleural syndrome) posterolaterális alveoláris és/vagy pleurális szindróma; SARS-CoV-2 = (severe acute respiratory syndrome coronavirus 2) súlyos akut légúti tünetegyüttest okozó koronavírus-2

A tüdő ultrahangvizsgálata sokáig szinte dogmatikus ellenállásba ütközött. A korábban közel egyeduralkodó mellkasröntgennel szemben kínálkozó előnyei, köztük az ágy melletti alkalmazhatóság, az egészségre káros sugárzás hiánya, a praktikus korlátlan ismételhetőség, kialakították az igényt, mely a képalkotás sajátosságainak részletes tanulmányozáshoz, mára pedig a módszer széles körű elterjedéséhez vezethetett [1–3]. A tüdő vizsgálata döntően az aneszteziológiai és intenzív terápiás szakma, illetve a sürgősségi orvostan „saját fejlesztése”. Eredményei azonban a társszakmák számára is segítséget nyújthatnak, az alkalmazási kör bővül, bár korántsem általános még a módszer hozzáférhetősége [4]. A SARS-CoV-2 okozta COVID-19-világjárvány speciális aneszteziológiai és intenzív terápiás kihívásokat jelentett és jelent [5], de pozitív hozadékként a módszer népszerűségét fokozta [6–10]; a perioperatív alkalmazási lehetőségekre fókuszáló közleményünkben az ehhez kapcsolódó eredmények részletes ismertetésétől azonban eltekintünk.

Az ultrahanggal végzett képalkotás valóban speciális nehézségekbe ütközik a tüdő vizsgálatakor. Ennek okai részben a csontos mellkasváz és az ultrahang számára alkalmatlan közeget jelentő levegő. Az akusztikus árnyék szerepe jelentős, mely a bordákra merőleges transzducerhelyzet mellett gyakorlatilag minden vizsgálatnál megjelenik. Megjegyzendő, hogy a vizsgálófej megfelelő mozgásával, elfordításával ez kiküszöbölhető. Légtartó tüdő esetében az ultrahangnyaláb teljes visszaverődést szenved a lágy rész–levegő vagy folyadék–levegő határfelületen, így a keletkező képen a mellkasi lágy részeken és a mellhártya rétegein kívül, melyekről valódi kép keletkezik, jellegzetes műtermékprofilok jelennek meg. A mellkasi tüdő-ultrahangvizsgálat alapvetően a megjelenő műtermékek azonosításán és értékelésén alapul. Ezek között számos reverberációs műterméket találunk, melyek akár élettani (a pleura ismétlődő megjelenésének megfelelő horizontális ún. *A-vonalak*), akár elsősorban kóros körülmények között (például *B-vonalak*) figyelhetők meg. Valódi szöveti képként ábrázolódik a légtartalmát veszített tüdő. A nevezéktan *Lichtenstein és mtsai* munkásságától ered, mára széles körű konszenzus alakult ki az alkalmazásáról [1, 11, 12]. Az egyes főbb patológiás

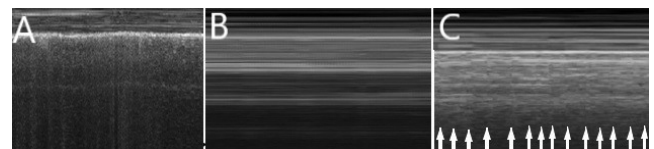
jelenségek bemutatását a megfelelő alkalmazási körnél ismertetjük.

A jelen közlemény célja, hogy bemutassuk a mellkas és a tüdő diagnosztikus célú ultrahangvizsgálatainak perioperatív alkalmazási lehetőségeit.

Légútbiztosítás

A légútbiztosítás sikerességét endotrachealis intubálást követően az aneszteziológusok a mindennapi rutin során elsősorban a tüdőfelek felett végzett összehasonlító hallgatódzással és a kilégtetett szén-dioxid kapnográfós mérésével ellenőrzik világszerte. Az ultrahangvizsgálatok szerepe ebben az indikációs körben célorientáltan, egyes speciális helyzetekben látszik megalapozottnak az elérhető irodalmi adatok tükrében. A tüdőcsúszás (*lung sliding*) jelensége a fal és a zsigeri pleuralemezek egymáson való elmozdulásakor keletkezik, melyet B- és M-módú képalkotással is igazolhatunk [13]. Nem mutatható ki, amennyiben az érintett tüdő nincs lélegeztetve, vagy a zsigeri pleuralemezt pneumothorax jelenléte miatt nem tudjuk ábrázolni. Ez utóbbi ritkább, de műtéti anesztézia során is előfordulhat, így ezt a két veszélyes helyzetet fontos differenciálnunk, mivel a megoldás eltérő. A differenciáldiagnosztika alapja az ún. tüdőpulzus azonosítása. Nem lélegeztetett tüdő esetében a zsigeri pleura a fal réteg alatt mozdulatlanul ábrázolódik ugyan, a szív mozgásai azonban az érintett tüdőre is pulzus-szinkron átvetődnek. Ez elsősorban M-módban figyelhető meg, amelyenél függőleges műtermékek jelennek meg (*T-vonalak*) a szívfrekvenciának megfelelő gyakorisággal (*1. ábra*) [14]. Pneumothorax esetén a tüdő felszínéről induló valamennyi képalkotási jelenség hiányzik, így tüdőpulzust sem látunk. A légmell diagnosztikájának további lépéseit későbbi alcím alatt ismertetjük. Fontos kiegészítés, hogy a tüdőcsúszás hiánya akkor lehet döntő jel az endobronchialis intubálás tekintetében, ha a légútbiztosítást megelőző vizsgálaton a csúszásjel jelen volt, és a beavatkozás után szűnt meg. Lehetséges a csúszásjel krónikus vagy akut betegség során kialakult elmaradása, például mellhártya-összenövés esetén.

