

Johdanto

Kuluneen 20 vuoden aikana kaikukuvantamisen on osoitettu olevan hyvin käyttökelpoinen työväline useiden keuhkopatologioiden tunnistamisessa. Yksi käytetyimmistä ja eniten tutkituista indikaatioista on keuhkokuume, jota ei kuitenkaan Suomessa ole totuttu käyttämään ensilinjan tutkimuksena. Keuhkokuumeepäilyn kaikukuvantaminen on hyvä tutkimus erityisesti lapsipotilailla ja tilanteissa, joissa röntgen-kuvantamista ei ole käytettävissä (Blaivas 2012).

Joissakin tilanteissa kaikukuvantaminen on keuhkokuuvaa herkempi ja tarkempi tutkimus keuhkokuumeen toteamisessa. Cortellaron ym. (2012) tutkimus koostui 120 sairaalapäivystyksen keuhkokuumeepäilypotilaasta, jossa kokeneen radiologin tulkitsemana natiivikuvan sensitiivisyys keuhkokuumeen toteamisessa oli 67 % ja spesifisyys 85 %. Vastaavat lukemat kaikukuvantamiselle olivat 98 % ja 95 %. Bourcier ym. (2014) määrittivät (N = 144) natiivikuvan sensitiivisyydeksi 60 % ja spesifisyydeksi 76 % ja vastaavasti kaikukuvantamiselle 95 ja 57 %. Orson ym. (2018) tuoreessa 17 tutkimusta ja 5108 potilasta käsittävissä meta-analyyseissä kaikukuvantamisen sensitiivisyys oli 92 % ja spesifisyys 93 %.

Keuhkopöhö on toinen yleinen keuhkopatologia, jonka arviointiin on perinteisesti käytetty keuhkojen natiivikuvaa. Vierikaikukuvantamisen edut keuhkokuvaan nähden ovat jälleen selvät: tutkimus on nopea, se voidaan tehdä siirtämättä potilasta ja tutkimuksen tekemiseen riittää yksi koulutettu henkilö. Myös diagnostinen tarkkuus on kaikukuvantamalla selvästi parempi. Al Deebin ym. (2014) meta-analyyseissä vierikaikukuvantamisen sensitiivisyys oli 94 % ja spesifisyys 92 % akuutin kardiogeenisen keuhkopöhön toteamisessa. Samassa katsauksessa kolmessa eri lähdetutkimuksissa keuhkokuvan sensitiivisyys vaihteli välillä 14 – 68 % ja spesifisyys 53 – 96 %. Pivettan ym. (2019) tuoreessa tutkimuksessa 518 potilasta, joilla epäiltiin akuuttia sydämen vajaatoimintaa, satunnaistettiin kahteen diagnostiseen ryhmään. Toinen ryhmä tutkittiin kliinisen tutkimuksen lisäksi vierikaikukuvantamalla. Toisen ryhmän diagnostiikassa käytettiin kliinistä tutkimusta, keuhkokuuvaa ja natriureettista peptidiä (P-proBNP). Vierikaikukuvausryhmässä akuutin sydämen vajaatoiminnan diagnostiikan sensitiivisyys oli 94 %, spesifisyys 96 % ja tutkimuksiin kulunut aika 5 min. Keuhkokuvaryhmässä sensitiivisyys oli 85 %, spesifisyys 89 % ja tutkimuksiin kului aikaa 105 min.

Kaikukuvantamalla keuhkopöhö voidaan havaita usein jo ennen oireiden (hengenahdistus) kehittymistä, ja löydösten runsaus korreloi tilan vaikeusasteen kanssa varsin hyvin. Hoidon seuranta voidaan helposti toteuttaa kaikukuvantamalla ilman toistuvia natiivikuvia. Kaikukuvantamalla voidaan tutkia myös sydänfunktio, joka on usein oleellista vajaatoimintapotilaiden hoidossa (Agricola ym. 2005).

Viimeisenä esitellään akuutin hengitysvajauksen selvittelyyn suunniteltu BLUE-protokolla (*bedside lung ultrasound in emergency*), joka vetää hyvin yhteen tähän asti opitun keuhkokaikukuvantamisesta. BLUE-protokollan käytön perinteisten kuvantamismenetelmien sijaan on osoitettu lyhentävän hengitysvajauspotilaan hoidon aloittamiseen vaadittavaa aikaa jopa puolella (Seydhosseini ym. 2017).

