

# Humán kadávermodell a légmell ágy melletti ultrahang-diagnosztikájához

## Előtanulmány

Ádám Noémi oh.<sup>1</sup> ■ Orosz Gábor dr.<sup>2, 3</sup>  
Berczi Máté dr.<sup>2</sup> ■ Ruttkay Tamás dr.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Anatómiai, Szövet- és Fejlődéstani Intézet, Budapest

<sup>2</sup>Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Aneszteziológiai és Intenzív Terápiás Klinika, Budapest

<sup>3</sup>Óbudai Egyetem, Egyetemi Kutató és Innovációs Központ, Bejczy Antal iRobottechnikai Központ, Budapest

**Bevezetés:** Az ágy melletti ultrahangvizsgálat alkalmazása az elmúlt évtizedben a sürgősségi, valamint az intenzív és aneszteziológiai ellátás egyik meghatározó elemévé vált. A mindennapi alkalmazások közül szakmaspecifikusan kiemelkedik a tüdő ultrahangvizsgálata, mely a koronavírus-járvány kapcsán óriási lendületet kapott. A leggyakrabban alkalmazott protokollok első lépése az életet közvetlenül is veszélyeztető állapotok azonnali diagnosztikája (például pneumothorax), hogy minél hamarabb kerülhessen sor a megfelelő intervencióra. A fentieknek megfelelően a sürgősségi szakmák hazai curriculumába is bekerült a tüdő ultrahangvizsgálatának oktatása.

**Célkitűzés:** Jelen kadávermodell-alapú előtanulmányunkkal az ágy melletti tüdő-ultrahangvizsgálat hazai gyakorlatát szeretnénk javítani és ezáltal a betegbiztonságot fokozni a mindennapi klinikai munka során.

**Módszer:** Kísérleti összeállításunkban a kiválasztásra került 5 friss, még nem konzervált humán kadávert alkalmaztunk, melyeken a később részletezett módon létrehoztuk a mesterséges légmellet. Sürgősségi tüdő-ultrahangprotokoll alapján ágy melletti ultrahangkészülékkel 10 másodperces mozgó képsort vettünk fel, melyet a későbbiekben két független, intenzív terápiában járatos szakember pontozott megadott pontrendszer alapján.

**Eredmények:** A szakértők pontozása alapján a modellünk segítségével nyert képanyag a képminőség, a tüdőprofilok meghatározhatósága, valamint a szemikvantitatív pontozhatóság tekintetében is összességében mérsékelt-jó, illetve jó-kiváló egyezéssel alkalmasnak tűnik további oktatási célú felhasználásra.

**Megbeszélés:** A továbbiakban tervezzük a konzervált kadávereken való vizsgálatot is, mely költséghatékonyság és eltávolíthatóság szempontjából is kedvező lehet.

**Következtetés:** Eredményeink szerint az általunk előkészített kadávermodell alkalmas lehet a klinikai oktatásra, kellően élethű, valamint képanyagadatbank létrehozására is, mely a jövőben digitális oktatásra is felhasználható.

Orv Hetil. 2023; 164(46): 1824–1830.

**Kulcsszavak:** tüdőultrahang, légmell, oktatás, humán kadávermodell, betegbiztonság

## Proposal of a human cadaveric model for bedside ultrasound-based pneumothorax detection

### A preliminary study

**Introduction:** In the last decade, the use of bedside ultrasound examination has become one of the defining elements of emergency and intensive-anesthesia care. Among the everyday applications, lung ultrasound examination, which received a huge boost in connection with the coronavirus pandemic, stands out in a profession-specific manner. The first step of the most frequently used protocols is the immediate diagnosis of life-threatening conditions (e.g., pneumothorax) so that appropriate intervention can take place as soon as possible. In accordance with the above, the teaching of lung ultrasound examination has also been included in the domestic curriculum of emergency professions.

**Objective:** With our present cadaveric preliminary study, we want to improve the domestic practice of bedside lung ultrasound examination and thus increase patient safety in the everyday clinical workflow.

**Method:** In our experimental set-up, we used 5 selected fresh, unpreserved human cadavers, on which we created artificial pneumothorax as detailed later. Based on emergency lung ultrasound protocol, we recorded 10-second loops with a bedside ultrasound device, which were later scored by two independent intensive experts based on a given scoring system.

**Results:** According to expert assessments, the image quality of the image database obtained with the help of our model, the clarity of lung profiles, and the semi-quantitative scoring all demonstrate a suitable level for further educational purposes, with a consensus ranging from moderate to excellent quality.



**Discussion:** In the future, we also plan to use preserved cadavers, which can be favourable from the point of view of cost-effectiveness and storability.

**Conclusion:** According to our results, the cadaver model prepared in our way is sufficiently realistic, potentially suitable for clinical education, and also for creating an image data bank, which can also be used for digital education in the future.

**Keywords:** lung ultrasound, pneumothorax, training, human cadaveric model, patient safety

Ádám N, Orosz G, Berczi M, Ruttkay T. [Proposal of a human cadaveric model for bedside ultrasound-based pneumothorax detection. A preliminary study]. *Orv Hetil.* 2023; 164(46): 1824–1830.

(Beérkezett: 2023. augusztus 9.; elfogadva: 2023. szeptember 8.)

