

Quantitative CT of the lungs: technical aspects and clinical studies

Citation for published version (APA):

Lamers, R. J. S. (1998). *Quantitative CT of the lungs: technical aspects and clinical studies*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Maastricht University. <https://doi.org/10.26481/dis.19981218rl>

Document status and date:

Published: 01/01/1998

DOI:

[10.26481/dis.19981218rl](https://doi.org/10.26481/dis.19981218rl)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

CHAPTER 10

Summary and conclusions

Since its introduction, computed tomography (CT) densitometry has been promoted as a useful method for determining the regional and global density of the lung. The X-ray attenuation of soft tissue as measured by CT has a linear relationship to the soft tissue density (g/cm^3) and therefore densitometry of the lungs has the potential to provide non-invasively objective information about lung density, its spatial distribution and its changes over time. The aim of this thesis is to determine the inter- and intrascanner conformity of various CT scanners for lung densitometry purposes, to standardize the technique of post-processing and to determine the reproducibility of this method in a clinical setting. Furthermore we applied CT lung densitometry to clinical studies of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and silicosis pulmonum.

Chapter 2 gives a brief overview of several aspects of chronic obstructive pulmonary disease (COPD): definition, pathologic characterization, clinical features, pulmonary function tests, and radiological diagnosis. COPD severity can be staged on the basis of the degree of airflow obstruction. The test is not suitable to distinguish between chronic bronchitis and emphysema. Disturbance of gas exchange manifested by reduced single-breath carbon monoxide diffusing capacity (DL_{CO}), have been proposed as the most accurate and specific pulmonary function tests for pulmonary emphysema. High resolution CT (HRCT) has also proven to be an accurate noninvasive technique to diagnose emphysema in vivo, and high correlations between visual CT emphysema scores and pathological grades have been reported (0.57 - 0.91).

Comparison of densitometric results obtained on different scanners has proved difficult for various reasons. Most CT scanners were not optimized for low-attenuation studies and nearly all densitometric studies published so far were deficient in their attention to analysis protocols and applied methodology. An additional problem is the influence of level of inspiration on lung density. Changes by more than a factor of two between full inspiration and expiration are possible. Therefore, control of the level of inspiration is mandatory to obtain reproducible results. Another problem is that the numeric analysis of CT data of lung tissue is operator dependent and very time consuming. Support by an automatic evaluation method is necessary to achieve high precision and to reduce operator's influence.

We assessed the performance of our CT scanner at air density. It proved to have a stability within 1 HU and a reproducibility for density of lung tissue within 2-3%. Additionally we implemented a spirometric CT triggering technique, as described by Kalender and coworkers, to get the possibility to scan at defined levels of inspiration. To ensure reproducibility and objectivity, an automatic evaluation procedure for CT densitometry of the lungs has been developed. This computer program, using a segmentation threshold in a contour tracking algorithm, isolates both lungs automatically after which all relevant CT parameters are calculated.

Chapter 3 gives an overview of the literature of CT densitometry of the lungs and describes the CT protocol, the technique of respiratory gating of the CT scanner and dosimetrical aspects.

In **chapter 4** the issue of conformity between the various scanners on the market is addressed. A systematic comparison of lung densitometry as calculated with six CT scanners was performed; GE Highlight, Picker PQ-2000, Philips scanners SR 7000 and LX, and two Siemens Somatom Plus systems. All CT scanners had an acceptable calibration of water density. The scanners were well designed with respect to CT number sensitivity to reconstruction filter, zoom factor, table height and slice thickness, with the exception of the two Philips systems in regard to sensitivity to slice thickness. CT numbers from the GE Highlight and Picker PQ-2000 scanner showed some sensitivity to phantom size and composition. The Siemens Somatom Plus systems were well calibrated and not very sensitive to phantom size or composition. After correcting for poor air calibration the conformity of all scanners in the low density range was fair: at a density of about 100 kg/m^3 the standard deviation of the average over all scanners is less than 3 HU, and the maximum observed inter-scanner difference is 7 HU.