A módszer klinikai előnye jelentős elhízás eseteiben lehet szembevetendő. A hallgatódzás ezen betegeknél nehezebb, több időt igényelhet, megbízhatósága csökken. Az ultrahangvizsgálatok elvégzési ideje azonban érdemben nem változik, gyakorlott vizsgálóval a légútbiztosítás igényeinek megfelelően rövid, a lélegeztetést megkezdve



1. ábra

A tengerpart (A), a sztratoszféra (B) és a tüdőpulzus (C) jelének bemutatása, T-vonalak (fehér nyilakkal jelölve) M-módú tüdő-ultrahangvizsgálati képanyagunkon

mindkét mellkasfélben detektálható tüdőcsúszás pedig megbízhatóan kizárja az endobronchialis tubus helyzetét [15].

Azonos metódus kaphat szerepet kettős lumenű tubusok alkalmazásakor mellkasi műtétek anesztéziája során, amikor éppen az endobronchialis tubushelyzet a kívánatos. Bár a hallgatódzásnak ebben az indikációban is van szerepe, a bronchoszkópos ellenőrzés egyértelműen az arany standard. Itt az ultrahangvizsgálatok alkalmazása meghaladja a fizikális vizsgálat diagnosztikus teljesítményét, de elmarad a bronchoszkópia pontosságától [16]. Indikációs területként felmerül, hogy a szokványosnál kisebb kaliberű dupla lumenű tubusok vagy egyes bronchusblokkoló eszközök oldalszeparáló hatásosságát vizsgáljuk ultrahanggal. Mindkét légútbiztosítással kapcsolatos mellkasi ultrahangvizsgálatra igaz, hogy időfaktoros jellegükből adódóan megfelelő gyakorlattal és abban az esetben lehetnek a rutinvizsgálatok hasznos kiegészítői, ha még a beavatkozás megkezdése előtt a beteghez adaptáljuk a beállításokat (például mélység, erősítés).

Általánosságban is fontos, hogy a vizsgálatok végzői legyenek tisztában a lélegeztetett betegeknek található, esetenként eltérő ultrahangvizsgálati lelet sajátosságaival. Szemben a spontán légzés viszonylag folyamatos légzőmozgásaival és a tüdő következményes csúszásjelével (melynek így iránya váltakozik), a műtői környezetben kifejezetten gyakran alkalmazott kontrollált lélegeztetési módok légzesciklusa a kilégzés végén és időnként a belégzés végén is szüneteket tartalmaz. Ezekben a periódusokban, különösen M-módban lehet szembeutú a csúszásjel és a tüdőpulzus jellemző képeinek váltakozása [17]. Az utóbbi során a rendelkezésre álló rövidebb idő miatt a *T-vonalak* észlelése elmaradhat, megnehezítve a légmelltől való elkülönítést.

Az intraoperatív lélegeztetés optimalizálása

A műtét alatti lélegeztetés finomhangolásának lehetőségei elsősorban a korszerű aneszteziológiai munkaállomások monitorizálási képességein múlnak, az ultrahang-diagnosztika azonban bármely eszközünk mellett nyújthat komoly kiegészítő információt, feltéve, hogy az egyidejű műteti tevékenység mellett megfelelő hozzáférésünk biztosítható. Ez utóbbi egyben az itt tárgyalt javallati kör egyik jelentős korlátja is, sajnos akár teljesen kizárva az intraoperatív alkalmazást. Megfelelő inszónáció lehetőség esetén azonban két fontos körülmény szól az ultrahangvizsgálat mellett. A tüdőt a műtét alatt érintő legtöbb kóros folyamat a mellhártya szintjét elérő vagy kifejezetten itt kialakuló eltérés (például atelectasia) [18, 19]. Az ultrahangvizsgálat diagnosztikus értéke a közvetlen subpleuralis atelectasiák tekintetében pedig a CT-ével összevethető [2, 20]. A tüdő légertalmának csökkenése pedig jellegzetes mintázatot követ: a B-vonalak felszaporodása, subpleuralis légertalom-csökkenés, transzlobaris atelectasia. A fenti körülményeket figyelembe véve több pontrendszert is szerkesztettek, melyek a