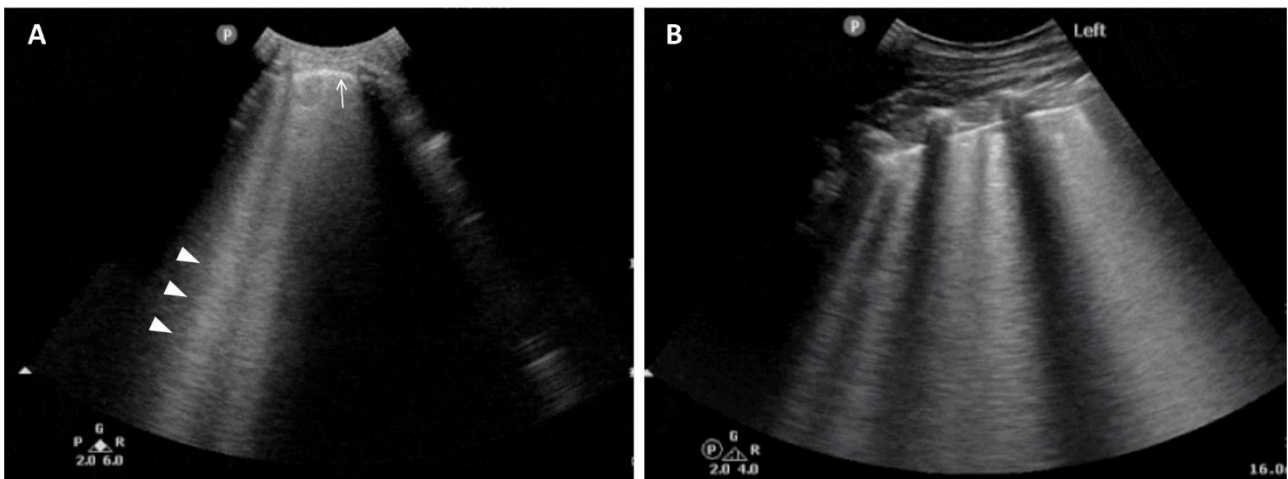
Ennen tähän materiaaliin siirtymistä suositellaan perehtymään aiempaan keuhkojen kaikukuvantamista käsittelevään lukuun, jossa esitellään yleisimpiä keuhkojen kaikukuvantamislöydöksiä.

Keuhkopöhön toteaminen kaikukuvantamalla

Keuhko muodostuu miljoonista ilmatäyteisistä alveoleista, joita erottaa hyvin ohut kudosseinä. Koska ilma johtaa ultraääntä huonosti, terve keuhko tuottaa hyvin niukan kaikukuvan. Ilmatäyteisen keuhkon

kaikukuvassa nähdään usein A-viivoja eli horisontaalisia kaikuartefakteja, jotka ovat pleurarajapinnan kerrannaiskaikuja ilmatäyteisessä keuhkokudoksessa. Lisäämällä kaikunäkymän syvyyttä voidaan nähdä useita säännöllisin välimatkoin toistuvia A-viivoja. A-viivojen katoaminen viittaa keuhkofysiologian mahdollisesti patologiseen muutokseen. (Noble & Nelson 2011)