## Rövidítések

2D = kétdimenziós; AVI = (Audio Video Interleave) audio-video összesorolás, -fésülés; BLUE = (bedside lung ultrasound in emergency) ágy melletti ultrahangvizsgálat a sürgősségi ellátásban; BLUE-pont = a BLUE-protokollhoz tartozó, standard vizsgálati pont; cLUSS = (coalescence-based lung ultrasound score) egyesített tüdőultrahang-pontrendszer; M-mód = (motion mode) mozgásmód; PEEP = (positive end-expiratory pressure) pozitív végkilégzési nyomás; POCUS = (point-of-care ultrasonography) ágy melletti ultrahangvizsgálat; qLUSS = (quantitative lung ultrasound score) kvantitatív tüdőultrahang-pontrendszer; SE RKEB = a Semmelweis Egyetem Regionális, Intézményi Tudományos és Kutatásaitikai Bizottsága

A feszülő légmell az életre leginkább veszélyes sürgősségi kórképek csoportjába tartozik: az általa generált fatális hemodinamikai krízishelyzet másfél perc alatt emberéletet követelhet [1, 2]. Szelepes mechanizmus kialakulását követően a légmellek bármely fajtája progresszív tenziós formába. Ekkor minden légvételt alkalmával a légutakból vagy külső traumás sérülésből a levegő folyamatosan gyűlik a mellűrben, csapdában reked a fal és zsigeri mellhártyalemezek között, és a megnövekedő mellűri nyomás teljes egészében komprimálja az érintett tüdőfelet. További progresszió esetében az ellenkező oldalra tolja a gátörüreg és tartalmát, így ellenoldalra kerül a trachea, a szív és a nagyerek is. A kialakult magas pozitív nyomás összenyomja a vena cava superior, a feriot, csökken a szív felé történő vénás visszaáramlás, a teljes keringés-összeomlás állapotát idézve elő [1, 2].

A gyors és pontos diagnózis már a gyanújelek felmerülésekor alapvető elvárás. Az okozott klinikai kép pusztán fizikális vizsgálattal nehezen különíthető el egyéb sokkformáktól, ennek megfelelően komoly igény mutatkozik olyan diagnosztikus segítségre, amely gyorsan, a helyszínen alkalmazható, relatíve széles körben elérhető, és az ellátásban részt vevő, sürgősségi szakmát gyakorló klinikus számára elsajátítható készség [3, 4].

Ezen igények kielégítésére kezdtek el alkalmazni – a korábban gyakorlatilag lehetetlennek gondolt – tüdőultrahangvizsgálatokat. Az alapkoncepció és a protokollok fejlesztése szakmaspecifikusnak mondható: az anesz-

teziológia és intenzív terápia, valamint a sürgősségi orvostan saját innovációja [5, 6]. A mai orvosi gyakorlatban ez a vizsgálat a sürgősségi állapotú betegek célzott ultrahang-diagnosztikájának (angolul: POCUS – point-of-care ultrasonography) integráns része [7, 8].

Alkalmazhatósága és a légmell diagnosztikájában mutatókozó szenzitivitása és specifitása ma már gyakorlatilag nem tárgya szakmai vitáknak [9–13]. Tény azonban, hogy a tüdő ultrahangos képalkotása a konvencionális radiológiai elképzelésektől eltérő logikát kíván. Törekvéseink nem egy minél tökéletesebb anatómiai ábrázolás irányába mutatnak, hanem ellenkezőleg: a „nyers” ultrahangképen megtalálható műtermékek mintázatát értékeljük mind statikusan, mind pedig dinamikusan. Nincs szükség speciális képfeldolgozó filterek és képjavító technikák alkalmazására [14, 15]. Jelentős előnyt jelent, hogy a fentiek miatt nincs szükség „radiológiai tudású” ultrahangkészülékekre, a napjainkban elterjedt hordozható, „kézi” (angolul: hand-held) készülékek tökéletesen alkalmazhatók, használatuk sugárterheléssel nem jár sem a beteg, sem a beavatkozó személyzet számára. Így már prehospitalis környezetben, a mentést végző szak személyzet által is lehetővé válik ezen kórkép időben történő felismerése, és lehetőség nyílik az azonnali intervencióra is (tüdekompresszió vagy thoracostomia) [16].

A feszülő légmell kialakulási dinamikája a klinikai gyakorlatban szinte lehetetlenné teszi az ágy melletti komplex készségátadást az ultrahangos diagnosztika tekintetében. Az erre irányuló képzés így alapvetően korábban rögzített képanyag megtekintésében merül ki [4, 17, 18]. Potenciálisan szóba jönnek kifejezetten erre a célra gyártott fantomok is, ezek ára azonban gátat szabhat alkalmazásuknak.

A jelen előtanulmány célja egy, a graduális és a posztgraduális oktatásban (orvostanhallgatók, orvosok, mentőtisztok, kiterjesztett hatáskörű ápolók) is alkalmazható kadávermodell megalkotása, mely a légmell ultrahangos diagnosztizálásának elsajátítását segíti [4]. Felvetésünk szerint az elhunytakon élethű módon rekonstruálható a légmell okozta patológiás állapot, melyet ultrahanggal vizsgálva valóság-hű képet kapunk, ezáltal a gyakorlati oktatás fejlődése és biztosabb készség szintű alaptudás érhető el.



Kiemelt célunk volt a légmell létrehozásának minimálisan invazív, ugyanakkor a jövőben gazdaságosan ismételtetű technikáját kidolgozni, mely a mellkas szinte teljes egészét érintetlenül hagyja az ultrahangvizsgálat számára (korábbi nemzetközi publikációk jelentősen invazív megoldásaival szemben) [19–22]. A megfelelő kadávertechnika kifejlesztésén és kipróbálásán túl célunk volt, hogy a már meglévő, oktatásra alkalmazott klinikai képadatbankunkat (SECOVIDNET, etikai engedély: Nr. 303/2021 SE RKEB) tovább bővíthessük. A keletkezett képanyagunkat ezért oktató szakértők segítségével is értékeltük.

