

Developing visual expertise

Citation for published version (APA):

Kok, E. M. (2016). *Developing visual expertise: from shades of grey to diagnostic reasoning in radiology*. University Press Maastricht.

Document status and date:

Published: 01/01/2016

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 8

Summary

Chapter 1: General introduction

Many professions involve the interpretation of complex visualizations, a task that is non-trivial and requires years of dedicated training to fully develop. Chest radiograph interpretation is such a task: It is considered to be a basic skill for radiologists, but is also considered very hard to learn. Many novices just perceive a constellation of greys, while radiologists can interpret this information into a diagnosis. In this thesis expertise development in radiology was investigated. Prior research on visual expertise development is discussed first. Next, eye movements as a method for investigating visual expertise are discussed, and the first research question is introduced: *How can eye tracking contribute to studying the development of visual expertise in radiology?* This research question is addressed in Chapter 2. Subsequently, it is discussed what changes in eye movements with increasing expertise can be predicted from theories about visual expertise. Most expertise studies are conducted using a restricted set of tasks, usually the detection of small tumors on chest radiographs and mammograms. The limitations of these studies are discussed and the second research question is introduced: *How do eye movements differ between experts, intermediates and novices in the domain of radiology, and how do expertise differences interact with image characteristics?* This research question is addressed in Chapters 3 and 4. Finally, the thesis zooms in on the novice-end of the expertise spectrum. Expertise theories provide information on the specific characteristics that novices have in comparison to experts in the domain. Two potential interventions were investigated that target those characteristics. Thus, the third research question is: *What is the effect of systematic viewing training and studying case comparisons on learning radiology?* This research question is addressed in Chapters 4, 5 and 6.

Chapter 2: Before your very eyes: The value of eye tracking in medical education

Eye tracking is a technique to investigate visual expertise in medicine. It measures the movements of the eyes to see what a person is looking at, for how long, and in what order. In Chapter 2, the value and limitations of eye tracking for researchers and practitioners in medical education are clarified. Eye tracking can be used to investigate visual expertise development, but also as an online measure of how students engage with learning materials, or to investigate social interaction (e.g., eye contact in feedback meetings) in learning situations. Finally, eye movements can be displayed to students, so they can learn how experts look at the

learning material. Eye movements provide valid information about the student's attention when experiments are carefully designed. However, when memory or higher cognitive skills are investigated, additional data are often required. It is recommended that eye tracking research is conducted and interpreted along theoretical models in order to provide relevant guidelines for practice, and useful additions to theory. All in all, eye tracking is a promising technique for medical education research.

Chapter 3: Looking in the same manner but seeing it differently:

Bottom-up and expertise effects in radiology

Most expertise research in radiology is conducted with a restricted set of tasks. Many different types of images exist in radiology, and the characteristics of the image can guide viewing behavior. This chapter investigates how bottom-up effects of stimulus characteristics interact with top-down effects of expertise in guiding attention. We made a distinction between three types of images: focal (localized) diseases, diffuse diseases which affect the whole lung, and normal (healthy) images. The eye movements of 11 sixth-year medical students, 10 radiology residents and 9 experienced radiologists were measured. They diagnosed 24 conventional chest radiographs, 8 of them showing a focal disease, 8 showing a diffuse disease and 8 normal images. The type of image had a large impact on the eye movements: Viewing patterns of radiologists, residents and students were quite similar for focal and diffuse images. Students viewing behavior differed mostly from the other two groups for the normal images. Their diagnostic accuracy, however, was relatively high for normal images, but very low for the disease images. Although viewing patterns were similar, students lack the knowledge that helps them to correctly diagnose the diseases.

Chapter 4: Systematic viewing in radiology: Seeing more, missing less?

Radiology textbooks and websites recommend “systematic viewing” of chest radiographs, which refers to consistently inspecting a list of anatomical areas in a fixed order. This is supposed to ensure complete inspection of the image (i.e., full coverage), which should lead to better diagnostic performance because less abnormalities are missed. The assumed mechanism (systematic viewing leads to increased coverage, which leads to less misses) has not been empirically tested so far. We tested this in two experiments. Additionally, Experiment 1 investigated whether systematic

viewing increases with higher expertise. Experiment 2 also investigated whether novices benefit from a full-coverage or systematic viewing training. In Experiment 1, 11 sixth-year medical students, 10 radiology residents and 9 experienced radiologists inspected 5 normal chest radiographs. Experiment 2 had 75 2nd year students undergo training in either systematic, full-coverage (without being systematic) or non-systematic viewing. We measured eye movements and diagnostic performance in both experiments. Data in neither of the experiments supports the assumed relationship between systematic viewing, coverage and performance. Experts were significantly more systematic than students, but covered significantly less of the image. Students did not benefit from a systematic-viewing training, although eye-movement data show that the trainings had the expected effects on the viewing behavior.