In **chapter 5** a contribution is given to optimize the method of image analysis. An image analysis program uses a segmentation threshold which discriminates soft tissue from lung by fast contour tracking. In addition, outer pixels that are still affected by the thoracic wall or larger vessels are excluded by shrinking the contour to obtain truly lung parenchyma related data. This process is called 'erosion'. Subsequently, CT number histograms of both lungs are determined and the densitometric parameters are calculated automatically. Changing segmentation threshold and number of erosions affect strongly the number of pixels that belong to the high density part of the CT number histogram of the lung.

Most previous authors paid little attention to the analysis protocol and were not aware of the large differences in densitometric parameters which are introduced by changing segmentation threshold and numbers of erosions. The segmentation procedure is usually poorly described and often there is no mention whether erosions have been applied. A low threshold is well suited for segmentation along thin septa but a too low threshold can lead to exclusion of parts of the lungs. For comparability of results, the same evaluation protocols should be applied. From our experiments it was con-

cluded that for densitometry a segmentation threshold of -400 HU combined with two erosions should be applied. For volumetry, the same threshold combined with zero erosions should be adequate.

In **chapter 6** the reproducibility of spirometrically controlled CT lung densitometry at defined levels of inspiration in a clinical setting was assessed. CT sections were obtained on two separate days from 20 hospitalized patients. Various lung density parameters, reflecting the shape of the CT number histogram were calculated and results of corresponding CT sections were compared. The most reproducible CT lung density measurements were obtained at 90% vital capacity. At this level of inspiration, reproducibility was of the order of 3-14 HU. At 10% vital capacity, however, reproducibility was worse by a factor of three. If CT scans at residual volume are used for diagnosis and follow-up, respiratory control is mandatory. Reproducibility of lung density measurements was not influenced by severe respiratory insufficiency.

In **chapter 7** CT lung densitometry results at defined levels of inspiration from 3 groups of 20 individuals each were compared: a group consisting of patients who fulfilled the functional criteria of emphysema; a group who met the clinical and functional criteria of chronic bronchitis, and a group of persons who had no pulmonary symptoms and normal results of lung function tests. This study confirmed the value of spirometrically controlled CT densitometry in the quantitative assessment of lung density at selected levels of inspiration. Three densitometric parameters, namely mean lung density, percentage of pixels in the -910 to -1024 HU range (pixel index), and the cut-off point that defines the lowest 10th percentile of the frequency distribution of HU numbers, were compared. Regardless of the level of inspiration, significant differences were found between patients who had emphysema, healthy persons and patients who had chronic bronchitis. Differences between healthy subjects and patients with chronic bronchitis were only significant at 10% vital capacity. On the basis of these results, we concluded that two sections obtained at the same level - one at 90% vital capacity and one at 10% vital capacity - are sufficient for the classification of subjects into one of the three groups.

In **chapter 8** we assessed the association of emphysema with airflow limitation in patients with advanced COPD, and studied the point of debate whether DL_{CO} can be used as an indicator for emphysema in advanced COPD. In a study of 100 patients with COPD we used high resolution CT of the lungs in combination with CT lung densitometry, as the gold standard for the diagnosis of emphysema and for assessment of its severity. Using a visual grading method, CT-scored significant emphysema was found mainly in patients with stage II or stage III COPD ($FEV_1 < 50\%$ predicted). Lung density measurements confirmed visual observations. With progression of airflow limitation, the lung density in patients with COPD obtained at 90% vital capacity and at 10% vital capacity decreased as expected. Results suggest a distinct presence of emphysema in patients with advanced COPD. The DL_{CO} proved to be a useful test to

separate emphysema from chronic bronchitis types of COPD. The vast majority of patients with COPD (93%) and a DL_{CO} % predicted of less than 50 % showed emphysematous changes at CT, and 56 % of these patients suffered from significant emphysema. In contrast with this, only 23 % of patients with COPD and DL_{CO} % predicted of equal to or more than 50 showed emphysema on CT, and only a small minority of patients (4%) showed significant emphysematous parenchymal changes on CT. We found a good correlation between DL_{CO} and the severity of emphysema independent of the degree of airflow limitation. However in patients with DL_{CO} less than 50 % predicted, the correlation between DL_{CO} and the severity of emphysema was poor. DL_{CO} measurements cannot be relied on for quantitative assessment of severity and extent of emphysema, but DL_{CO} measurements are valuable for selection of patients for radiologic emphysema assessment.