1. táblázat | A Lung Ultrasound Score, illetve Monastesse módosított feltételrendszere

LUS	Eredeti kritériumok	Módosított feltételrendszer
0	A-profil, max. 2 B-vonal	Megfelel az eredeti kritériumoknak
1	≥3 jól szeparált B-vonal/bordaköz	Az eredeti kritériumok és/vagy kis kiterjedésű subpleuralis konszolidáció(k), szabályos pleuravonallal
2	Összefolyó (konfluens) B-vonalak	Az eredeti kritériumok és/vagy több, kisebb kiterjedésű subpleuralis konszolidáció irreguláris pleuravonallal
3	Szövetszerű kép, komplett légertelenség	Az eredeti kritériumok vagy 1 × 2 cm-nél nagyobb területű légertelen terület(ek) a vizsgálati síkban

LUS = tüdő-ultrahangvizsgálati pontszám

légtartalom csökkenését számszerűsítik, döntően az intenzív terápia területéről [21–23], újabban a COVID–19 állapotsúlyosságának jellemzésére is [6, 24]. Az utóbbi területen munkacsoportunk is közölt adatokat [24]. Kifejezetten az aneszteziológiai alkalmazásra *Monastesse és mtsai* adaptálták a korábbi pontrendszereket (1. táblázat) [25]. A részletezett jelenségeket a mellkas 6–6 pontján felmérve 0–36 pont érhető el a légtartalom csökkenésének függvényében.

Alapvető fontosságú az ún. *B-vonalak* azonosítása és bordaközönkénti gyakoriságának felmérése. A *B-vonal* képalkotási műtermék nagy diagnosztikus értékkel. A tüdő felszínéről induló, lézernyalábszerű echodenz jelenség, mely gyengítenélül vezet a kép aljáig, és a tüdő mozgásait követi, az A-vonalakat pedig kioltja (2. ábra). Első leírói üstökösűcsóvához hasonlították, és a tüdő interlobularis septumainak vízenyős kiszélesedésével magyarázták, ez utóbbit ugyan többen vitatják [26].

A B-vonalak mellett a perioperatív időszak jellegzetes jelenségei a pleuravonal egyenletlenségeit okozó, kis méretű, hipodenz, szabálytalan szélű területekként mutató subpleuralis atelectasiák.



2. ábra | Soliter B-vonal

A tüdő légtartalom-csökkenésének az intra- és posztoperatív időszakban jellegzetes a térbeli, illetve időbeli alakulása. A légtartalom csökkenése kifejezettebb a dependens és a rekeszközei régiókban, hasonlóan az intenzív osztályon lélegeztetett betegeknek tapasztalhatóhoz [27, 28]. Különösen pneumoperitoneum alkalmazásakor a pontértékek emelkedése gyors, már az 5. intraoperatív percnél megfigyelhető, és további, ekkor már lassabb emelkedés az extubálást követő, ébredőszobai érkezésig mutatható ki [25]. A pontszám emelkedését nagyban befolyásolja a gépi lélegeztetett idő, a Trendelenburg-pozíció, illetve egyes tanulmányok szerint a koloid infúzió dózisa is [27]. A pontértékelés az előzőek figyelembevételével jól alkalmazható a lélegeztetés monitorozásában, és segítséget ad a beállítások finomhangolásához. Ahogy utaltunk már rá, a vizsgálható mellkasi területek azonban műtéttípusonként jelentősen eltérhetnek, és a megszokott izolálási technikák mellett kifejezetten korlátozott lehet a hozzáférésünk. A megfelelő kompromisszumos helyzet kialakítása a műtői teamek racionális együttműködése mellett a beteg pulmonalis kockázata alapján és a műtét igényeinek pontos felmérése után lehetséges.

A FiO₂ kifejezetten magas értékeit korábban többen javasolták a posztoperatív sebfertőzés kialakulásának mérséklésére [29]. A mára már jórészt megcáfolt elképzeléssel szemben a nagy, akár 100%-os oxigénbelégzés esetlegesen jelentkező káros hatásait a mellkasi ultrahang-diagnosztika is mutatja. *Kim és mtsai* [30] már a közvetlenül a műtét utáni periódusban nagyobb atelektasiahajlamot igazoltak, amennyiben az intraoperatív periódusban akár csak a 'recruitment' manőverek alatt – ilyen beállítást alkalmaztak.

Az oxigenizáció biztosításában a pozitív kilégzésvégi nyomás optimalizálása kulcsfontosságú, az ultrahang-vizsgálat pedig valós idejű követéssel segítheti a megfelelő érték megválasztását. *Cylwik és Buda* a közelmúltban ismertett alkalmas protokollt, mely a PEEP 2 vízcm-enkénti léptetésének hatásait méri le [31]. A szerzőpáros későbbi eredményei alapján a módszer alkalmasnak tűnik a posztoperatív tüdőszövődmények csökkentésére [32].