Chapter 5: Learning radiological appearances of diseases: Does comparison help?

Learning by comparing cases is found to be effective in many different tasks, such as category learning and mathematics. The structural alignment theory states that during the comparison of two images, features and relationships within an image are systematically matched to the other image. Differences between images become more salient as a result of this matching process. Thus, comparison of contrasting examples (images of diseases with normal images) could help medical students learn the discriminating features of those diseases. A distinction is made between focal (localized) diseases, and diffuse diseases, which affect the whole lung. Sixty-one third-year medical students studied 24 cases of 12 common diseases on chest radiographs. They were randomly assigned to a group that compared those cases with cases that showed no abnormalities (normal images), or that compared two images of the same disease (but in different patients). Subsequently, they took two tests. Students who compared with normal images outperformed the students who compared with images of the same disease, but only for focal and not for diffuse images. It is concluded that comparison with a normal image might have rendered the focal diseases more salient, as predicted by the structural alignment theory. This may have made it easier for students to study the relevant information in the cases.

Chapter 6: Case comparisons: An efficient way of learning radiology

We extended our research on case comparisons by adding another way of case comparisons: comparing cases of different diseases. Three ways of comparing cases were investigated: comparing an image with an image showing no abnormalities (disease/normal comparison), comparing two images of the same disease but in different patients (same-disease comparison), and comparing two images of different diseases (different-disease comparison). The effectiveness of these three types of comparison for learning was investigated, and contrasted with a no-comparison control condition. Furthermore, it was investigated what aspects of the cases were compared by using eye tracking. We randomly assigned 84 medical students to one of those 4 conditions, and asked them to study 6 examples of 8 diseases, while their eye movements were measured. Thereafter, participants took two tests, one to measure diagnostic performance, and one to measure their ability to locate the disease. Students were found to study most efficiently (achieving the same learning result, but with less study time) in the same-disease and different-disease comparison conditions. The eye tracking data showed that students actually used the opportunity to compare, they compared mostly between normal anatomies (e.g., the heart in one image with the heart in the other image). It is concluded that the type of comparison should be adapted to the learning goal. More specifically, participants in the same-disease condition were most efficient in learning to locate the disease, and participants in the different-disease condition were most efficient in learning to discriminate between diseases. Comparison with normal was effective mainly for distinguishing normal from abnormal.

Chapter 7: General discussion

The general discussion provides a synopsis of the main findings of this thesis, as well as a discussion of its theoretical contributions. It is argued that eye tracking is a relevant tool to investigate visual expertise and its development, but eye-movement differences cannot be considered direct markers of expertise and should be interpreted in relationship to the stimulus or task. Instead of training students to inspect an image in a certain order, it seems to be more effective to train students in what the stimuli and the targets (abnormalities) look like. The next section discusses three limitations of this thesis. First of all, only chest radiographs were used in this thesis, making it hard to generalize the findings to other types of medical images and complex visualizations. Furthermore, the studies we conducted were all short-term interventions and follow-up studies on long-

term effects are required. A specific limitation of the studies reported in Chapters 5 and 6 was that we used only visual information, while verbal descriptions of the abnormalities could potentially make the effect of the case comparisons more powerful. Lastly, implications for practice are discussed: Expertise research has the potential to support the interaction between clinical teachers and their learners. Furthermore, case comparisons are a potentially powerful way to teach radiology, for example in lectures or in teaching files. Although systematic viewing is considered the golden standard in teaching radiology, it might not be as solid as assumed. Together, the studies in this thesis show that eye tracking provides relevant insight into expertise development in radiology, and underlines the need for theory-based educational interventions to help students develop visual expertise.