The usefulness of CT lung densitometry in the assessment of interstitial lung disease was investigated in **chapter 9**. Thin-section CT scans were obtained of a group of 66 persons consisting of 35 coal miners with a normal chest radiograph, 11 coal miners with a chest radiograph showing nodular opacities consistent with coal worker's pneumoconiosis, and 20 healthy volunteers. All scans were visually assessed for the presence and extent of coal worker's pneumoconiosis. In addition, spirometrically gated CT sections of the upper and the lower zones of the lungs were obtained at 90% and 10% vital capacity. Based on results of visual assessment, subjects were divided into three subsets. Densitometric parameters of coal worker's pneumoconiosis obtained from the three groups were compared and correlated with results of visual assessment of CT scans. Progression of coal worker's pneumoconiosis was associated with increasing attenuation values in both lung zones and at both levels of inspiration. Densitometric parameters between groups differed significantly only in the upper zones at 90% vital capacity. CT densitometry correlated well with visual assessment of thin-section CT of the lung provided that the CT sections were obtained at 90% vital capacity. At 10% vital capacity correlations were always poor. CT scans obtained at 90% vital capacity in the upper zones of the lungs are the best candidates for lung densitometric measurements in coal worker's pneumoconiosis.

In conclusion

Modern CT scanners that are properly calibrated are well suited for densitometric studies of the lung, but to attain generally comparable results the same scan and analysis protocols should be applied. For the study of the lungs at intermediate levels of inspiration, gated triggering of the CT scanner is required. Reproducibility of densitometric results using this technique was shown to be satisfactory. Densitometry proved to be useful in the assessment of pulmonary emphysema and might also be helpful in the diagnosis and follow-up of interstitial lung disease

Future developments

The development of very fast volume scanning makes possible the investigation of the whole lung within a single breath-hold period. Using this technique it is likely that total lung mass *in vivo* can be determined much more accurately than was previously possible. With suitable software for the analysis of the large datasets obtained, volume scanning might then find application in the field of lung volume reduction surgery and in longitudinal studies of various forms of lung disease.

Surgical resection of nonfunctioning areas of lung tissue - lung volume reduction surgery- is emerging as a promising option for the treatment of selected patients with severe debilitating emphysema. Volumetric CT densitometry may be helpful in selecting candidates who will benefit from lung volume reduction surgery. From a surgical point of view, assessment of the relative severity and location of emphysematous lung may be useful so that the most emphysematous section of the lung can be removed. In conjunction with clinical findings and pulmonary function tests, these densitometric data will improve our understanding of the full mechanisms responsible for the improvement after lung volume reduction surgery as well as of the long-term outcome.

CT can be used to quantify the progression of the pathology in emphysema. Longitudinal studies of lung mass might be very rewarding if combined with metabolic studies. There is a growing interest in the relationship between the nutritional status and lung structure. Food deprivation alters the architecture of terminal air spaces in a manner similar to that which occurs in emphysema. Studies mainly performed in animals have repeatedly shown that lung weight is decreased in starvation. A substantial number of patients suffering from COPD also experience gradual and significant weight loss during the course of their illness yet the potential effect on lung weight is unknown. The significance of *in vivo* determination of lung density could be of particular interest from the point of view of understanding the pathophysiology of starvation-induced changes in pulmonary structure, but also to evaluate the effectiveness of therapeutic strategies to improve nutritional status.

Samenvatting

Al sedert de introductie van computertomografie (CT) is densitometrie gebruikt om op niet-invasieve wijze de regionale en gemiddelde dichtheid van de longen te bepalen. CT densitometrie is gebaseerd op het feit dat de door de CT scanner in wekedelen gemeten verzwakking van de röntgenbundel een lineaire relatie kent met de dichtheid (g/cm^3). De techniek biedt de mogelijkheid om objectieve informatie te verschaffen omtrent de dichtheid van de longen en eventuele veranderingen daarin.