A műtét alatti légzészavarok differenciáldiagnosztikája

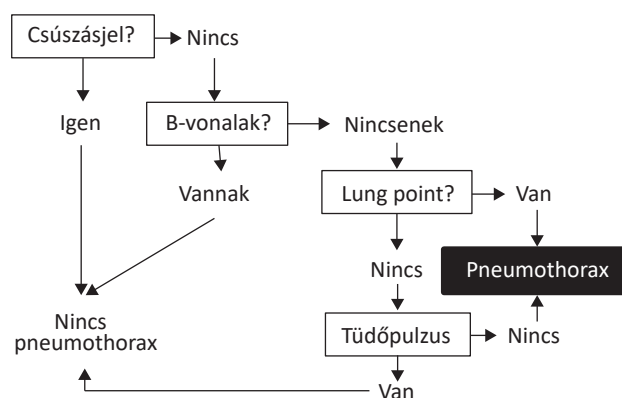
A műtét alatti gázcsere zavarok az anesztézia legsúlyosabb szövődményei közé tartoznak. Kialakult légzési elégtelenség tekintetében a mellkasműtétől függően a BLUE- (bedside lung ultrasound in emergency) protokoll általában jól alkalmazható. *Lichtenstein* iskolateremtő munkái mára tankönyvek alapját is jelentik, itteni kiemert ismertetésük helyett a főbb jellemzőket mutatjuk be, valamint az eredeti forrásra utalunk [1]. A BLUE-protokoll erénye, hogy egységesítette a vizsgálandó tüdőmezőket, illetve bevezette a jellemző műterméki jelenségek alapján a *profilok* fogalmát. Mellkasfelenként két anterior (felső, alsó), illetve egy posterolateralis vizsgálati

pontot jelöl meg. Az utóbbi a hátulsó hónaljvonal és a rekesz találkozásának várható helyzete, de a gyakorlat számára megengedett az azonos magasságban elérhető leghátsóbb pont vizsgálata is. Eredeti leírásában *Lichtenstein* kiegészíti a mellkasi vizsgálatot az alsó végtagi mélyvénák vizsgálatával is. *A-profil*nak az elülső tüdőmezők vizsgálatával A-vonalakat mutató, a tüdő megtartott csúszásjelével járó vizsgálati leletet lehet véleményezni. *A'-profil* esetén a vessző (') arra utal, hogy a csúszásjel nem azonosítható az egyik vagy másik oldalon. *B-profil*-nál az anterior vizsgálati mezőkben patológiásan felszaporodott (>2/bordaköz) B-vonalak azonosíthatók. Fontos, hogy mindkét oldalon, és a csúszásjel egyik mellkásfelen sem hiányzik. *B'-profil* megjelölés az előzőeknek megfelelően az adott oldalon hiányzó csúszásjel mellett fennálló B-vonalakra utal. Ha az egyik oldalon A-, a másik oldalon B-profil található, *A/B-profil* szerepel a véleményben. *C-profil* megjelöléssel a konszolidátumot azonosító leletet jelöli. A *PLAPS*-profil a korábban ismertettek szerint konszolidátum és/vagy pleuralis folyadék együttes megjelenését jelenti, a két komponens arányától függetlenül. A *PLAPS*-profil a fent jelzett lokalizációban észlelt kép, független az anterior lelettől.

A protokoll részletes algoritmust ajánl a diagnózis felállításához. Röviden összefoglalva: normál A-profil mellett a légzési elégtelenség oka COPD vagy asztma lehet. Az A-profil és vénás rendszeri thrombus tüdőembóliára utal. A kétoldali B-profil a leggyakrabban a tüdőödéma jele, míg az A/B profil vagy C-profil pneumóniás eredetet valószínűsít, hasonlóképpen, ha A-profil mellett *PLAPS* mutatható még ki. Az utóbbiak intraoperatív nővum fellépése természetesen nem jellemző.

A pneumothorax diagnózisa

A pneumothorax diagnózisa különösen intra- és perioperatív környezetben gyakran a gyors beavatkozás igénye és a nehezített röntgenképfelkutatás ellentétes kontextusában merül fel. A tüdőcsúszás és a tüdőpulzus hiánya a légmell fontos ultrahangjelei, a megfelelő diagnosztikus



3. ábra | A pneumothorax diagnózisának algoritmusa *Volpicelli és mtsai* [3] alapján módosítva

bizonyosság azonban algoritmus követését teszi szükségessé, melyet a 2012-ből rendelkezésre álló konszenzusz-dokumentum alapján ismertetünk (3. ábra) [3].

