

# Lifelong learning in radiology

## Citation for published version (APA):

van Geel, K. (2020). *Lifelong learning in radiology: all eyes on visual expertise*. Maastricht University. <https://doi.org/10.26481/dis.20201105kg>

## Document status and date:

Published: 01/01/2020

## DOI:

[10.26481/dis.20201105kg](https://doi.org/10.26481/dis.20201105kg)

## 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](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

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

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Summary



S



---


## *Chapter 1: General introduction*

The role of medical images is ever more increasing in everyday medical practice. Furthermore, a growing number of (non-radiology) physicians evaluate images themselves nowadays, and new imaging techniques regularly become available. The evaluation of medical images is considered a complex skill that takes extensive practice and training to master. Novices, residents, and experts have different learning experiences throughout their development of image evaluation skills. They, therefore, need different strategies to support their learning experience. This Ph.D. thesis aims to support lifelong learning by investigating how learning to evaluate medical images takes place for a range of learners of medical students to senior radiologists.

Novices, such as medical students, generally have their first encounters with evaluating medical images in training settings. To optimally support novices, it is relevant to investigate how to provide effective and efficient image evaluation training. The effects of the prevalence of normal and abnormal images and educational (instructional) design on the detection and the analysis of lesions by novices on chest radiographs are investigated in Chapter 2. The effects of a systematic-viewing training on visual search patterns and lesion detection of novices on chest radiographs are investigated in Chapter 3.

Intermediates, such as residents in radiology, engage in workplace learning and thus primarily learn through feedback on their image evaluations. More insights into how the evaluation process takes place could provide residents with feedback and help them monitor their learning. The development of visual search patterns and lesion detection of first-year residents on chest radiographs in radiology is investigated in Chapter 4.

Finally, while radiologists are the acknowledged experts in medical image interpretation, they will still need to continuously develop their image evaluation skills as new imaging techniques frequently become available. Radiologists may wonder how to implement these new techniques into everyday medical practice optimally. The effects of the evaluation order of traditional (plain) and new (contrast-enhanced) mammograms on visual search patterns and malignant lesion detection by breast radiologists are investigated in Chapter 5.



*Chapter 2: The effects of prevalence and educational design on lesion detection and analysis by third-year medical students*

Image evaluation training predominantly focuses on abnormal findings, while images in medical practice are predominantly normal. This mismatch between training and medical practice may lead to a wrong impression of the prevalence of diseases to students. Moreover, in image evaluation training, novices generally receive expert instruction prior to practice (deductive sequences) and will only apply a told solution. However, for novices, practice prior to instruction is advised (inductive sequences). Such sequences should invoke productive failure; students will need to figure out solutions by themselves and will initially fail yet become fully immersed in problem-solving, eventually leading to a deeper understanding. In a 2x2 between-subjects design, the impact of prevalence (70% normal versus 30% normal cases in a practice phase) and instructional sequence (inductive versus deductive sequences) on lesion detection and lesion analysis of chest radiographs by third-year medical students ( $n=103$ ) was investigated. A sensitivity-specificity tradeoff was found based on the practice phases' prevalence: students practicing with predominantly abnormal images found more lesions (higher sensitivity). Students practicing with predominantly normal images were more likely to correctly call normal images 'normal' on the posttest (higher specificity). Furthermore, the students of the inductive conditions had similar posttest lesion detection and lesion analysis compared to the students of the deductive conditions. Unexpectedly, students of the inductive conditions took less time per case during the practice phase and could not have explored the cases in enough depth. Furthermore, productive failure was probably also invoked in the deductive conditions and may not be confined to inductive conditions. Overall, for novices' image evaluation training, the proportion of abnormal and normal cases should be an important consideration, and deductive instructional sequences are advised.

*Chapter 3: the effects of a systematic-viewing training on visual search patterns and lesion detection of final-year medical students*

Novices are generally advised to use a systematic search strategy for the evaluation of medical images. A systematic search strategy is defined as always evaluating images in the same specific order. Systematic search should lead to more complete evaluations (defined as coverage; the percentage of the image looked at), and fewer missed abnormalities. In a previous study, a systematic search strategy was not beneficial for the

detection of lesions by third-year medical students, when compared to a nonsystematic control condition. It is hypothesized that novices already need to possess some knowledge basis on cardiopulmonary diseases to take full advantage of a systematic search strategy for the various abnormalities on chest radiographs. Therefore, the effects of a systematic-viewing strategy compared to a nonsystematic viewing strategy on visual search patterns and lesion detection of chest radiographs in final-year medical students ( $n=60$ ) were investigated with eye-tracking technology. Although students of the systematic-viewing group became more systematic compared to the students of the nonsystematic viewing group, both groups increased similarly in coverage and lesion detection post-training. Teachers are thus advised to particularly teach recognizing normal and abnormal findings on medical images and focus less on teaching systematic search strategies.