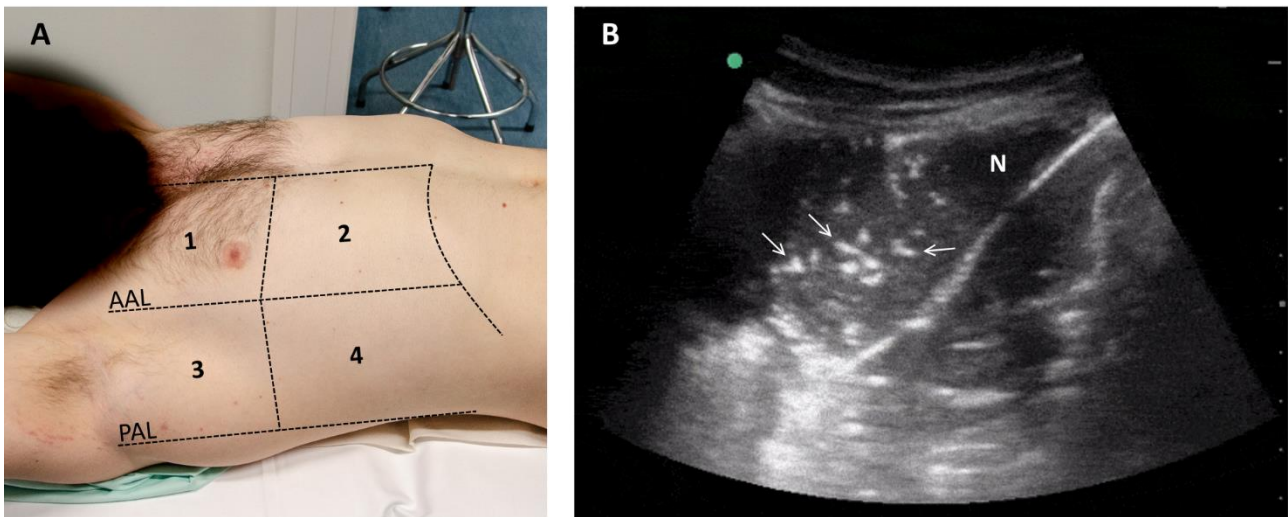
Kun nestettä tihkuu keuhkoverenkierron ulkopuolelle esimerkiksi akuutin sydämen vajaatoiminnan aiheuttamassa keuhkopöhdössä, alveolien välinen eli interstitiaalinen tila täyttyy nesteellä. Nestepitoinen keuhko johtaa ultraääntä tervettä keuhkoa paremmin. Tämä näkyy kaikukuvassa runsaina B-viivoina, komeetanpyrstön tai lasersäteen kaltaisina kaikuartefakteina, jotka syntyvät ultraääniaaltojen heijastuessa nestepitoisessa interstitiaalisessa tilassa (kuva 1) (Noble & Nelson 2011). B-viiva saa alkunsa pleurarajapinnasta, liikkuu hengityksen mukana (*lung sliding*), peittää A-viivat alleen ja ulottuu kirkkaana säteenä kaikukuvan alalaitaan saakka. Terveessä keuhkossa nähdään usein yksittäisiä B-viivoja, mutta kolmen tai useamman B-viivan samanaikainen ilmaantuminen yhteen kylkiluuväliin viittaa keuhkoödeemaan, kun myös *lung sliding* on nähtävissä (Lichtenstein 2015). Keuhkoödeeman hankaloituessa B-viivojen määrä lisääntyy ja ne alkavat yhtyä toisiinsa. Vaikeassa keuhkopöhdössä voidaan nähdä lähes kirkkaan valkoinen, B-viivojen täyttämä keuhko. B-viivojen määrä korreloikin melko hyvin keuhkoödeeman vaikeusasteen kanssa. Lisäksi interstitiilliin nesteeseen viittaavat kaikukuvan B-viivat ilmaantuvat näkyviin huomattavasti aiemmin kuin esimerkiksi Kerleyn B-viivat natiivi-thorax-kuvassa ja usein jo ennen selvien oireiden kehittymistä (Agricola ym. 2005).



Kuva 1. A) Kylkiluuvälissä nähdään kaksi B-viivaa (nuolenkärjet), joka on normaalilöydös. Nuoli osoittaa pleurarajapinnan. B) Kylkiluuvälissä nähdään useita, toisiinsa yhtyneitä B-viivoja eli lähes ”valkoinen keuhko”, joka viittaa vaikeaan keuhkoödeemaan. Lähde: The POCUS Atlas.