## Módszer

Előtanulmányunkat a Semmelweis Egyetem Anatómiai, Szövet- és Fejlődéstani Intézetében végeztük. A munkafolyamat során az Intézet számára kifejezetten oktatási és kutatási célokra felajánlott friss, még nem tartósított, illetve fagyasztott testek felhasználása történt 2021. október és 2022 májusa között. Összesen 5 kadávért vizsgáltunk, 3 nő (életkor 79–88 év, testmagasság 154–173 cm, testtömeg 45–55 kg) és 2 férfi (életkor 70–74 év, testmagasság 178–180 cm, testtömeg 79–85 kg) arányban. Beválasztási kritériumaink alapján 18 évesnél idősebb, traumásan nem sérült, külsőleg ép mellkasfelekkel rendelkező (nem operált) kadávereket használtunk.

Az intubációt, a mellkasi drenázst, illetve a tüdő-ultrahangvizsgálatokat 15 év klinikai és oktatási tapasztalattal rendelkező, intenzív terápiás konzultáns végezte.



1. ábra

A BLUE-protokoll szerinti ultrahangfelvételek intubált és lélegeztetett kadáveren történő rögzítéséhez kialakított felállás, illetve a pneumothoraxmodell létrehozásához alkalmazott kanül behelyezése. Az ultrahangvizsgálat során alkalmazott anatómiai tájékoztató pontok a „biztonsági háromszög” meghatározásához jelölésre kerültek: 1: a mamilla (vagy V. bordaköz) horizontális vonala, 2: a musculus pectoralis major vonala, 3: középső hónaljvonal

BLUE = ágy melletti ultrahangvizsgálat a sürgősségi ellátásban

Megfelelő pozicionálást követően a kadávereket a szakma szabályainak megfelelően, adekvát méretű Macintosh-lapoccal történt direkt laringoszkópia mellett, egylumenű tubussal endotrachealisán intubáltuk, a tubust rögzítettük (1. ábra). A légutakat leszívókatéter segítségével a postmortem váladéktól megtisztítottuk. Ezt követően lélegeztetőballont csatlakoztattunk, melylyel az aktuális testhabitushoz igazított, 6–7 ml/ttkg térfogattal, 12/perc frekvenciával lélegeztetni kezdtünk, a PEEP-szelep 5 vízcm-es állása mellett. A kadáver intakt mellkasában a pleuralemezek közötti negatív nyomás megmaradt. Figyelembe véve azonban a postmortem állapotot, a légutakban jelentős mennyiségű váladék keletkezett, és az erekben véralvadék képződött. Mindez a tüdőszövetet az élőnél jelentősen merevebbé és légtelené tette. Ezért 3 perc folyamatos lélegeztetést követően kezdtük meg a vizsgálatokat, illetve szükség szerint újbóli légúti leszívást alkalmaztunk.

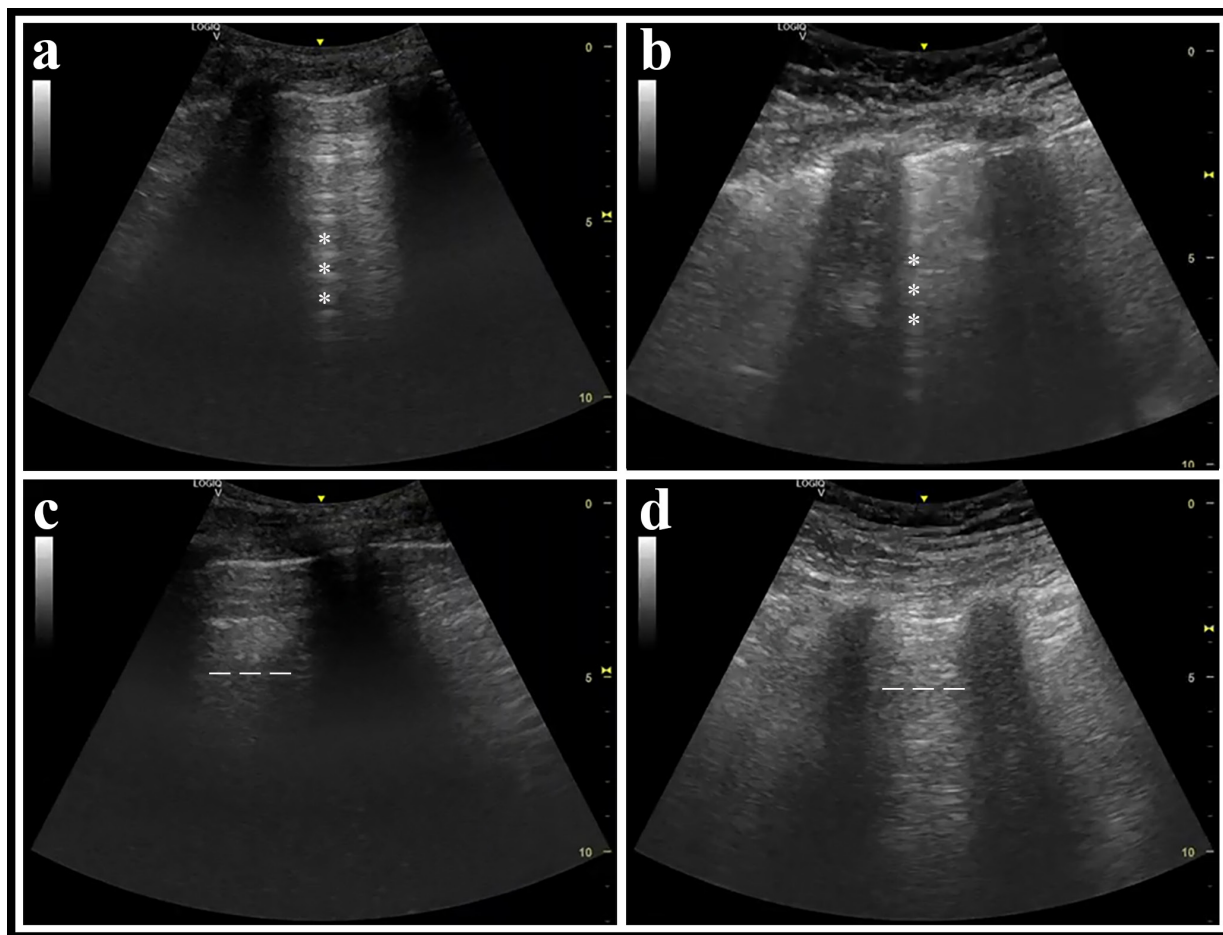
A vizsgálatokhoz GE LOGIQ V2 ultrahangkészüléket (GE Healthcare, Chicago, IL, USA) alkalmaztunk konvex transzducerrel (4C-RS, 2,0–5,5 MHz). A pontos beállításokat az ajánlott nemzetközi protokolloknak, illetve a jelen tanulmány szerzői által publikált ajánlásoknak megfelelően végeztük [23–25].