Doelen van dit proefschrift zijn: het vergelijken van de prestaties van verschillende CT scanners op het gebied van longdensitometrie, het bepalen van de variabiliteit van één en dezelfde scanner, het leveren van een bijdrage aan de standaardisering van zowel de scantechniek als de post-processing van CT beelden, het bepalen van de reproduceerbaarheid van spirometrisch gecontroleerde longdichtheidsmetingen in de dagelijkse praktijk, en tenslotte het toepassen van spirometrisch gecontroleerde CT triggering in enkele pulmonologische klinische studies.

In **hoofdstuk 2** worden verscheidene aspecten van chronisch obstructief longlijden (COPD) belicht: definities, pathologische karakterisering, klinisch beeld, longfunctieonderzoek en radiologisch onderzoek. Een sterk verlaagde expiratiesnelheid is een spirometrisch ventilatoire bevinding wijzend op bronchusobstructie, terwijl de diffusiecapaciteit van koolmonoxyde (DL_{CO}) meer specifieke informatie geeft omtrent het al dan niet aanwezig zijn van emfyseem.

Hoge resolutie CT wordt als de meest betrouwbare onderzoeksmethode beschouwd om emfyseem op een niet-invasieve manier in vivo te diagnostiseren en te kwantificeren. Correlaties tussen visuele CT emfyseemcores en pathologische emfyseemcores liggen in de orde van grootte van 0.57 tot 0.91.

In het verleden is vergelijking van densitometrische resultaten, verkregen met verschillende CT scanners, om verschillende redenen niet mogelijk gebleken. De meetresultaten van veel CT scanners bleken in lage-dichtheidstudies onvoldoende nauwkeurig en daarnaast werd in vrijwel alle tot op heden gepubliceerde CT densitometrische studies geen aandacht geschonken aan acquisitie- en analyseprotocollen. Een ander belangrijk probleem was de invloed van de mate van inspiratie op de longdichtheid: veranderingen in de orde van grootte van een factor 2 tussen inspiratie en expiratie zijn mogelijk. Controle van het inspiratieniveau tijdens het scannen is dus een eerste vereiste voor reproduceerbaarheid van metingen. Ook was de handmatig

uitgevoerde analyse van de CT data afhankelijk van de onderzoeker. Bovendien was deze analyse zeer tijdrovend. Automatische evaluatieprogrammatuur lijkt noodzakelijk om binnen acceptabele tijd een hoge mate van precisie te bereiken en om de invloed van de onderzoeker op het uiteindelijke meetresultaat te elimineren.

We hebben de prestaties van onze CT scanner ten aanzien van luchtdichtheidsmetingen bepaald. Het systeem bleek correcte resultaten te leveren (CT-waarde: 1000 ± 1 Hounsfield Unit, HU) en toonde over een periode van meer dan een jaar een verloop van hooguit 1 HU. De reproduceerbaarheid van metingen aan longweefsel lag in de orde van 2 tot 3 %.

Daarnaast hebben wij een door Kalender en medewerkers beschreven spirometrische 'triggering techniek' geïmplementeerd, teneinde de mogelijkheid te verkrijgen om op vooraf in te stellen inspiratieniveaus te scannen.

Om objectiviteit van de analyse van CT data te waarborgen werd speciale, in hoge mate geautomatiseerde evaluatieprogrammatuur ontwikkeld ten behoeve van CT longdensitometrie. Deze programmatuur maakt gebruik van een algoritme dat automatisch de longwand zoekt, en deze op een in te stellen CT waarde (de segmentatiedrempel) volgt zodat het longparenchym van het andere thoraxweefsel gescheiden wordt. Na deze automatische segmentering, die met de hand nog gecorrigeerd kan worden, worden alle relevante densitometrische parameters berekend.