*Chapter 4: The development of visual search patterns and lesion detection of first-year residents in radiology*


Intermediates, such as residents in radiology, predominantly learn from feedback on their image evaluations as they engage in workplace learning. More insights into how the evaluation process takes place and how this process changes over time could provide additional and in-depth feedback to residents. However, previous investigations on the evaluation process in radiology generally were cross-sectional. Therefore, it is challenging to answer how the evaluation process of residents changes over time. The longitudinal development of visual search patterns and lesion detection on chest radiographs of first-year residents ( $n=16$ ) in radiology was investigated with 11 experimental sessions consisting of 20 chest radiographs during the first year of residency training. Evaluation times were halved during the first four months. More efficient visual search patterns accompanied this decrease with the most pronounced changes happening during the first four months. Moreover, visual search patterns were slightly different on abnormal images compared to normal images. Finally, lesion detection remained constant throughout the first year of residency training, and any longitudinal effects of training on lesion detection were probably indirect as evaluation time did decrease. Overall, this study's findings provide more insights into how the evaluation process changes over time and could be used to enhance feedback for residents in radiology.

*Chapter 5: The effects of evaluation order of traditional (plain) and new (contrast-enhanced) mammograms on visual search patterns and malignant lesion detection by breast radiologists*

Acknowledged experts, such as radiologists, need to adapt and implement new imaging techniques into daily practice continuously. Contrast-enhanced mammography (CEM) is a recently introduced imaging technique and was found superior to full-field digital mammography (FFDM) for detecting malignant breast lesions. CEM examinations consist of a low-energy (LE, similar to a plain mammogram) image and a recombined, contrast-enhanced image (RC). Manufacturers typically advise LE-RC evaluation orders, yet breast radiologists with some experience in evaluating CEM report using an RC-LE order since malignant lesions appear more salient on the RC images. The effects of an RC-LE and a LE-RC evaluation order on visual search patterns and malignant lesion detection of breast radiologists ( $n=27$ ) were investigated and compared to an FFDM condition. Evaluation times were 33% lower for the RC-LE order compared to the LE-RC order, while visual search patterns and lesion detection measures were similar. CEM conditions scored superior compared to FFDM on lesion detection, while evaluation times were similar. Eye-tracking technology proved beneficial to uncover a part of the previously covert evaluation process and is advised to tailor the implementation of new imaging techniques.

*Chapter 6: General discussion*

The main findings of the separate studies are summarized, and their theoretical and practical values are subsequently appraised. First, on the subject of teaching radiology, it is advised to focus more on the anatomy, physiology, and potential pathology, and less on systematic search strategies. Second, teachers should consider the proportion of normal and abnormal images of their image evaluation training. The prevalence of diseases impacts the criterion to differentiate normal from abnormal images. Teachers could use prevalence to shift novices' criteria. Third, eye-tracking technology can provide more insights into the image evaluation process for new and additional feedback to intermediates (residents) and recommendations to experts (experienced radiologists) for implementing new techniques into clinical practice. Furthermore, some limitations of this thesis need to be mentioned: only two-dimensional images were used in the experiments. Any extrapolation of the findings to volumetric images should be done with care. Additionally, the experiments on image evaluation training did not have delayed posttests to measure the retention of knowledge.



In conclusion, this Ph.D. thesis shows how different educational strategies are essential to support learners from the whole range of expertise development in radiology.