Folyamatos lélegeztetés alatt mindkét tüdőfélről egymást követő két mérésenként 3–3 (összesen 12 darab minden kadáveren) 10 másodperces felvétel készült: a medioclavicularis vonalban, a második, harmadik bordaköz magasságában, az elülső hónaljvonalban az ötödik bordaköz vonalában, illetve a hátulsó hónaljvonalban a rekeszi felszín területén a BLUE-pontoknak megfelelően (1. ábra). Mindemellett a mellkasfeleket ellenőriztük az esetleges mellhártya-kitapadások tekintetében is (kadávereink egyike sem mutatott ilyen jeleket).

A megfelelő tubuspozíciót a tüdőfelek átlégzésével, a szimmetrikus mellkasmozgás megfigyelhetőségével, illetve a fiziológiás ultrahangjelek (mint a zsigeri és fali mellhártyalemezek csúszása, az ún. A-, illetve B-vonalak megléte 2D módban, illetve a „tengerpartjel” M-módban) megléte mellett igazoltuk (2/a és 2/b ábra) [1, 8]. A fenti jelek részletesebb leírása meghaladná a jelen publikáció kereteit, ezért utalunk korábbi tanulmányunkra a témában [25].

A felvételek rögzítését követően kis lumenű mellkasi drenázs-kanült helyeztünk be a légmell létrehozásához (két kadáver esetében a primer ultrahangvizsgálattal mellúri folyadékot detektáltunk, ezt első körben szívással eltávolítottuk a mellúrból ultrahangos kontroll mellett). Az ún. „biztonsági háromszögben”, az ötödik bordaközben, a középső hónaljvonalban szikehegynyi bemetszést ejtettünk, a mellkasfalat hajlított peannal tompán felpreparáltuk, majd a pleuraúrbe 3 mm belső átmérőjű kanült vezettünk. Ezután a drén tövével öltést helyeztünk be, és a mellkasfali rétegeket szorosan összehúztuk, ezzel is csökkentve a subcutan emphysema kialakulásának esélyét, valamint a kanül kimozdulását. Az előbbieken említett folyadék leszívása ebben a lépésben történt





2. ábra

A kadáveren létrehozott pneumothorax előtt és után készített ultrahangfelvétel a tüdőről. Látható a denevérszárnyalak a bordák árnyékával, körülülte a légtartó tüdőszöveti műtermék, videofelvételen pedig a pleura elcsúszó mozgása is megfigyelhető. a, b: A-vonal (szaggatott vonal) és B-vonal (csillag) megléte mellett a pneumothorax kizárható. c, d: csak A-vonal (szaggatott vonal) jelenléte esetében a pneumothorax igazolható

meg a kanülön keresztül, az optimális ultrahangkép eléréséhez. Saját innovációként kis erősségű Sera Precision – Air 275 R plus membránpumpát (Sera GmbH, Immenhausen, Németország) csatlakoztatva juttattunk levegőt az eszköz által elérhető maximális nyomás mértékéig (140 vízcm) a két mellhártyalemez közé, majd a kanült lefogóeszközzel elzártuk.

Ezt követően a fentiekben részletezett ultrahangvizsgálatot a BLUE-pontokon megismételtük, és az újabb képanyagot (2/c és 2/d ábra) elmentettük (összesen 12 darab minden kadáveren). Amennyiben klinikailag relevánsnak, illetve oktatási szempontból fontosnak ítéltük, kiegészítő felvételek is készültek, összesen 21 darab. A légmellel érintett régiókban 2D módban a tüdőcsúszás hiányát, A-profil jelenlétét, B-vonalak hiányát kerestük (2/c és 2/d ábra), valamint – ahol fellelhető volt – az ún. „tüdőpontot” azonosítottuk, míg M-módban a „tengerpartjelet” felváltó „sztratoszférajelet” detektáltuk. Az összes keletkezett felvételt pszeudoanonimizált módon, az ultrahangkészülék merevlemezén mentettük el, majd a feldolgozás során ezeket dedikált adathordozóra mentettük a kívánt formátumban (AVI).