Ép anatómiai viszonyok között a fali és a zsigeri pleuralemezek a légzés során egymáshoz képest elmozdulnak, melyek a B-, illetve M-módú vizsgálatok során jellegzetes képet adnak. B-módban az echodenz pleura légzésszinkrón „oda-vissza” mozgását, míg M-módban a *Merlin-térben* (a fiziológiásan a zsigeri pleuralemezről induló műtermékek tölthetnek ki) a „homokos tengerpart” jelet láthatjuk, melyek megfeleltethetők az ún. „csúszásjelnek” [33].

A pneumothorax vizsgálata e csúszásjel keresésével kezdődik, megléte a diagnózis ellen szól. Hiányzó csúszás esetén az M-módú képen a fali mellhártyánál mélyebb területek képe már nem mutatja a fenti „homokos tengerpart” jelet, *vonalkód*, más néven *sztratoszféra* jele tűnik fel, ám ez önmagában még mindig nem elégséges bizonyíték, mivel a pleuracsúszás hiányának hátterében többféle egyéb kóros állapot (például perifériás bulla, korábbi pleurodesis, féloldali intubálás, akut asztmás roham) állhat. A B-vonalak prominens jelenségek, és kizárólag a zsigeri pleuráról indulhatnak, így egyetlen B-vonal jelenléte is elégséges a pneumothorax elvetéséhez. (Itt jegyzendő meg, hogy subcutan emphysema esetén, mely gyakran észlelhető légmell mellett, a bőr alatti szövetektől a levegőzárványok miatt B-vonalhoz hasonló, de nem a pleurától induló, ún. *E-vonalak* nehezíthetik a differenciáldiagnózist.)

B-vonal nélküli képen a *lung point* nevű jelenség keresését kezdjük. Annak a területnek felel meg, ahol a pneumothorax széli részén tüdő éri el a mellkasfalat. Keresésekor a magasabban fekvő területen meggyűlt légmellet feltételezve, a csúcsi területeken oldal felé haladva, szükség esetén bordaközönként ismételve érhető el általában. Tenziós légmell esetén hiányozhat, ha nincs olyan terület, ahol az összeesett tüdő eléri a mellkasfalat. Megjelenésekor a csúszásjel nélküli A-profil hirtelen, függőny-szerűen beúszva oltja ki a mozgó tüdő képe (*lung point*). Ennek felkeresése – főleg kisebb gyakorlattal rendelkező vizsgáló esetén – M-módban lehet sikeresebb. A jelenség azonosítása egyértelműen igazolja a pneumothorax jelenlétét, hiányában további vizsgálat szükséges.

Az előbbiek együttes hiányában a kezdődő atelectasia (például endobronchialis tubushelyzet, aspiráció miatt) képezi a differenciáldiagnózis tárgyát. A nem ventilált tüdő a szív mozgásai miatt pulzusszinkrón, finom mozgást vesz fel, mely a már említett *tüdőpulzusként* azonosítható [14]. Az M-módú képen vertikális vonalak jelzik, melyek során a sztratoszféra jelére emlékeztető kép szlopszerűen megszakad: ezt a szakirodalom „*T-vonalak-ként*” nevezi meg [34] (1. ábra). Mindenképpen aprólékos megfigyelés szükséges a fenti jelekkel kapcsolatban, ugyanis néhány – főként lélegeztetett betegre jellemző – variáns a felületes szemlélő számára tévesen a pneumothorax diagnózisához vezethetne. A teljesség igénye nél-

kül ilyen az ún. „*mangrove*” variáns, a *pseudo-A'-profil*, a „*grain of sand*” variáns [34].

Ha tüdőpulzust sem tudunk kimutatni, pneumothoraxot véleményezzünk. Kellő gyakorlattal alkalmazva a mellkasi ultrahangvizsgálat a pneumothorax (és több más perioperatív eltérés) azonosítására a hagyományos röntgendiagnosztikánál jobb diagnosztikus értékű lehet [2, 35].

Posztoperatív prognózis

Az őrzők, intenzív osztályok korlátozott kapacitása világszerte szükségessé teszi, hogy ezeken az osztályokon olyan betegek kezelését végezzük, akik a posztoperatív szövődmények jelentős kockázatának vannak kitéve, és ezek a kezelési modalitások a beteg számára valóban pozitív hozzáadékkal járnak. Kulcsfontosságú az is, hogy a betegek pontosan a szükséges időt töltsék itt. A posztoperatív tüdőszövődmények gyakoriságát a megfelelő aneszteziológiai gyakorlat hatékonyan képes csökkenteni, elsősorban az alkalmazott izomrelaxáció jól időzített felfüggesztése és hatásos analgészia által [36, 37]. Mindazonáltal a tüdőszövődmények előrejelzése optimalizálhatja az intenzív osztályos felvételt, illetve az itt tölthető időt. A már ismertett kvantitatív ultrahangvizsgálatok ilyen jellegű alkalmazása is ismert. *Zieleskiwicz és mtsai* igazolták, hogy az ébredőszobában 12 feletti pontérték vagy az ezen korai időpontban felismert translobaris konszolidációk vagy pleuralis folyadékgyülemek a tüdőszövődmények független rizikófaktorai [38]. Mivel az eltérések vagy az ilyen magas pontértékek beteg- és műtétcsoporttól függően ugyan, de alapvetően ritkábban észlelhetők közvetlenül a műtétet követően, megfigyelésünk szerint a műtétet 24 órával követően elvégzett mellkasi ultrahangvizsgálatok prognosztikai értéke a legjobb [39]. A pontérték fennmaradó emelkedése vagy az ekkor észlelt 5 feletti értékek a posztoperatív tüdőszövődmények szenzitív előjelzőinek bizonyultak.