Chapter 9

Nederlandse samenvatting

Hoofdstuk 1: Algemene introductie

In veel beroepen moeten professionals complexe visualisaties interpreteren. Het interpreteren van complexe visualisaties is niet triviaal, en er is vaak jaren van toegewijde training nodig om de taak goed te leren uitvoeren. Het interpreteren van thorax röntgenfoto's is zo'n taak: dit wordt gezien als een basale vaardigheid voor radiologen, maar ook als een taak die lastig is om te leren. Veel beginners nemen slechts een set grijstinten waar, terwijl radiologen deze informatie gebruiken om een diagnose te stellen. In dit proefschrift is de expertiseontwikkeling in de radiologie onderzocht. Bestaand onderzoek naar visuele expertise wordt eerst besproken. Daarna wordt oogbewegingsregistratie beschreven als een methode om visuele expertise te onderzoeken, en hiermee wordt ook de eerste onderzoeksvraag geïntroduceerd: *Hoe kan oogbewegingsregistratie bijdragen aan het onderzoek naar de ontwikkeling van visuele expertise in de radiologie?* Deze onderzoeksvraag wordt behandeld in Hoofdstuk 2. Vervolgens wordt besproken wat theorieën over visuele expertise voorspellen met betrekking tot veranderingen in oogbewegingen als expertise toeneemt. De meeste expertise-onderzoeken zijn uitgevoerd met een beperkte set van taken, voornamelijk het detecteren van kleine tumoren op thorax röntgenfoto's en mammogrammen. De beperkingen van deze aanpak worden besproken, en de tweede onderzoeksvraag wordt geïntroduceerd: *Hoe verschillen de oogbewegingen tussen experts, gevorderden ('intermediates') en beginners in de radiologie, en hoe interacteren expertiseverschillen met kenmerken van het beeld?* Deze onderzoeksvraag wordt behandeld in Hoofdstuk 3 en Hoofdstuk 4. Als laatste zoomt dit proefschrift in op het 'beginners' deel van het expertise-spectrum. Theorieën over visuele expertise geven informatie over welke kenmerken beginners hebben ten opzichte van experts in het domein. We onderzochten twee interventies die inspelen op deze kenmerken. Daarom is de derde onderzoeksvraag: *Wat zijn de effecten van een training in systematisch kijken, en het vergelijken van casussen op het leren diagnosticeren van röntgenfoto's?* Deze onderzoeksvraag wordt onderzocht in de Hoofdstukken 4, 5 en 6.

Hoofdstuk 2: Je ziet het voor je ogen gebeuren: De waarde van oogbewegingsregistratie voor de medische onderwijskunde

Oogbewegingsregistratie is een techniek om visuele expertise in de geneeskunde te onderzoeken. Het meet de bewegingen van de ogen om te zien waar iemand kijkt, voor hoe lang, en in welke volgorde. In Hoofdstuk 2 wordt uitgelegd wat de waarde is van oogbewegingsregistratie voor onderzoekers en beroepsbeoefenaars in de medische onderwijskunde, en

ook wat de mogelijke beperkingen zijn. Oogbewegingsregistratie kan gebruikt worden om visuele expertise te onderzoeken, maar ook als een manier om te registreren hoe studenten zich bezig houden met een leertaak. Daarnaast kan het gebruikt worden om sociale processen in leersituaties te onderzoeken (bijvoorbeeld oogcontact in feedbackbijeenkomsten). Ten slotte kunnen oogbewegingen van een expert aan een student getoond worden, zodat die kan zien hoe een expert naar de leertaak kijkt. Als een experiment goed ontworpen is geven de oogbewegingen valide informatie over het richten van de aandacht door studenten. Echter, wanneer het geheugen of hogere cognitieve vaardigheden het onderwerp van onderzoek zijn, zijn er vaak extra gegevens nodig. Als oogbewegingsregistratie uitgevoerd en geïnterpreteerd wordt vanuit een theoretisch model kunnen deze data relevante richtlijnen opleveren voor de praktijk, en nuttige aanvullingen voor de theorie. Kortom, het meten van oogbewegingen is een veelbelovende techniek voor de medische onderwijskunde.

Hoofdstuk 3: Op dezelfde manier kijken, maar iets anders zien:

Effecten van de stimulus en van expertise in de radiologie

Het grootste deel van het expertise onderzoek in de radiologie is uitgevoerd met een beperkte set van taken: voornamelijk het detecteren van kleine tumoren op röntgenfoto's en mammogrammen. Echter, er bestaan veel verschillende radiologische stimuli, en de specifieke kenmerken van de stimuli kunnen het kijkgedrag sturen. Dit hoofdstuk onderzoekt hoe de kenmerken van de stimulus interacteren met de effecten van expertise in het sturen van de aandacht. We maken een onderscheid tussen drie typen beelden: focale ziektes (op één locatie), diffuse ziektes die de hele long beïnvloeden, en normale (gezonde) beelden. We maten de oogbewegingen van 11 zesdejaars studenten geneeskunde, 10 artsen in opleiding tot radioloog en 9 ervaren radiologen. Zij diagnosticeerden 24 röntgenfoto's van de thorax. Op 8 daarvan was een focale ziekte te zien, op 8 was een diffuse ziekte te zien en 8 van de beelden waren normaalbeelden. De kenmerken van het beeld hadden een groot effect op de oogbewegingen: Het kijkgedrag van studenten leek erg op dat van radiologen en assistenten in opleiding tot radioloog voor de focale en diffuse ziektes, maar niet voor de normaalbeelden. De diagnostische accuratesse van de studenten was echter relatief hoog voor normaalbeelden, maar erg laag voor de beide typen ziektes. Hoewel kijkpatronen dus vergelijkbaar waren, missen studenten de kennis om de ziektes correct te diagnosticeren.

Hoofdstuk 4: Systematisch kijken in de radiologie: Meer bekijken, minder missen?

Leerboeken en websites over radiologie raden vaak aan dat röntgenfoto's van de thorax op een systematische manier bekeken worden. Hiermee wordt bedoeld dat de anatomische gebieden altijd in dezelfde volgorde geïnspecteerd moeten worden. Dit zou ertoe moeten leiden dat het complete beeld bekeken wordt (complete dekking), wat er dan weer voor zou moeten zorgen dat er geen afwijkingen gemist worden. Dit veronderstelde mechanisme (systematisch kijken leidt tot een completer kijkgedrag, wat dan weer leidt tot minder gemiste afwijkingen) is nog niet eerder empirisch getest. We testten dit mechanisme in twee experimenten. Daarnaast onderzocht Experiment 1 of systematisch kijken meer voorkomt bij een hoger expertise-niveau. Experiment 2 keek ook of beginners in de radiologie profijt hebben van een training in het compleet bekijken of systematisch bekijken van röntgenfoto's. In Experiment 1 keken 11 zesdejaars geneeskundestudenten, 10 assistenten in opleiding tot radioloog, en 9 ervaren radiologen naar 5 normale thoraxfoto's (i.e., zonder afwijkingen). In Experiment 2 namen 75 tweedejaars geneeskundestudenten deel aan een training. Deze training ging over systematisch bekijken, compleet bekijken (zonder systematisch te zijn) of niet-systematisch bekijken van een röntgenfoto. We maten in beide experimenten de oogbewegingen en de prestaties. De verwachte relatie tussen systematisch kijken, complete dekking en presentatie werd niet ondersteund door de data uit beide experimenten. Experts waren significant systematischer dan studenten, maar bekeken een significant kleiner deel van het beeld. De studenten hadden geen profijt van de training in het systematisch kijken, hoewel de oogbewegingsdata laten zien dat de trainingen wel het verwachte effect op hun oogbewegingen hadden.

Hoofdstuk 5: Het aanleren van de radiologische verschijningen van ziektes: Helpt vergelijken?

Voor verschillende taken, zoals het leren van categorisatie en het leren van wiskunde, is al gevonden dat het vergelijken van casussen effectief is voor het leren. De 'structural alignment' (structurele uitlijning) theorie stelt dat de kenmerken en relaties binnen een stimulus systematisch gerelateerd worden aan een andere stimulus tijdens het vergelijkproces. Als gevolg van dit proces worden verschillen tussen de twee stimuli extra opvallend. Het vergelijken van contrasterende voorbeelden (röntgenfoto's

van ziektes met röntgenfoto's zonder afwijkingen) zou studenten dus kunnen helpen bij het leren wat de kenmerken van die ziektes zijn. We maken een verschil tussen focale ziektes, die zich op één plek bevinden, en diffuse ziektes, die de hele long beïnvloeden. 61 derdejaars geneeskundestudenten bestudeerden 24 casussen van 12 veelvoorkomende ziektes op thorax röntgenfoto's. Ze werden random toegewezen aan een groep die deze casussen vergeleek met röntgenfoto's zonder afwijkingen (normaalbeelden), en een groep die steeds twee casussen van dezelfde ziekte, maar bij een andere persoon, vergeleek. Na afloop kregen ze twee toetsen. De deelnemers die vergeleken met de normaalbeelden hadden een betere toets score, maar alleen voor focale en niet voor diffuse ziektes. Er werden geen verschillen gevonden in het beschrijven van de kenmerken. We concluderen dat het vergelijken van een casus met een normaalbeeld de focale ziektes opvallender heeft gemaakt, zoals verwacht op basis van de 'structural alignment' theorie. Dit heeft het gemakkelijker gemaakt voor de studenten om de aandacht te richten op de relevante informatie.