A kiértékelést két, egyetemi centrumban dolgozó, 5 évnél több oktatási és sürgősségi ultrahangos tapasztalattal rendelkező szakember egymástól függetlenül végezte, megadott pontrendszer alapján. A kiértékeléshez számukra időkorlátot nem állapítottunk meg, mivel gyakorlatuk mellett ez nem lenne releváns. Eredményeiket védett, kódolt és névre szóló Excel-fájlban rögzítették (Microsoft Office Excel 2019; Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). A képanyag kiértékeléséhez megszabtuk a leletező képernyő minimális átmérőjét és felbontását, valamint a használandó szoftvert is, ezzel csökkentve az eltérő környezetből adódó esetleges hatásokat. Összesen négy kérdéskörben kértük ki a véleményüket, melyekre előre megadott listából választhatták ki a nekik megfelelőt. Ezen kérdések fókuszában a képanyag minősége, oktatási és esetlegesen diagnosztikai célra való alkalmassága állt. A teljes pontozott képanyag 141 darab, egyenként 10 másodperces ultrahangfelvételt tartalmazott.

Adataink statisztikai feldolgozásához az IBM SPSS Statistics for Windows programot alkalmaztuk (Version 28.0.1.0(142), IBM Corporation, Armonk, NY, USA; Semmelweis Egyetem-licenz). A két szakember véleménye közötti egyezést Cohen-kappa-metódussal (Fleiss–Cuzick-kiegészítéssel) állapítottuk meg az egyes kérdéscsoportok kategorikus változóira vonatkozólag [24].

A kiértékelést két, egyetemi centrumban dolgozó, 5 évnél több oktatási és sürgősségi ultrahangos tapasztalattal rendelkező szakember egymástól függetlenül végezte, megadott pontrendszer alapján. A kiértékeléshez számukra időkorlátot nem állapítottunk meg, mivel gyakorlatuk mellett ez nem lenne releváns. Eredményeiket védett, kódolt és névre szóló Excel-fájlban rögzítették (Microsoft Office Excel 2019; Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). A képanyag kiértékeléséhez megszabtuk a leletező képernyő minimális átmérőjét és felbontását, valamint a használandó szoftvert is, ezzel csökkentve az eltérő környezetből adódó esetleges hatásokat. Összesen négy kérdéskörben kértük ki a véleményüket, melyekre előre megadott listából választhatták ki a nekik megfelelőt. Ezen kérdések fókuszában a képanyag minősége, oktatási és esetlegesen diagnosztikai célra való alkalmassága állt. A teljes pontozott képanyag 141 darab, egyenként 10 másodperces ultrahangfelvételt tartalmazott.



A szignifikancia határát  $p < 0,05$  értékben állapítottuk meg. Előzetesen 'power' analízist (erőelemzést) végeztünk, ennek alapján a  $p < 0,05$  szignifikanciaérték, valamint a 80%-os elvárt vizsgálati 'power' eléréséhez, minimalisan meghatározott 0,6-os egyetértési koefficiens mellett, a tervezetten vizsgált videók száma 126-nak adódott, melyet a vizsgálat során végül meghaladtunk az összesen 141 darab felvétellel.

Kadávermodellünk jelenlegi állapotában még hátrány, hogy nem modellezi a szív pulzálásából adódó mechanikus rezgés tüdőre való áttevődését. Így a „tüdőpont” megtalálása során a kadáveren a már mozgó mellhártya szakaszán sem lelhető fel a fiziológiásan jelen levő mechanizmus.

## Eredmények

### Képmínőségi szempontok elemzése

A standard nézet, mélység, 'gain' és fókusz, valamint a videó hossza alapján két kategóriába kértük osztani a látottakat. A kategóriák és a kérdésre adott válaszok statisztikai eredményei az 1. táblázatban olvashatók.

### Oktatási célra való alkalmasság megítélése

A szakértők egyéni tapasztalataira támaszkodva két kategóriába kértük osztani a látottakat. A két kategória és a válaszok statisztikai feldolgozásának eredményei az 1. táblázatban láthatók.

### Klinikailag tüdőprofilok meghatározása

A tüdő-ultrahangvizsgálatok egyik gyakori alkalmazási területe a kvalitatív klasszifikáció, mely során a BLUE-protokollnak megfelelően profilokba osztjuk a látottakat [5, 6, 8, 9, 13, 14]. Ennek során statikus és dinamikus műtermékek értékelésére is sor kerül. Kérdésünk arra vonatkozott, hogy vajon alkalmas-e a látott képanyag arra, hogy ezen tüdőprofilokat bemutassa. A kérdésre kapott válaszok elemzése az 1. táblázatban látható.

### Klinikailag szemikvantitatív pontozás

A napi klinikai gyakorlatban fontos elem a tüdőlégtartóság megítélésére a szemikvantitatív pontozás, melynek több formája is ismert (például cLUSS, qLUSS). Erre a rendszerre is igaz, hogy több műtermékmintázatot szükséges hozzá vizsgálni. Kérdésünkben ezen pontozás tekintetében kértük a véleményt. A statisztikai eredmények az 1. táblázatban olvashatók.