Keuhkokuumeen toteaminen kaikukuvantamalla

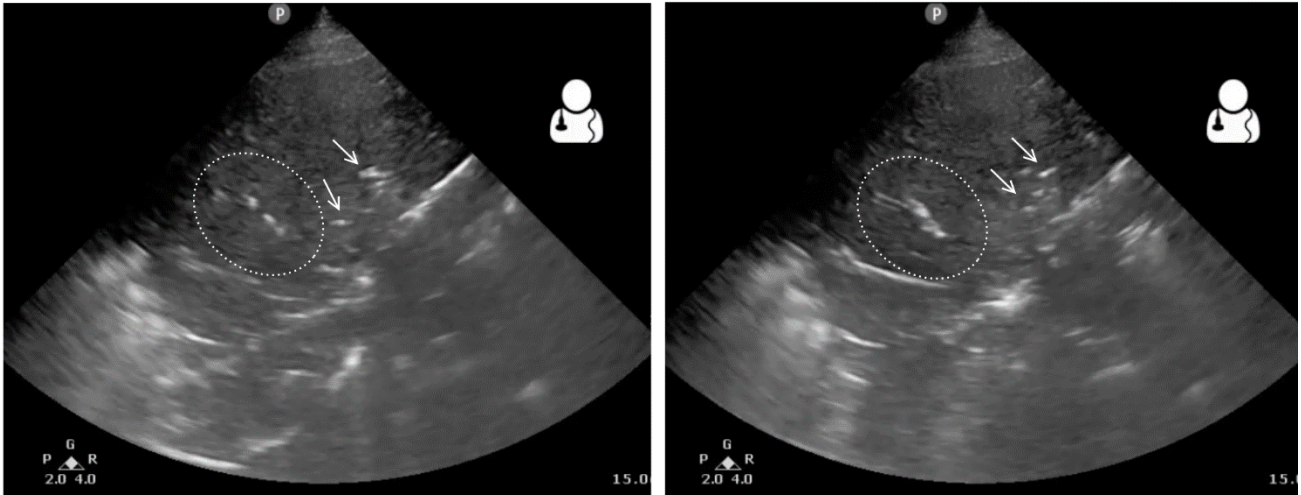
Keuhkokuume-epäilyä tutkittaessa potilas makaa selällään. Anturiksi valitaan mieluiten mikrokonveksianturi, mutta lineaari- tai sydänanturi soveltuvat tutkimukseen myös hyvin. Kuvantamissyvyudeksi määritetään aikuispotilaalla lähtökohtaisesti 16 – 18 cm. Koko rintakehä tutkitaan järjestelmällisesti alueittain (kuva 2A). Kultakin alueelta haetaan hyvän näkymän tarjoava kylkiluuväli ja anturia kallistellaan rauhallisesti sekä horisontaali- että vertikaalisuunnassa (anturin suuntamerkki ensin kohti potilaan päätä, sitten oikealle) koko alueen läpikäymiseksi, koska keuhkokuume on useimmiten paikallinen sairaus (Blaivas 2012).



Kuva 2. A) Keuhkokuume-epäilyä tutkittaessa rintakehä jaetaan neljään alueeseen, ja tutkimus suoritetaan järjestelmällisesti kullekin alueelle. Tutkimus tulee laajentaa myös rintakehän posterioripuolelle BLUE-protokollan mukaisesti ns. PLAPS-pisteeseen (ks. tarkemmin alempana, kuva 4). AAL = anteriorinen aksillaarilinja, PAL = posteriorinen aksillaarilinja. B) Kaikukuvan keskellä nähdään keuhkokuumeeseen viittaava, maksakudosta muistuttavasta konsolidaatio. Konsolidaatiossa nähdään kirkkaita ilmabronkogrammeja (nuolet) ja sen päällä pleuranestekertymä (N). Lähde: The POCUS Atlas.

Keuhkokuume todetaan havaitsemalla konsolidaatio eli paikallinen nestekertymä keuhkokudoksessa (kuva 2B). Konsolidaatio havaitaan kaikukuvantamalla vain, jos se koskettaa pleuraa. Hyvin varhainen keuhkokuume voi olla lokalisoitunut keuhkojen keskelle niin, että sitä ei nähdä ultraäänellä. Kriittisesti sairaiden potilaiden kohdalla konsolidaatio kuitenkin ulottuu pleuraan 98 % tapauksista. (Lichtenstein & Mezière 2008). Toisinaan konsolidaatio voi olla hankala erottaa atelektaasista (eli kokoon painuneesta keuhkokudoksesta). Pneumoniseen konsolidaatioon viittaavat seuraavat kaikulöydökset (Blaivas 2012, Lichtenstein ym. 2009):

- Konsolidaatio nähdään yleensä maksakudoksen kaltaisena (*hepatization*) pleurarajapintaan rajautuvana muutoksena.
- Konsolidaation ja ilmatäyteisen keuhkon rajapinta on usein epäsäännöllinen (*shred sign*, kuva 2B).
- Konsolidaation yhteydessä voidaan nähdä pleuranestettä tummana juovana.
- A-viivoja ei nähdä konsolidaation kohdalla.
- Keuhkokuumeeseen viittaa vahvasti ilman aiheuttama kirkaskaikuinen haarova tai pistemäinen ”dynaaminen ilmabronkogrammi” (*dynamic air bronchogram*), joka liikkuu konsolidaation sisällä hengityksen tahtiin (kuva 3).