# Samenvatting



S

## Hoofdstuk 1: Algemene introductie

Het belang van medische beelden neemt toe in de dagelijkse, medische beslisvorming. Daarnaast beoordeelt een toenemend aantal (niet-radiologische) artsen deze beelden tegenwoordig zelf en er worden regelmatig nieuwe beeldvormende technieken geïntroduceerd. Het beoordelen van medische beelden wordt als een complexe vaardigheid beschouwd, en om hier deskundig in te worden is het noodzakelijk om uitgebreid te oefenen en ondergaat de leerling vele trainingen. Beginners, gevorderden en experts hebben andere leerervaringen gedurende de ontwikkeling van hun beoordelingsvaardigheden van medische beelden. Verschillende strategieën zijn dan ook essentieel om de leerervaringen van beginners, gevorderden en experts te ondersteunen. Het doel van dit proefschrift is om een leven lang leren te ondersteunen, door te onderzoeken hoe het leren beoordelen van medische beelden plaatsvindt van het hele spectrum aan artsen; van medisch studenten tot aan radiologen.

Beginners, zoals medisch studenten, hebben meestal hun eerste ervaringen met het beoordelen van medische beelden tijdens trainingen. Om beginners optimaal te ondersteunen, is het relevant om te onderzoeken hoe zulke trainingen zo effectief en efficiënt mogelijk kunnen zijn. De effecten van prevalentie van normale en abnormale beelden en het onderwijskundige (chronologische) ontwerp op de detectie en analyse van laesies door beginners, die röntgenfoto's van de borstkas ("thoraxfoto's") beoordelen, worden onderzocht in Hoofdstuk 2. De effecten van een training in systematisch kijken op visuele zoekpatronen en de detectie van laesies door beginners, die thoraxfoto's beoordelen, worden onderzocht in Hoofdstuk 3.

Gevorderden, zoals arts-assistenten in de radiologie, houden zich bezig met werkplekleren. Zij leren hoofdzakelijk door feedback op hun eigen beoordelingen van de medische beelden. Meer inzichten hoe het beoordelingsproces plaatsheeft, en hoe dit proces ontwikkeld wordt, kan arts-assistenten voorzien van nieuwe en additionele feedback. Deze feedback kan gebruikt worden om meer inzage te krijgen in hun ontwikkeling. De ontwikkeling van visuele zoekpatronen en de detectie van laesies van eerstejaars arts-assistenten in opleiding tot radioloog, die thoraxfoto's beoordelen, wordt onderzocht in Hoofdstuk 4.

Ten slotte, hoewel radiologen gezien worden als de experts in het beoordelen van medische beelden, zullen ook zij hun beoordelingsvaardigheden moeten

blijven ontwikkelen omdat er geregeld nieuwe, beeldvormende technieken geïntroduceerd worden. Radiologen vragen zich wellicht af hoe zij zulke nieuwe technieken zo optimaal mogelijk kunnen implementeren in hun dagelijkse, medische praktijk. De effecten van de beoordelingsvolgorde van traditionele (conventionele), nieuwe (contrast-versterkte) mammogrammen op visuele zoekpatronen en de detectie van maligne laesies door mammoradiologen worden onderzocht in Hoofdstuk 5.

*Hoofdstuk 2: De effecten van prevalentie en onderwijskundig ontwerp op de detectie van laesies en analyse door derdejaars medisch studenten*

Ten eerste, training in het beoordelen van medische beelden richt zich hoofdzakelijk op abnormale bevindingen, terwijl beelden in de dagelijkse, medische praktijk voornamelijk normaal zijn. Deze discrepantie tussen training en medische praktijk zou kunnen leiden tot een verkeerde indruk van studenten van de prevalentie van ziekten. Ten tweede, tijdens trainingen in het beoordelen van medische beelden krijgen beginners meestal eerst een uitleg van een expert voordat zij gaan oefenen (deductieve volgorde). Beginners zullen zo enkel leren om een voorgezegde oplossing toe te passen. Voor beginners wordt daarom oefening voorafgaand aan uitleg van een expert geadviseerd (inductieve volgorde). Een inductieve volgorde zou moeten leiden tot "productief falen"; studenten zullen zelf oplossingen moeten verzinnen en zullen hierin in eerste instantie falen, maar zij worden wel volledig ondergedompeld in het oplossen van dit probleem. Dit zou uiteindelijk moeten leiden tot een beter begrip van het probleem. In een 2x2 experiment tussen groepen van derdejaars medische studenten ( $n=103$ ) zijn de effecten van prevalentie (70% normale beelden versus 30% normale beelden in een oefenfase) en onderwijskundige volgorde (inductieve versus deductieve volgorden), op de detectie en analyse van laesies op thoraxfoto's onderzocht. Er werd een wisselwerking tussen de sensitiviteit en specificiteit van de medische studenten gevonden. Studenten die hoofdzakelijk met abnormale beelden oefenden, detecteerden meer laesies op de eindtoets (hogere sensitiviteit). Studenten die hoofdzakelijk met normale beelden oefenden, waren meer geneigd om normale beelden als normaal te beoordelen op de eindtoets (hogere specificiteit). Er werd daarnaast gevonden dat de studenten van de inductieve groepen een vergelijkbare detectie en analyse van laesies op de eindtoets hadden als de studenten van de deductieve groepen. De studenten van de inductieve groepen gebruikten onverwachts minder tijd per thoraxfoto gedurende de oefenfase, vergeleken met de studenten van de deductieve groepen.