### Megbeszélés

A konvencionális – döntően fizikális és egyszerű eszközzel végzett – vizsgálatokon alapuló diagnosztikát az elmúlt másfél évtizedben méltán egészíti ki az ágy melletti ultrahangvizsgálat, melynek specificitása és szenzitivitása alkalmassá teszi a módszert arra, hogy az „első vonalban” része lehessen a vizsgálati protokolloknak [9–13]. Korábbi, humán kadávereken végzett tanulmányok tapasztalatai azt mutatják, hogy ezek a modellek kiválóan

1. táblázat | Statisztikai adatok

| 0   | Vizsgálati kategória | A bírálók döntései |           | Aszimptotikus hiba |               |       | Aszimptotikus 95%-os konfidenciaintervallum (CI) |            |             |
|---|----------------------|--------------------|-----------|--------------------|---------------|-------|--|------------|-------------|
|   |                      | 1. bíráló          | 2. bíráló | Kappa              | Standard hiba | z     | Sig.   | Alsó határ | Felső határ |
| I. Képmínőségi szempontok elemzése  | 1.                   | 131                | 123       | 0,524              | 0,084         | 6,224 | <0,001   | 0,359      | 0,689       |
|   | 2.                   | 10                 | 18        | 0,524              | 0,084         | 6,224 | <0,001   | 0,359      | 0,689       |
| II. Oktatási célokra való alkalmasság megítélése                          | 1.                   | 131                | 128       | 0,763              | 0,084         | 9,064 | 0,000  | 0,598      | 0,928       |
|   | 2.                   | 10                 | 13        | 0,763              | 0,084         | 9,064 | 0,000  | 0,598      | 0,928       |
| III. Klinikailag tüdőprofilok meghatározására való alkalmasság megítélése | 1.                   | 129                | 123       | 0,627              | 0,084         | 7,445 | <0,001   | 0,462      | 0,792       |
|   | 2.                   | 12                 | 18        | 0,627              | 0,084         | 7,445 | <0,001   | 0,462      | 0,792       |
| IV. Klinikailag szemikvantitatív pontozásra való alkalmasság megítélése   | 1.                   | 130                | 125       | 0,631              | 0,084         | 7,497 | <0,001   | 0,466      | 0,796       |
|   | 2.                   | 11                 | 16        | 0,631              | 0,084         | 7,497 | <0,001   | 0,466      | 0,796       |

### A kategóriák magyarázata

I. Képmínőségi szempontok elemzése: 1. kategória = minden vizsgált paraméter megfelelő, illetve legfeljebb egy szempont nem; 2. kategória = a fentiekből két vagy több szempont nem teljesül

II. Oktatási célokra való alkalmasság megítélése: 1. kategória = alkalmas oktatási célokra; 2. kategória = nem alkalmas oktatási célokra

III. Klinikailag tüdőprofilok meghatározására való alkalmasság megítélése: 1. kategória = alkalmas BLUE-profilozásra; 2. kategória = nem alkalmas BLUE-profilozásra

IV. Klinikailag szemikvantitatív pontozásra való alkalmasság megítélése: 1. kategória = alkalmas cLUSS/qLUSS számolására; 2. kategória = nem alkalmas cLUSS/qLUSS számolására

BLUE = ágy melletti ultrahangvizsgálat a sürgősségi ellátásban; cLUSS = egyesített tüdőultrahang-pontrendszer; qLUSS = kvantitatív tüdőultrahang-pontrendszer



alkalmasak az ultrahangalapú légmell-diagnosztika elsajátítására [2, 3].

Előtanulmányunk során nyert adataink szakértők által történő feldolgozása a vizsgált kérdések tekintetében túlnyomórészt elérték, illetve meghaladták azt az egyetértési koeficiensértéket, melyet az előzetes 'power' vizsgálatban célként tűztünk ki. Az eredetileg tervezett 0,6-os érték a mérsékelt egyezés kategóriájába tartozik, mely előtanulmány esetében reális elvárás [24]. Így a képminőség, a tüdőprofilok meghatározhatósága, valamint a szemikvantitatív pontozhatóság tekintetében a számolt koeficiensnek mérsékelt egyezést, míg az oktatási célokra való alkalmasság már jó egyezést mutatott. Ha a 95%-os konfidenciaintervallumok alsó és felső határait is figyelembe vesszük, akkor összességében mérsékelt-jó, illetve jó-kiváló egyezést láthatunk. A későbbiekben nagyobb elemszám és több bíráló bevonásával ennél természetesen még pontosabb képet kaphatunk.

A légmell okozta klinikopatológiai kép, illetve ennek ultrahangos képalkotása kadávermodellekben jelenleg is aktív kutatás alatt álló terület. Korábbi nemzetközi tanulmányok alapján is bizonyítottan sikeres ennek oktatási célra történő felhasználása [7, 17, 21]. Más kutatócsoportok munkája nyomán ismert, hogy az ilyen jellegű képzésekben részt vevő hallgatók tüdő-ultrahangvizsgálattal kapcsolatos készségei, valamint a légmell felismerésének pontossága nagymértékben javult [3, 4, 18, 19].

A témában fellelhető tanulmányok szerint eddig a szemléltetni kívánt légmellre utaló ultrahangos jeleket a tüdő mozgásának hiányával hozták létre: kisebb thoracostomiás behatolásból a bronchus principalis vagy a bronchus lobaris lekötésével. Ezek a módszerek a publikációkban látott demonstrációs célú képek alapján is jellemzően nagyobb traumával járnak, így a vizsgálófej elhelyezése nem lesz optimális a sürgősségi protokollok (például BLUE-protokoll) gyakorlásához. A készségátadás nyilvánvalóan így is működhet, a jelen tanulmány szerzői azonban saját andragógiai gyakorlatukban a komplex szimulációs oktatást is fontosnak tartják alkalmazni, mely a klinikai gyakorlatba való átültetést, valamint a készség- és tudásmegmaradást is segíti [3].