In **hoofdstuk 3** wordt een kort literatuuroverzicht gegeven inzake CT longdensitometrie, gevolgd door een beschrijving van het scan protocol, de spirometrische 'CT triggering techniek' en de wijze waarop de analyse van CT data geschiedt. Tenslotte komen dosimetrische aspecten van het gebruikte CT scanprotocol aan de orde

In **hoofdstuk 4** worden de densitometrische prestaties van een zestal CT scanners vergeleken. In het onderzoek zijn betrokken: GE Highlight, Picker PQ-2000, de Philips scanners SR 7000 en LX, en 2 Siemens Somatom Plus systemen. Alle CT scanners toonden een acceptabele kalibratie voor water, terwijl de kalibratie voor lucht voor sommige scanners enigszins te wensen overliet. De scanners konden de toets der kritiek wat betreft de gevoeligheid voor reconstructiefilter, vergrotingsfactor, tafelhoogte en snededikte goed doorstaan, met uitzondering van de twee Philips systemen die een grote gevoeligheid voor coupedikte aan de dag legden. De CT-waarden van de GE Highlight en Picker PQ-2000 scanner bleken enigszins gevoelig voor fantoomgrootte en -samenstelling. Na correctie van de luchtkalibratie waren de meetresultaten van de diverse scanners vergelijkbaar. Voor dichtheden rond 0.1 g/cm^3 bedroeg de standaarddeviatie van de resultaten van alle scanners minder dan 3 HU, terwijl het maximale gemeten verschil tussen twee scanners 7 HU bedroeg.

In **hoofdstuk 5** wordt een bijdrage geleverd aan de optimalisatie van de analysemethodieken van CT data. Er is een computerprogramma ontwikkeld waarin een segmentatiedrempel kan worden ingesteld die in een contourdetectiealgoritme wordt gebruikt om longparenchym te scheiden van het de longen omhullende wekeweefsel.

Na segmentatie kunnen de buitenste pixels, die mogelijk nog beïnvloed zijn door de thoraxwand of de grote vaten, geëxcludeerd worden om data te verkrijgen die louter met longparenchym gerelateerd zijn. Het excluderen van de buitenste pixels, dus het 'krimpen' van de contour, heet erosie. Vervolgens worden automatisch CT-waarden histogrammen van beide longen berekend, en hieruit alle gewenste densitometrische parameters.

Veranderingen in segmentatiedrempel en aantal erosies beïnvloeden wezenlijk het aantal pixels dat behoort tot het hoge-dichtheidsdeel van het CT-waarden histogram. In het verleden hebben de meeste auteurs aan analyseprotocollen weinig aandacht geschonken. De segmentatieprocedure is gewoonlijk slecht beschreven en vaak wordt zelfs niet vermeld of, dan wel hoeveel, erosies er zijn toegepast. Een lage segmentatiedrempel is weliswaar geschikt om nog succesvol langs dunne septae te segmenteren, maar een te lage segmentatiedrempel kan resulteren in uitsluiting van longparenchym. Om vergelijkbare resultaten te verkrijgen dienen dezelfde acquisitie- en evaluatieprotocollen te worden toegepast. Uit onze experimenten kan worden geconcludeerd dat voor longdensitometrie een segmentatiedrempel van -400 HU, gecombineerd met 2 erosies, meestal optimaal is. Voor volumetrie is dezelfde segmentatiedrempel, maar nu gecombineerd met nul erosies, het meest geschikt.

In **hoofdstuk 6** wordt bestudeerd hoe het met de reproduceerbaarheid van spirometrisch gecontroleerde CT densitometrie gesteld is in de dagelijkse praktijk. Op twee opeenvolgende dagen werden op twee spirometrisch gecontroleerde inspiratieniveaus (90% en 10% van de inspiratoire vitale capaciteit) bij 20 gehospitaliseerde patiënten CT opnames gemaakt van zowel de boven- als de ondervelden van de long. Densitometrische parameters, die de vorm van het CT-waarden histogram reflecteerden, werden berekend en vergeleken voor corresponderende CT coupes. De meetresultaten verkregen op 90% van de vitale capaciteit bleken het beste reproduceerbaar te zijn, met gevonden verschillen in de orde van grootte van 3-14 HU. De reproduceerbaarheid was een factor 3 slechter indien werd gescand op 10% van de vitale capaciteit. Geconcludeerd werd, dat als CT scans op *residuaal volume nodig zijn voor diagnostiek* of het vervolgen van respiratoire aandoeningen, deze onder spirometrische controle uitgevoerd dienen te worden. De reproduceerbaarheid van longdichtheidsmetingen bleek niet te worden beïnvloed door de ernst van de *respiratoire insufficiëntie* van patiënten.