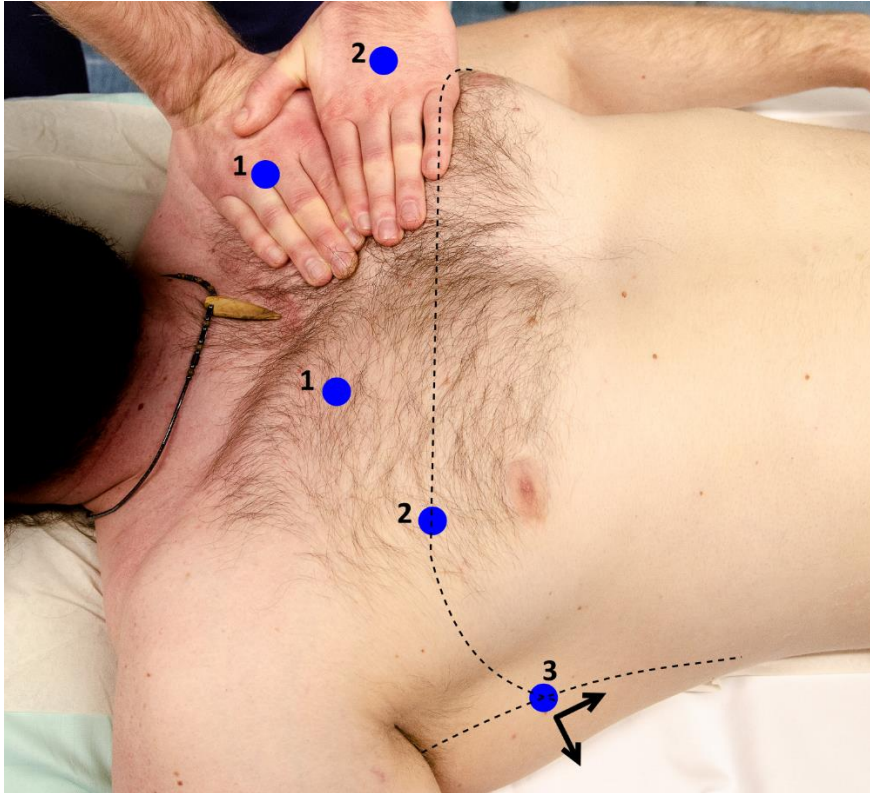


Kuva 3. Molemmat kuvat edustavat samaa näkymää eri ajanhetkinä konsolidaatiosta. Konsolidaation keskellä nähdään kirkaskaikuinen dynaaminen ilmabronkogrammi, joka laajenee potilaan hengittäessä sisään (ympyröity). Kuvassa nähdään myös pistemäisiä ilmabronkogrammeja (nuolet), jotka nekin liikkuvat tai vaihtavat paikkaa hengityksen mukaan. Lähde: www.ultrasoundoftheweek.com.