Esetünkben a módszerek között részletesen leírt, minimálisan invazív mellúri kanülálás, a pleuralis tér levegővel történő feltöltése történt. Így egyrészt patomechanizmusát tekintve is valóságos légmell képét nyújtja a modellünk, másrészt az ultrahangos sürgősségi protokollok is gyakorolhatók a transzducer elhelyezésének térbeli megköthetése nélkül. Továbbá az effajta modell akár egy többlépcsős oktatás lehetőségét is magában foglalhatja: lehetővé teszi előkészítés során az intubáció, illetve a mellkasi drenázs technikájának oktatását-fejlesztését is [1, 4]. A kadávermodell mint oktatóanyag már használatos vena jugularis interna kanülálása során, arteria és vena femoralis szúrásához, valamint pericardiocentesishez ultrahangvezérlés mellett [18]. A realisztikus humán anatómiai viszonyok bemutatása szakmaspecifikus tanfolyamokon, akár ritkább variációk segítségével, szintén hiánypótló [26].

A friss vagy lágyra fixált kadáverek a manuális szakterületek gyakorlati tréningjei során különböző, mesterségesen létrehozott patológiai állapotokkal (például nehéz légúti szituációk, tumorok) együtt pedig még értékeesebb állomásaivá válnak egy-egy komplex képzésnek [27].

A postmortem emberi test modellszerű alkalmazása tehát nem képez hátrányt a betegellátásban történő gyakorlással vagy az állatkísérletekkel szemben. A modell fejlettségétől és a felhasznált eszközöktől függően akár többféle vitális paramétert tudunk szimulálni (például mesterséges lélegeztetés, érpulzáció), és ezek által kiváltható az állatmodellek alkalmazása is. Altatott sertéseken végzett vizsgálat is igazolja, hogy egynapos képzések után nagyban növelhető a kórkép ultrahangos felismerése; ha mindezt még valóságosabb környezetbe helyezve, megfelelően előkészített kadáveren végezzük, életszerűbb képet kaphatunk mind anatómiaiailag, mind a szöveti struktúrák tekintetében [19]. Az ultrahang alkalmazása felismerhetővé teszi a még kis méretű, a tenziós formába történő progresszió előtti légmell is, ezzel potenciálisan megelőzve az életveszélyes állapot kialakulását [9, 17].

Előtanulmányunk természetesen rendelkezik korlátokkal. Tekintettel arra, hogy egy eddig nem létező modell kifejlesztését tűztük ki célul, a bevont kadáverek száma jelenleg még alacsonynak tekinthető. Pozitív eredményeink tükrében ezt tervezzük a továbbiakban növelni. Ugyanígy a felkért szakemberek száma is megfelelő kritikával értékelendő: relatíve nagy mennyiségű képanyag átnézésére és pontozására volt szükség, amit több aspektusból is el kellett végezni; ez a gyakorló, a témában régóta jártas klinikusok számára is több pluszmunkaórát jelentett. A kadávermodell önmagában sok tekintetben is jelentős hasonlóságot mutat az élő szervezettel és szövetekkel, ám azoktól természetesen mindenképpen eltér a már nem működő vérkeringés és szöveti átáramlás hiányában. Ez azonban az ilyen jellegű modellek általános korlátjának tekinthető, mely modellek már hosszú évtizedek óta szolgálják az orvostudomány fejlődését, és reményeink szerint a jövőben is fogják majd.

## Következtetés

A korábbi tanulmányokkal szemben a jelen kadávermodell több lehetőséget teremt a kórállapot részletes vizsgálatára. A kanülön bejutott levegő mennyisége szabályozható, manométer beiktatásával akár a nyomás is pontosan meghatározható, ezáltal ultrahang mellett követhető a mellűrbe jutó levegő útja a radiológiai jelek vizsgálatával. A kompresszor lekapcsolásával a kanül drenázsfunkcióját kihasználva szemléltethető a fiziológias állapot visszatérése az adott tüdőre, de nagyobb légmennyiséget bejuttatva létrehozható feszülő légmell is, a kórállapot halálos progresszióját szemléltetve. A dinamikus változtathatóság lehetősége olyan, rugalmas modellt eredményez, melyet egyazon kadáver esetében is viszonylagos egyszerűséggel tudunk alkalmazni. Ezek a



lehetőségek az eddigi kutatásokhoz képest a lehető legvalóságosabb modell lehetőségét teremtik meg.

A modellünkben nyert képanyagaink minősége alapján a már meglévő oktatási képadatbázisainkat tudjuk jelentősen bővíteni, valamint felhasználjuk jelenleg is folyamatban lévő, mesterségesintelligencia-alapú modelljeinkben is.

Kutatócsoportunk célja a jelen előtanulmány igen pozitív tapasztalatai alapján a modell további tökéletesítése, valamint az optimális konzervációs technika kifejlesztése is. Ezzel sokáig felhasználható modellt kívánunk felállítani, mellyel reményeink szerint a hazai orvos-, szakorvos- és mentőtsztképzést is tudjuk a jövőben értékes lehetőségekkel segíteni.