In **hoofdstuk 7** werden densitometrische meetresultaten vergeleken afkomstig van 3 groepen personen, waarbij elke groep bestond uit 20 individuen. Eén groep was samengesteld uit patiënten die voldeden aan de functionele criteria van emfyseem, de tweede groep uit patiënten die voldeden aan de klinische en functionele criteria van chronische bronchitis, en de derde groep uit personen zonder pulmonale symptomen en met een normaal longfunctieonderzoek. De CT scans werden wederom spirometrisch getriggerd op 90% en 10% van de inspiratoire vitale capaciteit in zowel de

boven- als de ondervelden. Deze studie bevestigde de waarde van spirometrisch gecontroleerde CT densitometrie in de kwantitatieve vaststelling van longdichtheid op vastgestelde inspiratieniveaus. Ongeacht het niveau van inspiratie werden significante verschillen in dichtheid gevonden tussen patiënten met emfyseem enerzijds, en patiënten met chronische bronchitis en gezonde personen anderzijds. De longdichtheid van gezonde personen en patiënten met chronische bronchitis verschilde alleen significant op 10% van de vitale capaciteit. De gemiddelde veranderingen in densitometrische parameters tussen 90 en 10% vitale capaciteit waren bij gezonde personen aanzienlijk groter dan bij patiënten met COPD. Op basis van deze resultaten hebben wij geconcludeerd dat het goed mogelijk is om op basis van de meetresultaten van twee op het zelfde scanniveau verkregen CT sneden, één op 90% en één op 10% van de vitale capaciteit, personen in te delen bij één van deze 3 groepen.

In **hoofdstuk 8** werd bij een groep van 100 patiënten met COPD onderzocht of emfyseem geassocieerd is met luchtwegobstructie. Daarnaast werd nagegaan of DL_{CO} metingen gebruikt kunnen worden als indicator voor emfyseem. De mate van emfyseem werd met behulp van hoge-resolutie CT en een visueel graderingssysteem vastgesteld. De resultaten suggereerden een uitgesproken aanwezigheid van emfyseem in patiënten met gevorderd COPD. Significant emfyseem werd voornamelijk aangetroffen bij patiënten met stadium II of III COPD (FEV_1 kleiner dan 50 % van de gemiddelde normale waarde). Visuele observaties werden door longdichtheidsmetingen bevestigd. De dichtheid van de longen nam met progressie van luchtwegobstructie significant af, zowel in scans op 90% als 10% van de inspiratoire vitale capaciteit.

DL_{CO} bleek bij patiënten met COPD een nuttige longfunctietest te zijn om emfyseem te onderscheiden van chronische bronchitis. De overgrote meerderheid van patiënten met COPD (93%) en een DL_{CO} kleiner dan 50% van de gemiddelde normale waarde, *toonde emfysemateuze veranderingen op CT, en 56% van deze patiënten leden aan ernstig emfyseem*. Daarentegen vertoonden slechts 23 % van de patiënten met COPD, en een DL_{CO} groter of gelijk dan 50% van de gemiddelde normale waarde, emfysemateuze veranderingen, waarvan bij een kleine minderheid (4%) ernstige emfysemateuze veranderingen werden vastgesteld. Er bestond een goede correlatie tussen DL_{CO} en de ernst van emfyseem, onafhankelijk van de mate van luchtwegobstructie. Daarentegen werd bij patiënten met een DL_{CO} kleiner dan 50% van de gemiddelde normale waarde geen verband aangetoond tussen DL_{CO} en de ernst van emfyseem. DL_{CO} metingen zijn dus nuttig om emfyseem bij patiënten met COPD vast te stellen, maar voor emfyseemkwantificering zijn ze niet geschikt. Het is aan te bevelen om bij patiënten met DL_{CO} waarden kleiner dan 50 % van de gemiddelde normale waarde de ernst van emfyseem vast te stellen met aanvullende HRCT.