Amennyiben a posztoperatív ellátás intenzív osztályon, gépi lélegeztetés mellett zajlik, figyelemre méltóak az extubációs sikertelenséget (sikertelen spontán légzési próbát), illetve a reintubáció szükségességét előre jelző megfigyelések. Idős, szív-műtéten átesett betegek körében végzett ilyen célú vizsgálat az anterolaterális mezők 10 feletti pontszámát, illetve a spontán légzési próba alatti jelentős, legalább 4 pontszámnyi romlását találta az elsősorban a gépi leszoktatást kísérő tüdőviznyó miatt sikertelen extubációs kísérletek kísérő jelenségének [40].

További perspektíva

Az ultrahangkészülékeket az egyre javuló teljesítményük, mindinkább hozzáférhető árak már jelenleg is az intenzív osztályok és a fájdalomterápiás csoportok állandó eszközparkjába emelte [41]. A műtői alkalmazás még elsősorban az invazív eszközök behelyezését szolgálja, de az előbb említett okokból várható a mellkasi és tüdő-ult-

rahangvizsgálatok mindinkább kiszélesedő műtői diagnosztikus alkalmazása és az erre alapozott célzott ellátás lehetősége. Az operátorfüggőség mint lehetséges kihívás a megfelelő képzések egységesítésével hatásosan csökkenthető [42, 43]. Az elmúlt években – főként a pandémia okozta kényszer hatására – robbanásszerűen megindult a gépi tanulási módszerek („klasszikus” modellek, mélytanulási hálózatok, tudástranszfer-alapú hálózatok) fejlesztése ezen a területen is.

Az ultrahangvizsgálatot érintő ismert, általános képminőségi problémák (interferenciális mintázat, kis felbontás) és a mellkasi ultrahangvizsgálatok részben már említett sajátosságai (kis akusztikus ablak, levegő-határfelületi energiavesztés) együtt teszik a számítástechnikai eszközöket egyre fontosabbá a képalkotás során, hiszen ezek képesek a képben rejlő információ legjobb minőségben történő rekonstrukciójára, így segíthetnek kiaknázni a mellkasi ultrahangvizsgálat előnyeit a klinikai alkalmazásokban.

További problémát jelenthet a generalizáltnál felhasználható modellek létrehozásakor, hogy a mellkasi ultrahangvizsgálatok beállítási jelenleg nem szigorúan standardizáltak. Az elmúlt években ezt több nemzetközi kutatócsoport is felismerte [7, 44], valamint születtek olyan gépi tanulási rendszerek is, amelyek segítik a standardizált adatbankok létrehozását is [45].

A mellkasi és tüdő-ultrahangvizsgálatok az ágy melletti diagnosztikában egyre nagyobb szerepet kaptak az elmúlt években. Az eredeti sürgősségi és intenzív osztályos alkalmazás mellett a nemzetközi és örvendetesen bővülő hazai szakirodalom [46], valamint a mindennapi klinikai tapasztalatok alapján is helyük van az aneszteziológiai ellátásban. Összefoglalónkban felhívtuk a figyelmet a mellkasi ultrahangvizsgálat alkalmazására számos kínálkozó területen, ahol akár kiegészítő vizsgálati modalitásként, például a légútbiztosítás kérdéseiben, akár komplex diagnosztikus algoritmusok alapjául szolgálhat az intraoperatív és posztoperatív veszélyhelyzetek, például a légzészavarok felismerésében és kezelésében. Természetesen – mint minden módszernek – ennek is megvannak a korlátai, melyeket a mindenkori ellátás kapcsán messzemenőig figyelembe kell venni. Az aneszteziológiai gyakorlat számára alapvető alkalmazások kapcsán az ultrahang használata a betegbiztonság fokozása érdekében mindenképpen megfontolandó.

Anyagi támogatás: A közlemény megírása, illetve a kapcsolódó kutatómunka anyagi támogatásban nem részesült.

Szerzői munkamegosztás: Sz. M., O. G.: Az irodalom áttekintése, a kézirat szövegezése, az ábrák elkészítése. D. K., I. Zs. D.: A kézirat véleményezése, javítása. A cikk végleges változatát valamennyi szerző elolvasta és jóváhagyta.

Érdekltségek: A szerzőknek nincsenek érdekltségeik.