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

**Szerzői munkamegosztás:** Á. N.: Irodalomkutatás, kadávermodellek létrehozása, a kézirat szövegezése, az ábrák szerkesztése. O. G.: A cikk koncepciójának kialakítása, kadávervizsgálatok elvégzése, a kézirat szövegezése, statisztikai próbák elvégzése. B. M.: Irodalomkutatás, a kézirat szövegezése. R. T.: A cikk koncepciójának kialakítása, kadávermodellek létrehozása, a kézirat szövegezése. A cikk végleges változatát valamennyi szerző elolvasta és jóváhagyta.

**Érdekltségek:** A szerzőknek nincsenek érdekltségeik.

## Irodalom

- [1] Griffiths E. Helicopter emergency medical services use of thoracic point of care ultrasound for pneumothorax: a systematic review and meta-analysis. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2021; 29: 163.
- [2] Auinger D, Orlob S, Wittig J, et al. Pneumothorax in a Thiel cadaver model of cardiopulmonary resuscitation. *World J Emerg Med.* 2023; 14: 143–147.
- [3] Adhikari S, Zeger W, Wadman M, et al. Assessment of a human cadaver model for training emergency medicine residents in the ultrasound diagnosis of pneumothorax. *Biomed Res Int.* 2014; 2014: 724050.
- [4] Lim D, Bartlett S, Horrocks P, et al. Enhancing paramedics procedural skills using a cadaveric model. *BMC Med Educ.* 2014; 14: 138.
- [5] Husain LF, Hagopian L, Wayman D, et al. Sonographic diagnosis of pneumothorax. *J Emerg Trauma Shock* 2012; 5: 76–81.
- [6] Lichtenstein DA. Lung ultrasound (in the critically ill) superior to CT: the example of lung sliding. *Korean J Crit Care Med.* 2017; 32: 1–8.
- [7] Wilke J, Krause F, Niederer D, et al. Appraising the methodological quality of cadaveric studies: validation of the QUACS scale. *J Anat.* 2015; 226: 440–446.
- [8] 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.
- [9] Chan KK, Joo DA, McRae AD, et al. Chest ultrasonography versus supine chest radiography for diagnosis of pneumothorax in trauma patients in the emergency department. *Cochrane Database Syst Rev.* 2020; 7: CD013031.
- [10] Hosseini-Nik H, Bayanati H, Souza CA, et al. Limited chest ultrasound to replace CXR in diagnosis of pneumothorax post image-guided transthoracic interventions. *Can Assoc Radiol J.* 2022; 73: 403–409.
- [11] Lau YH, See KC Point-of-care ultrasound for critically-ill patients: a mini-review of key diagnostic features and protocols. *World J Crit Care Med.* 2022; 11: 70–84.
- [12] 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.
- [13] 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]
- [14] Demi L, Wolfram F, Klersy C, et al. New international guidelines and consensus on the use of lung ultrasound. *J Ultrasound Med.* 2023; 42: 309–344.
- [15] Dahmarde H, Parooie F, Salarzaei M. Accuracy of ultrasound in diagnosis of pneumothorax: a comparison between neonates and adults – a systematic review and meta-analysis. *Can Respir J.* 2019; 2019: 5271982.
- [16] Porcel JM. Chest tube drainage of the pleural space: a concise review for pulmonologists. *Tuberc Respir Dis (Seoul)* 2018; 81: 106–115.
- [17] Jansen MM, Hazenberg CE, de Ruiter QM, et al. Feasibility of fresh frozen human cadavers as a research and training model for endovascular image guided interventions. *PLoS ONE* 2020; 15: e0242596.
- [18] Hoyer R, Means R, Robertson J, et al. Ultrasound-guided procedures in medical education: a fresh look at cadavers. *Intern Emerg Med.* 2016; 11: 431–436.
- [19] Oveland NP, Sloth E, Andersen G, et al. A porcine pneumothorax model for teaching ultrasound diagnostics. *Acad Emerg Med.* 2012; 19: 586–592.
- [20] Székely R, Suhai FI, Karlinger K, et al. Human cadaveric artificial lung tumor-mimic training model. *Pathol Oncol Res.* 2021; 27: 630459.
- [21] Yiasemidou M, Gkaragkani E, Glassman D, et al. Cadaveric simulation: a review of reviews. *Ir J Med Sci.* 2018; 187: 827–833.
- [22] Bloch AJ, Bloch SA, Secreti L, et al. A porcine training model for ultrasound diagnosis of pneumothoraces. *J Emerg Med.* 2011; 41: 176–181.
- [23] 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.
- [24] Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med.* 2016; 15: 155–163. Erratum: *J Chiropr Med.* 2017; 16: 346.
- [25] Szabó M, Orosz G, Iványi ZsD, et al. Use of thoracic and lung ultrasound in general anesthesia. [A mellkas és a tüdő ultrahangvizsgálatának szerepe az általános érzéstelenítés során.] *Orv Hetil.* 2023; 164: 864–870. [Hungarian]
- [26] Szűcs A, Fábián B, Karlinger K, et al. Rare variation of hepatic blood supply with accessory right and left hepatic artery. [A máj ritka vérellátási variációja járulékos arteria hepatica dextra és sinistra jelenlétével.] *Orv Hetil.* 2022; 163: 1281–1286. [Hungarian]
- [27] Weisz E, Szűcs ZP, Farkas J, et al. Innovative artificial lesions to mimic difficult airway pathology in cadavers, supporting airway management training. *Trends Anaesth Crit Care* 2022; 44: 43–48.

(Ruttkay Tamás dr.,  
Budapest, Tűzoltó u. 58., 1094  
e-mail: ruttkay.tamas@semmelweis.hu)