Hoofdstuk 6: Het vergelijken van casussen: Een efficiënte manier van leren

Het onderzoek naar het vergelijken van casussen werd uitgebreid met een ander type vergelijkingen: het vergelijken van casussen van verschillende ziektes. We vergeleken dus drie types vergelijkingen: het vergelijken van een ziekte met een röntgenfoto waar geen abnormaliteiten op te zien waren (ziek/normaal vergelijking), het vergelijken van twee röntgenfoto's van dezelfde ziekte maar in andere patiënten (zelfde-ziekte vergelijking), en het vergelijken van twee röntgenfoto's van verschillende ziektes (verschillende-ziektes vergelijking). We vergeleken deze ziektes met een conditie waarin niet vergeleken kon worden (controle conditie). We maten de oogbewegingen om te zien welke aspecten van de casussen vergeleken werden. We wezen 84 derdejaars geneeskundestudenten random toe aan één van de 4 vergelijk-condities. Ze bestudeerden 6 voorbeelden van 8 verschillende ziektes, en we maten de oogbewegingen. Daarna maakten de deelnemers twee toetsen, een om de diagnostische prestatie te meten, en een om te meten of ze konden aangeven wat de locatie van de ziekte was. We vonden dat studenten het meest efficiënt studeerden in de zelfde-ziekte en verschillende-ziekte vergelijkingcondities. De oogbewegingsdata laten zien dat studenten daadwerkelijk vergeleken. Ze vergeleken vooral de normale anatomie (bijvoorbeeld het hart op de ene röntgenfoto met het hart op de andere röntgenfoto). Er wordt geconcludeerd dat het type vergelijking aangepast moet worden aan het

leerdoel: Studenten in de zelfde-ziekte conditie waren het meest efficiënt in het leren lokaliseren van de ziekte, terwijl studenten in de verschillende-ziekte vergelijking conditie het meest efficiënt waren in het leren discrimineren tussen ziektes. De ziek/normaal vergelijking was vooral effectief voor het leren onderscheiden van ziekte en normaliteit.

Hoofdstuk 7: Algemene discussie

Dit hoofdstuk vat de bevindingen van het proefschrift samen en bediscussieert de theoretische bijdragen. We bespreken dat oogbewegingsregistratie nuttig is bij het onderzoeken van visuele expertise, maar dat specifieke oogbewegingsmaten niet gezien moeten worden als directe afspiegeling van expertise, maar geïnterpreteerd dienen te worden in relatie tot de stimulus of de taak. We bespreken verder dat het niet zo effectief is om studenten te trainen in hoe ze naar abnormaliteiten moeten kijken, maar dat we studenten beter kunnen trainen in hoe de stimuli en de afwijkingen er uit zien. Vervolgens worden drie beperkingen van dit proefschrift besproken. Allereerst hebben we alleen thorax röntgenfoto's onderzocht in dit proefschrift, waardoor de bevindingen niet noodzakelijkerwijs generaliseerbaar zijn naar andere types visualisaties. Verder waren alle onderzoeken korte-termijn interventies, en er is dus onderzoek nodig naar de lange-termijn effecten. Een specifieke beperking van de studies gerapporteerd in Hoofdstuk 5 en Hoofdstuk 6 is dat we alleen visuele informatie hebben gebruikt. Verbale beschrijvingen van de afwijkingen maken het vergelijken van casussen potentieel effectiever. Als laatste worden de implicaties van het onderzoek beschreven. Onderzoek naar expertise heeft de potentie om de interactie tussen klinisch docenten en de lerenden te ondersteunen. Het vergelijken van casussen heeft veel potentie bij het doceren van de radiologie, bijvoorbeeld in colleges of in 'teaching files'. Het aanleren van een systematische aanpak daarentegen, lijkt niet zo effectief als wel wordt aangenomen. Samen laten deze studies zien dat oogbewegingsregistratie een inzicht geeft in de ontwikkeling van visuele expertise in de radiologie. Daarnaast onderstreept dit proefschrift de behoefte aan onderwijskundige interventies die gebaseerd zijn op theorie, voor de ondersteuning van visuele expertise-ontwikkeling.