Irodalom

- [1] Lichtenstein DA, Mezière GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest* 2008; 134: 117–125.
- [2] Touw HR, Schuitemaker AE, Daams F, et al. Routine lung ultrasound to detect postoperative pulmonary complications following major abdominal surgery: a prospective observational feasibility study. *Ultrasound J*. 2019; 11: 20.
- [3] Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med*. 2012; 38: 577–591.
- [4] Papp E, Pusztai É, Herendi EA, et al. Treatment of patients with malignant pleural effusion in a tertiary oncology center during the COVID-19 pandemic. [Malignus pleuralis effúsiókkal küzdő betegek ellátása egy regionális onkológiai központban a COVID-19-pandémia időszakában.] *Orv Hetil.* 2022; 163: 1015–1022. [Hungarian]
- [5] Balla B, Fülesdi B, Végh T. Anesthesia and perioperative considerations for patients with prior SARS-CoV-2 infection. [Korábban SARS-CoV-2-fertőzésen átesett betegek műteti érzéstelenítése és perioperatív ellátása.] *Orv Hetil.* 2022; 163: 695–701. [Hungarian]
- [6] Hussain A, Via G, Melniker L, et al. Multi-organ point-of-care ultrasound for COVID-19 (PoCUS4COVID): international expert consensus. *Crit Care* 2020; 24: 702.
- [7] Soldati G, Smargiassi A, Inchingolo R, et al. Proposal for international standardization of the use of lung ultrasound for patients with COVID-19: a simple, quantitative, reproducible method. *J Ultrasound Med*. 2020; 39: 1413–1419.
- [8] Vetrugno L, Bove T, Orso D, et al. Our Italian experience using lung ultrasound for identification, grading and serial follow-up of severity of lung involvement for management of patients with COVID-19. *Echocardiography* 2020; 37: 625–627.
- [9] Volpicelli G, Gargani L. Sonographic signs and patterns of COVID-19 pneumonia. *Ultrasound J*. 2020; 12: 22.
- [10] Volpicelli G, Gargani L, Perlini S, et al. Lung ultrasound for the early diagnosis of COVID-19 pneumonia: an international multicenter study. *Intensive Care Med*. 2021; 47: 444–454.
- [11] Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, et al. The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997; 156: 1640–1646.
- [12] Lichtenstein DA, Lascols N, Mezière G, et al. Ultrasound diagnosis of alveolar consolidation in the critically ill. *Intensive Care Med*. 2004; 30: 276–281.
- [13] Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, et al. The comet-tail artifact: an ultrasound sign ruling out pneumothorax. *Intensive Care Med*. 1999; 25: 383–388.
- [14] Lichtenstein DA, Lascols N, Prin S, et al. The “lung pulse”: an early ultrasound sign of complete atelectasis. *Intensive Care Med*. 2003; 29: 2187–2192.
- [15] Rajan S, Surendran J, Paul J, et al. Rapidity and efficacy of ultrasonographic sliding lung sign and auscultation in confirming endotracheal intubation in overweight and obese patients. *Indian J Anaesth*. 2017; 61: 230–234.
- [16] Sustić A, Protić A, Cicvarić T, et al. The addition of a brief ultrasound examination to clinical assessment increases the ability to confirm placement of double-lumen endotracheal tubes. *J Clin Anesth*. 2010; 22: 246–249.
- [17] Lichtenstein D. Lung ultrasound of the critically ill: the BLUE protocol. Springer, London, 2016.
- [18] Rock P, Rich PB. Postoperative pulmonary complications. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2003; 16: 123–131.
- [19] Smith PR, Baig MA, Brito V, et al. Postoperative pulmonary complications after laparotomy. *Respiration* 2010; 80: 269–274.
- [20] Chiumello D, Mongodi S, Algieri I, et al. Assessment of lung aeration and recruitment by CT scan and ultrasound in acute