Wellicht hebben de studenten van de inductieve groepen de beelden niet in voldoende diepte bestudeerd. Productief falen heeft waarschijnlijk ook plaatsgevonden in de deductieve groepen en is daardoor niet beperkt tot inductieve volgorden. Samenvattend, de proportie van abnormale en normale beelden zou een belangrijke overweging moeten zijn voor (het ontwerpen van) trainingen in het beoordelen van medische beelden, daarnaast worden deductieve volgorden geadviseerd voor radiologisch onderwijs aan medische studenten.

*Hoofdstuk 3: De effecten van een training in systematisch kijken op visuele zoekpatronen en de detectie van laesies door laatstejaars medische studenten*

Beginners wordt meestal geadviseerd om een systematische zoekstrategie te hanteren voor het beoordelen van medische beelden. Een systematische zoekstrategie is gedefinieerd als het altijd in dezelfde volgorde beoordelen van medische beelden. Het systematisch zoeken zou moeten leiden tot meer complete beoordelingen (gedefinieerd als dekking; het percentage van een medisch beeld dat bekeken is) en minder gemiste abnormaliteiten. In een eerdere studie bleek een systematische zoekstrategie niet bevorderlijk voor de detectie van laesies door derdejaars medische studenten, vergeleken met een onsystematische controlegroep. Er wordt verondersteld dat beginners al enige kennis van cardiopulmonale ziekten moeten bezitten om een systematische zoekstrategie volledig te kunnen benutten voor het scala aan abnormale bevindingen op thoraxfoto's. De effecten van een training van een systematische zoekstrategie op visuele zoekpatronen en de detectie van laesies op thoraxfoto's door laatstejaars medische studenten ( $n=60$ ) werden vergeleken met de effecten van een training van een onsystematische zoekstrategie. Hoewel de studenten getraind in een systematische zoekstrategie systematischer werden, in vergelijking met de studenten getraind in een onsystematische zoekstrategie, namen de dekking en de detectie van laesies na de respectievelijke trainingen in eenzelfde mate toe. Docenten wordt daarom geadviseerd om voornamelijk aandacht te besteden aan het leren herkennen van normale en abnormale bevindingen, en minder aandacht te besteden aan het aanleren van systematische zoekstrategieën.

*Hoofdstuk 4: De ontwikkeling van visuele zoekpatronen en de detectie van laesies door eerstejaars arts-assistenten in opleiding tot radioloog*

Gevorderden, zoals arts-assistenten in opleiding tot radioloog, leren



hoofdzakelijk door feedback op hun eigen beoordelingen van medische beelden aangezien zij bezig zijn met werkplekleren. Meer inzichten over hoe het beoordelingsproces plaatsheeft, en hoe dit beoordelingsproces ontwikkeld wordt over tijd kan aanvullende en diepgaande feedback voor arts-assistenten opleveren. Echter, eerdere studies naar beoordelingsprocessen van medische beelden hadden nagenoeg allemaal een transversale onderzoeksoepzet (cross sectioneel). Het is zodoende moeizaam om op basis van deze studies de vraag te beantwoorden hoe de longitudinale ontwikkeling van het beoordelingsproces van arts-assistenten plaatsheeft. De longitudinale ontwikkeling van visuele zoekpatronen en de detectie van laesies op thoraxfoto's door eerstejaars arts-assistenten ( $n=16$ ) in opleiding tot radioloog is onderzocht gedurende hun eerste opleidingsjaar, met behulp van 11 sessies bestaande uit telkens 20 thoraxfoto's. De beoordelingstijd halveerde gedurende de eerste vier maanden. Efficiëntere visuele zoekpatronen vergezelden deze afname, waarbij de meest uitgesproken veranderingen eveneens gevonden werden tijdens de eerste vier maanden. Verder waren visuele zoekpatronen op abnormale medische beelden enigszins verschillend vergeleken met de zoekpatronen op normale beelden. Ten slotte, de detectie van laesies bleef constant gedurende het eerste opleidingsjaar, en mogelijke longitudinale effecten van de opleiding zijn waarschijnlijk indirect aangezien de beoordelingstijd afnam. Samenvattend, de resultaten van dit onderzoek bieden meer inzichten in de longitudinale ontwikkeling van het beoordelingsproces, en de resultaten kunnen gebruikt worden om feedback aan arts-assistenten te verbeteren.