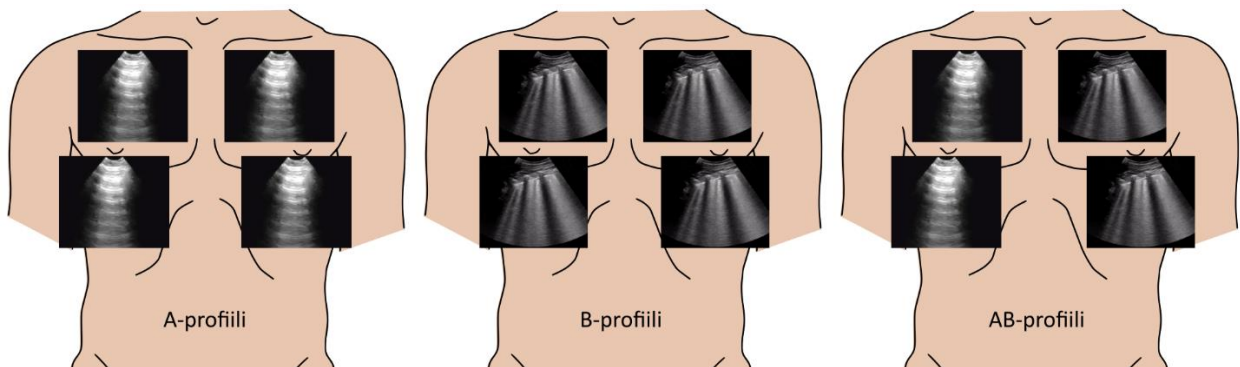
BLUE-protokolla

BLUE-protokolla (*bedside lung ultrasound in emergency*) on kehitetty kriittisesti sairaan potilaan akuutin hengitysvajauksen pikaiseen selvittelyyn. Protokollaa käyttäen voidaan todeta suurin osa akuuteista henkeä uhkaavista keuhkoperäisistä syistä, jotka ovat hengitysvajauksen taustalla. Protokollan tarkkuus on yli 90 %. Näitä ovat keuhkopöhö, keuhkoembolia, keuhkokuume, ilmarinta tai keuhkohtaumataudin tai astman pahenemisvaihe. Tutkimuksen suorittamiseksi tulee hallita laskimotukosten ultraäänidiagnostiikka sekä tässä ja ensimmäisessä keuhkomateriaalissa esitetyt keuhkon normaalit ja patologiset ultraäänilöydökset: *lung sliding*, A- ja B-viivat, pleuranesteen ja konsolidaation toteaminen, *strathosphere sign* ja *lung point*. (Lichtenstein 2015).

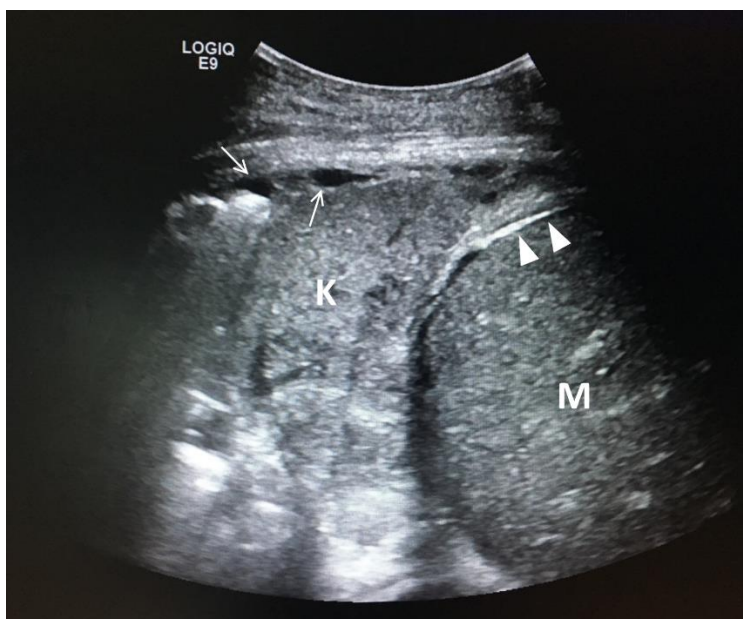
BLUE-protokollassa keuhkoja kuvannetaan tarkasti määritetyistä kuudesta ns. BLUE-pisteestä, jotka on esitetty kuvassa 4. Tämä mahdollistaa tutkimuksen hyvän toistettavuuden (vrt. EKG:n elektrodien paikat rintakehällä). Antureista parhaiten tutkimukseen soveltuva on jälleen mikrokonveksianturi. Lähtökohtaisesti tutkitaan ylempi ja alempi BLUE-piste molemmista keuhkoista ja näiden pohjalta arvioidaan mihin BLUE-profiiliin löydökset sopivat (kuva 5). Viimeisenä tutkitaan PLAPS-pisteen määrittämä posterolateraalinen alue, josta etsitään vain PLAPS:ia (*posterolateral alveolar and/or pleural syndrome*) eli keuhkokonsolidaatiota ja/tai nestettä keuhkon pinnalla (kuva 6), joka viittaa vahvasti keuhkokuumeeseen (Lichtenstein 2015).



Kuva 4. BLUE-protokollassa kuvannettavat kuusi standardisoitua BLUE-pistettä potilaan rintakehällä. Kaksi kämmentä (kooltaan suunnilleen potilaan kämmeniä vastaavat) asetetaan rintakehälle seuraavasti: ylempi V-sormi juuri solisluun alapuolelle, sormen kärki keskilinjaan rintalastan päälle. Toinen käsi asetetaan aivan ensimmäisen käden rinnalle siten, että II-sormet ovat vierekkäin. Ylempi BLUE-piste on tällöin ylempien kämmenen etu- ja keskisormen tyvessä (1) ja alempi BLUE-piste alemman kämmenen keskellä (2). Näiden pisteiden tuntumasta haetaan mahdollisimman hyvän keuhkonäkyvyyden tarjoava kylkiluuväli. Posterolateraalinen ns. PLAPS-piste (*posterolateral alveolar and/or pleural syndrome point*) on leikkauspisteessä, jonka muodostavat keskiakseliarilinja ja alemman käden pikkusormesta kylkeen jatkuva suora linja (3). PLAPS-piste on käytännössä rajapiste, josta tutkimusta jatketaan (nuolet) posteriorisuuntaan niin paljon kuin mahdollista (kunnes potilaan reuna tulee vastaan) ja kaudaalisemmin, kunnes kaikukuvaan ilmaantuu vatsaontelo (yleensä kahden kylkiluuvälin jälkeen) (Ma ym. 2014, Lichtenstein 2015).