- respiratory distress syndrome patients. *Crit Care Med.* 2018; 46: 1761–1768.
- [21] Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, et al. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *Am J Respir Crit Care Med.* 2011; 183: 341–347.
- [22] Mongodi S, Bouhemad B, Orlando A, et al. Modified lung ultrasound score for assessing and monitoring pulmonary aeration. *Ultraschall Med.* 2017; 38: 530–537.
- [23] Mongodi S, Pozzi M, Orlando A, et al. Lung ultrasound for daily monitoring of ARDS patients on extracorporeal membrane oxygenation: preliminary experience. *Intensive Care Med.* 2018; 44: 123–124.
- [24] Orosz G, Gyombolai P, Tóth JT, et al. Reliability and clinical correlations of semi-quantitative lung ultrasound on BLUE points in COVID-19 mechanically ventilated patients: the 'BLUE-LUSS' – a feasibility clinical study. *PLoS ONE* 2022; 17: e0276213.
- [25] Monastesse A, Girard F, Massicotte N, et al. Lung ultrasonography for the assessment of perioperative atelectasis: a pilot feasibility study. *Anesth Analg.* 2017; 124: 494–504.
- [26] Smargiassi A, Zanforlin A, Perrone T, et al. Vertical artifacts as lung ultrasound signs: trick or trap? Part 2. An accademia di ecografia toracica position paper on B-lines and sonographic interstitial syndrome. *J Ultrasound Med.* 2023; 42: 279–292.
- [27] Frassanito L, Sonnino C, Pitoni S, et al. Lung ultrasound to monitor the development of pulmonary atelectasis in gynecologic oncologic surgery. *Minerva Anesthesiol.* 2020; 86: 1287–1295.
- [28] Rothen HU, Sporre B, Engberg G, et al. Re-expansion of atelectasis during general anaesthesia: a computed tomography study. *Br J Anaesth.* 1993; 71: 788–795.
- [29] Allegranzi B, Zayed B, Bischoff P, et al. New WHO recommendations on intraoperative and postoperative measures for surgical site infection prevention: an evidence-based global perspective. *Lancet Infect Dis.* 2016; 16: e288–e303.
- [30] Kim BR, Lee S, Bae H, et al. Lung ultrasound score to determine the effect of fraction inspired oxygen during alveolar recruitment on absorption atelectasis in laparoscopic surgery: a randomized controlled trial. *BMC Anesthesiol.* 2020; 20: 173.
- [31] Cylwik J, Buda N. Lung ultrasonography in the monitoring of intraoperative recruitment maneuvers. *Diagnostics (Basel)* 2021; 11: 276.
- [32] Cylwik J, Buda N. The impact of ultrasound-guided recruitment maneuvers on the risk of postoperative pulmonary complications in patients undergoing general anesthesia. *J Ultrason.* 2022; 22: e6–e11.
- [33] Lichtenstein D. 8. The pleural line. In: Lichtenstein D. Lung ultrasound of the critically ill: the BLUE protocol. Springer, London, 2016; pp. 63–64.
- [34] Lichtenstein D. 10. The A-profile. In: Lichtenstein D. Lung ultrasound of the critically ill: the BLUE protocol. Springer, London, 2016; pp. 67–78.
- [35] Xirouchaki N, Magkanas E, Vaporidi K, et al. Lung ultrasound in critically ill patients: comparison with bedside chest radiography. *Intensive Care Med.* 2011; 37: 1488–1493.
- [36] Fuchs-Buder T, Romero CS, Lewald H, et al. Peri-operative management of neuromuscular blockade: a guideline from the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care. *Eur J Anaesthesiol.* 2023; 40: 82–94.
- [37] Pöpping DM, Elia N, Marret E, et al. Protective effects of epidural analgesia on pulmonary complications after abdominal and thoracic surgery: a meta-analysis. *Arch Surg.* 2008; 143: 990–999.
- [38] Zieleskiewicz L, Papinko M, Lopez A, et al. Lung ultrasound findings in the postanesthesia care unit are associated with outcome after major surgery: a prospective observational study in a high-risk cohort. *Anesth Analg.* 2021; 132: 172–181.
- [39] Szabó M, Bozó A, Darvas K, et al. The role of ultrasonographic lung aeration score in the prediction of postoperative pulmonary complications: an observational study. *BMC Anesthesiol.* 2021; 21: 19.
- [40] Bouhemad B, Mojoli F, Nowobilski N, et al. Use of combined cardiac and lung ultrasound to predict weaning failure in elderly, high-risk cardiac patients: a pilot study. *Intensive Care Med.* 2020; 46: 475–484.
- [41] Almási R. Ultrasound imaging has a potential to exhibit biotechnical advance in perioperative pain management. [Az ultrahang-képalkotás alkalmazása biotechnikai előrelépés a perioperatív fájdalomcsillapításban.] *Orv Hetil.* 2019; 160: 573–584. [Hungarian]
- [42] Kumar A, Weng Y, Graglia S, et al. Interobserver agreement of lung ultrasound findings of COVID-19. *J Ultrasound Med.* 2021; 40: 2369–2376.
- [43] Rouby JJ, Arbelot C, Gao Y, et al. Training for lung ultrasound score measurement in critically ill patients. *Am J Respir Crit Care Med.* 2018; 198: 398–401.
- [44] Allinovi M, Hayes W. Simplified 8-site lung ultrasound examination to assess fluid overload in children on haemodialysis. *Clin Kidney J.* 2021; 14: 1851–1852.
- [45] Demi L. Lung ultrasound: the future ahead and the lessons learned from COVID-19. *J Acoust Soc Am.* 2020; 148: 2146.
- [46] Almási R, Böhm T, Faluhelyi N. (eds.) Use of ultrasound in anaesthesia and intensive therapy. [Almási R, Böhm T, Faluhelyi N. (szerk.) Az ultrahang használata az aneszteziológiában és az intenzív terápiában.] *Medicina Könyvkiadó, Budapest*, 2018. [Hungarian]

(Szabó Marcell dr.,
Budapest, Üllői út 78., 1082
e-mail: szabo.marcell@med.semmelweis-univ.hu)