*Hoofdstuk 5: De effecten van beoordelingsvolgorde van traditionele (conventionele) en nieuwe (contrast-versterkte) mammogrammen op visuele zoekpatronen en de detectie van maligne laesies door mammoradiologen*

Erkende experts, zoals radiologen, zullen zich continu moeten aanpassen en zullen nieuwe beeldvormende technieken moeten implementeren in hun dagelijks werk. Contrast-versterkte mammografie (CVM) is zo'n recent ontwikkelde, beeldvormende techniek. CVM blijkt superieur te zijn aan traditionele, conventionele mammografie (CM) voor de detectie van maligne laesies aan de borsten. CVM-onderzoeken bestaan uit een laag-energiek beeld (LE, vergelijkbaar aan een CM onderzoek) en een gerecombineerd, contrast-versterkt beeld (GC). Fabrikanten van CVM adviseren normaliter een LE-GC volgorde, terwijl mammoradiologen met enige ervaring met het beoordelen van CVM-onderzoeken aangeven om een GC-LE volgorde te gebruiken, aangezien maligne laesies meer in het

oog springen op de GC-beelden. De effecten van een GC-LE en een LE-GC volgorde op visuele zoekpatronen en de detectie van maligne laesies door mammoradiologen ( $n=27$ ) is onderzocht en vergeleken met een CM-groep. De beoordelingstijd was 33% korter voor de GC-LE volgorde, vergeleken met de LE-GC volgorde, terwijl visuele zoekpatronen en de laesie detectie maten vergelijkbaar waren. CVM-groepen scoorden superieur vergeleken met de CM-groepen op de detectie van maligne laesies, terwijl de beoordelingstijden vergelijkbaar waren. Eye-tracking technologie bleek van meerwaarde om het beoordelingsproces beter in kaart te brengen. Deze technologie wordt geadviseerd voor de implementatie van nieuwe beeldvormende technieken.

### *Hoofdstuk 6: Algemene discussie*

De algemene bevindingen van de afzonderlijke studies zijn samengevat, en de theoretische en praktische waarden zijn vervolgens afgewogen. Ten eerste, ten aanzien van trainingen om medische beelden te leren beoordelen, wordt geadviseerd om meer aandacht te besteden aan de anatomie, fysiologie en mogelijke pathologie, en minder aandacht aan systematische zoekstrategieën. Ten tweede, docenten zouden de proportie van normale en abnormale beelden in overweging moeten nemen voor hun trainingen in het beoordelen van medische beelden. De prevalentie van ziekten is van invloed op het criterium om normale bevindingen van abnormale te differentiëren. Docenten kunnen de prevalentie van ziekten daarmee gebruiken om dit criterium van beginners te verschuiven naar de meest wenselijke situatie. Ten derde, eye-tracking technologie kan meer inzichten bieden in het beoordelingsproces voor nieuwe en diepgaande feedback aan gevorderden (arts-assistenten). Daarnaast kan eye-tracking technologie aanbevelingen geven aan experts (ervaren radiologen) voor het implementeren van nieuwe technieken in de dagelijkse praktijk. Vervolgens worden enkele beperkingen van dit proefschrift benoemd: er zijn enkel tweedimensionale beelden gebruikt in de verschillende studies. Het veralgemeniseren van de onderzoeksresultaten naar volumetrische beelden (bijvoorbeeld MRI- en CT-scans) wordt hierdoor bemoeilijkt. Verder hadden de experimenten naar trainingen van het leren beoordelen van medische beelden geen uitgestelde eindtoetsen. Concluderend, dit proefschrift laat zien hoe verschillende, onderwijskundige strategieën noodzakelijk zijn om het hele spectrum van artsen (van medische studenten tot aan ervaren radiologen) te ondersteunen in het leren beoordelen van medische beelden.