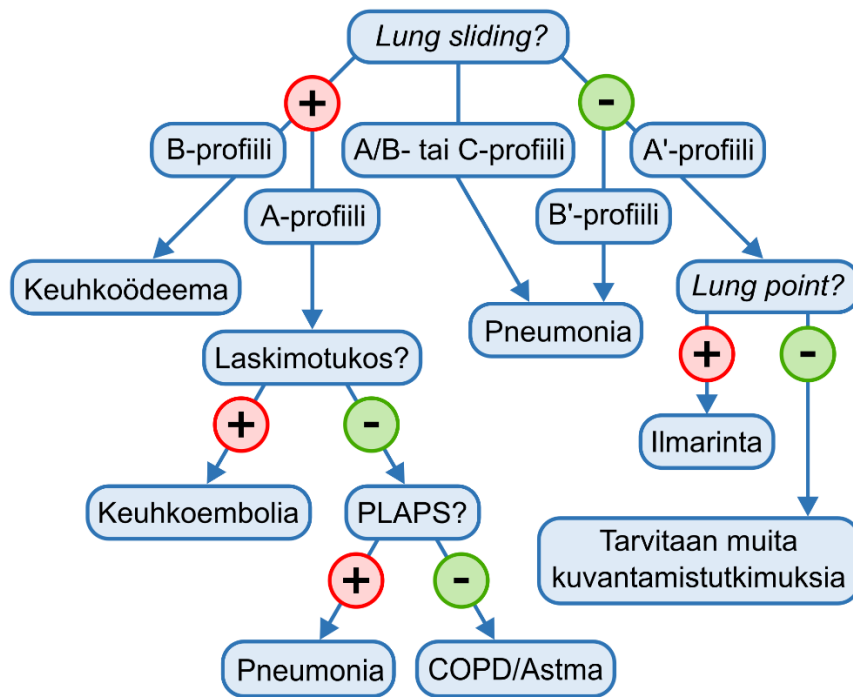
Kuva 5. BLUE-protokollan kolme perusprofiilia. A-profiilissa nähdään terveen keuhkon löydökset eli *lung sliding* ja A-viivat. B-profiilissa nähdään runsaasti B-viivoja. A/B-profiilissa toisessa keuhkossa on A-profiilin ja toisessa B-profiilin kuva. Kuva mukailien lähdettä Lichtenstein & Mezière 2008. Kaikukuvien lähteet: The POCUS Atlas ja David Carroll, Radiopaedia.org, rID: 61382.



Kuva 6. Esimerkki keuhkokuumeeseen viittaavasta PLAPS-löydöksestä oikean keuhkon alaosissa, jossa nähdään maksa (M), pallea (nuolenkärjet), pleuranestettä (nuolet) sekä maksakudosta muistuttava keuhkokonsolidaatio (K). Lähde: Ian Bickle, Radiopaedia.org, rID: 59328

Keuhkopatologian määrittäminen etenee BLUE-protokollan vuokaavion mukaisesti kaikukuvantamalla määritettyyn profiiliin pohjautuen (kuva 6). Profiilit on määritelty seuraavasti (Lichtenstein 2015, Lichtenstein & Mezière 2008):