Het nut van CT densitometrie bij de vaststelling van interstitiële longziekten, waarvan stoflongen er één is, was onderwerp van studie in **hoofdstuk 9**. Van een groep van 66 personen, bestaande uit 35 mijnwerkers met een normale thoraxfoto, 11 mijnwer-

kers met een thoraxfoto die nodulaire afwijkingen vertoonde wijzend op stoflongen, en 20 gezonde vrijwilligers werden 5 hoge-resolutie CT scans gemaakt. Alle scans werden visueel beoordeeld op de aanwezigheid en uitgebreidheid van interstitiële noduli. Vervolgens werden van iedere persoon spirometrisch gecontroleerde CT sneden van de boven- en de ondervelden gemaakt op respectievelijk 90% en 10 % van de inspiratoire vitale capaciteit. Gebaseerd op de resultaten van de visuele beoordeling werden de personen naar ernst onderverdeeld in drie groepen. De densitometrische parameters van de groepen werden onderling vergeleken en op correlatie met de visuele beoordelingresultaten onderzocht. Progressie van stoflongen ging op beide inspiratieniveaus gepaard met hogere dichtheidswaarden in zowel boven- als ondervelden. De densitometrische parameters van de groepen verschilden alleen significant op 90 % van de vitale capaciteit. CT longdensitometrie correleerde goed met de visuele score, wederom alleen op 90 % van de vitale capaciteit. CT sneden van de bovenvelden van de long zijn het meest geschikt ter vaststelling van stoflongen.

Conclusie

De huidige CT scanners zijn, mits goed gekalibreerd, uitermate geschikt voor densitometrische studies van de long. Echter, om algemeen vergelijkbare resultaten te verkrijgen is het van groot belang eenzelfde scan- en analyse protocol te hanteren. Voor densitometrisch onderzoek van de long op intermediaire inspiratieniveaus is spirometrische controle een vereiste. CT densitometrie kan nuttig zijn voor de diagnostisering, kwantificatie en het vervolgen van emfyseem en interstitiële longziekten.

Toekomstige ontwikkelingen

De ontwikkeling van snelle volumescanning maakt het mogelijk gedurende één periode van ademinhouden de gehele thorax te scannen. Gebruik makend van deze techniek kan men het longvolume en de longmassa bepalen met een nauwkeurigheid die veel groter is dan in het verleden haalbaar was. Met geschikte software voor de analyse van de zo verkregen omvangrijke datasets kan volumescanning wellicht van nut zijn in het kader van volumereductiechirurgie en longitudinale studies van verscheidene vormen van longziekten.

Resectie van niet functionerende gebieden van longweefsel - volumereductiechirurgie - is inmiddels uitgegroeid tot een veelbelovende therapie voor een kleine groep van geselecteerde patiënten met ernstig invaliderend emfyseem. Volumetrische CT densitometrie kan behulpzaam zijn bij het selecteren van kandidaten die van deze behandeling kunnen profiteren. Voor de chirurg kan objectieve vaststelling van de locatie en de ernst van emfyseem nuttig zijn zodat hij het meest emfysemateuze longweefsel kan reseceren. Samen met klinische bevindingen en longfunctie-onder-

zoek kunnen densitometrische data mogelijk helpen inzicht te verschaffen in de mechanismen die verantwoordelijk zijn voor verbetering na behandeling en langere termijn ontwikkeling van de aandoening.

Longitudinale studies van longmassa kunnen erg de moeite waard zijn in combinatie met metabole studies. Er is groeiende interesse in de relatie tussen de voedingsstatus en longarchitectuur. Langdurige ondervoeding en emfyseem veranderen de structuur van de luchthoudende ruimten distaal van de bronchiolus terminalis op min of meer overeenkomstige wijze. Dierexperimenteel onderzoek heeft herhaaldelijk aangetoond dat het gewicht van de long tijdens langdurig vasten vermindert. Een groot aantal patiënten dat lijdt aan COPD ondergaat een geleidelijk maar significant gewichtsverlies gedurende het beloop van hun ziekte. Het potentiële effect op het longgewicht is onbekend. De *in vivo* bepaling van de longdichtheid is dan interessant in het kader van de begripsvorming omtrent de pathofysiologie van door vasten geïnduceerde veranderingen in de pulmonale architectuur, alsook om de effectiviteit van therapeutische strategieën ter verbetering van de voedingstatus te evalueren.