- A-profiilissa nähdään kauttaaltaan terveen keuhkon löydökset eli pleurarajapinnan liikkeenä tai väreilynä näyttäytyvä *lung sliding* sekä A-viivoja. Tällöin etsitään laskimotukosta kompressiotekniikalla alaraajalaskimoista. Lichtensteinin alkuperäisessä BLUE-artikkelissa kehoitettiin tutkimaan kattavasti myös ylävartalon suuria laskimoita, mutta koska näiden tutkiminen on varsin haastavaa ja toisaalta niiden tukokset ovat harvinaisia, käytännön työssä riittää alaraajojen tutkiminen (Ma ym. 2014). Tukoksen löytyminen viittaa vahvasti hengitysvajauksen taustalla olevaan keuhkoemboliaan. Mikäli tukosta ei nähdä, tutkitaan PLAPS-pisteen rajaama alue potilaan kyljessä ja selkäpuolella (tarkempi ohjeistus kuvassa 4). PLAPS:in löytyminen viittaa posterioriseen keuhkokuumeeseen, sen puuttuminen eli normaalilöydöksinen profiili hengitysvajauspotilaalla COPD:n tai astman pahenemisvaiheeseen.
- B-profiilissa nähdään kauttaaltaan *lung sliding* ja runsaasti B-viivoja, jotka viittaavat keuhkopöhöön.
- A/B-profiilissa toisessa keuhkossa on A-profiilin ja toisessa B-profiilin löydökset. *Lung sliding* saattaa puuttua. Tämä viittaa keuhkokuumeeseen hengitysvajauksen taustalla.
- C-profiilissa keuhkojen etuosista löytyy konsolidaatio tai vähintään paksu, epätasainen pleurarajapinta. Tämä löydös viittaa anterioriseen keuhkokuumeeseen.
- B'-profiilissa nähdään runsaasti B-viivoja ilman *lung slidingia*. Tämä viittaa interstitiiliin keuhkokuumeeseen (*inflammatory interstitial syndrome*), jossa tulehduksellisen aiheuttama fibriinimuodostus liimaa pleurakalvot liikkumattomiksi.
- A'-profiilissa *lung slidingia* ei nähdä. *Lung pointin* löytyessä on ilmarintadiagnoosi varmistettu. Mikäli *lung pointia* ei löydy, on tutkimuksia jatkettava muilla kuvantamismenetelmillä.



Kuva 6. BLUE-protokollan vuokaavio, jolla voidaan todeta akuutin hengitysvajauksen taustasy yli 90 % tarkkuudella (Lichtenstein & Mezière 2008).

Lähteet

Agricola E, Bove T, Oppizzi M ym. "Ultrasound comet-tail images": a marker of pulmonary edema – a comparative study with wedge pressure and extravascular lung water. *Chest* 2005;127:1690 – 1695.

Al Deeb M, Barbic S, Featherstone R ym. Point-of-care ultrasonography for the diagnosis of acute cardiogenic pulmonary edema in patients presenting with acute dyspnea: a systematic review and meta-analysis. *Academic Emergency Medicine* 2014;21:843 – 852.

Blaivas M. Lung ultrasound in evaluation of pneumonia. *Journal of Ultrasound in Medicine* 2012;31:823 – 826.

Bourcier J-E, Paquet J, Seinger M ym. Performance comparison of lung ultrasound and chest x-ray for the diagnosis of pneumonia in the ED. *American Journal of Emergency Medicine* 2014;32:115 – 118.

Cortellaro F, Colombo S, Coen D, Duca PG. Lung ultrasound is an accurate diagnostic tool for the diagnosis of pneumonia in the emergency department. *Emergency Medicine Journal* 2012;29:19 – 23.

Fox JC. *Atlas of Emergency Ultrasound*. Cambridge: Cambridge University Press 2011.

Lichtenstein DA, Mezière GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest* 2008; 134:117–125.

Lichtenstein D, Mezière G, Seitz J. The dynamic air bronchogram – a lung ultrasound sign of alveolar consolidation ruling out atelectasis. *Chest* 2009;135:1421 – 1425.

Lichtenstein DA. BLUE-protocol and FALLS-protocol – two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest* 2015;147:1659 – 1670.

Ma OJ, Mateer JR, Reardon RF ym. *Ma and Mateer's Emergency Ultrasound*, 3. painos. New York: McGraw-Hill Education / Medical 2014.

Noble VE, Nelson B. *Manual of Emergency and Critical Care Ultrasound*, 2. painos. Cambridge: Cambridge University Press 2011.

Orso D, Guglielmo N, Copetti R. Lung ultrasound in diagnosing pneumonia in the emergency department: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Emergency Medicine* 2018;25:312 – 321.

Pivetta E, Goffi A, Nazerian P ym. Lung ultrasound integrated with clinical assessment for the diagnosis of acute decompensated heart failure in the emergency department: a randomized controlled trial. *European Journal of Heart Failure* 2019. Verkkojulkaisu doi: 10.1002/ejhf.1379.

Seydhosseini J, Bashizadeh-fakhar G, Farzaneh S ym. The impact of the BLUE protocol ultrasonography on the time taken to treat acute respiratory distress in the ED. *American Journal of Emergency Medicine* 2017;35:1815 – 1818.