

Kunstmatige intelligentie bij het lokaliseren van de driehoek van Calot tijdens een cholecystectomie

Universiteit Twente
Technische Geneeskunde
MDO groep 1

**UNIVERSITY
OF TWENTE.**



Jenneke de Jong
Dionne Nijland
Ilja Westra
Lisa Zwetsloot

Kunstmatige intelligentie bij het lokaliseren van de driehoek van Calot tijdens een cholecystectomie

Datum van publicatie: 25 juni 2018

Auteurs: Jenneke de Jong, Dionne Nijland, Ilja Westra en Lisa Zwetsloot

Studentnummers: S1727583, S1742027, S1742302, S1710974

Opleiding: Technische Geneeskunde

Medisch begeleider Meander Medisch Centrum: Prof.dr. I.A.M.J. Broeders

Technisch begeleider Universiteit Twente: Dr.ir. F. van der Heijden

Technisch Geneeskundig begeleider Universiteit Twente: M. Schuhmacher

Voorwoord

Op 23 april zijn wij begonnen met de Multi Disciplinaire Opdracht, de bacheloropdracht van Technische Geneeskunde aan de Universiteit Twente. Voor deze opdracht hebben wij de vrijheid gekregen om onszelf te oriënteren binnen het onderwerp Kunstmatige Intelligentie (KI) in de operatiekamer en tot een onderzoeksvoorstel te komen. Vervolgens hebben wij negen weken lang onderzoek gedaan naar het gebruik van KI bij een cholecystectomie.

In deze scriptie is de eerste stap van de toepassing van KI bij een cholecystectomie beschreven. Ook is onderzocht wat de visie van chirurgen op KI is. De opdracht is verstrekt door het Meander Medisch Centrum te Amersfoort. De overige faciliteiten om deze opdracht goed uit te kunnen voeren heeft de Universiteit Twente voor haar rekening genomen.

Er zijn een aantal personen die we willen bedanken voor hun bijdrage aan deze scriptie. Allereerst willen we dr.ir. F. van der Heijden, onze technisch begeleider, bedanken voor het overdragen van zijn kennis over KI en begeleiding bij het gebruik van MATLAB. Verder willen we Michiel Schuhmacher, onze TG-begeleider, bedanken voor zijn begeleiding bij het opstellen van een onderzoeksvoorstel en zijn paraatheid tijdens onze bezoeken aan het Meander. Onze medisch begeleider prof. I. Broeders willen we bedanken voor het laten bijwonen van verschillende operaties in het Meander en het delen van zijn inzichten in de ontwikkeling en toepassing van KI op de OK. Ook willen we Hans-Pieter Snels, onze tutor, bedanken voor het begeleiden van het groepsproces. De gesprekken waren een welkome afwisseling en gaven ons nieuwe inzichten. Uiteraard willen we ook alle chirurgen die bereid waren een interview te geven bedanken voor hun belangrijke bijdrage aan onze scriptie. Ten slotte willen we alle proefpersonen bedanken; zonder hen was het niet gelukt om het experiment uit te voeren.

Jenneke de Jong, Dionne Nijland, Ilja Westra en Lisa Zwetsloot

Enschede, 25 juni 2018

Samenvatting

INLEIDING: Een mogelijke waardevolle medische toepassing van Kunstmatige intelligentie (KI) is structuurherkenning tijdens operaties [1]. Een cholecystectomie is een dergelijke operatie waarbij structuurherkenning van groot belang is. Tijdens een cholecystectomie moet, voorafgaand aan het verwijderen van de galblaas, de driehoek van Calot gelokaliseerd worden [2]. Aangezien de driehoek van Calot lastig te onderscheiden is van omliggend weefsel, is dit een proces wat veel tijd kost en niet altijd succesvol is [3][4]. In dit onderzoek wordt onderzocht op welke manier KI chirurgen kan ondersteunen bij het veiliger en efficiënter herkennen van de driehoek van Calot tijdens een cholecystectomie en wat de visie van chirurgen op KI is. Er wordt een experiment opgesteld waarbij de herkenning snelheid van personen en een computernetwerk vastgesteld worden. Verwacht wordt dat de computer sneller is dan personen, omdat computers sneller zijn in het verwerken van data [5]. De verwachting van de toekomstvisie van chirurgen betreft KI, is dat de meningen uiteenlopend zullen zijn. Vooral wordt verwacht dat er sceptisch zal worden gereageerd door de medisch specialisten.

METHODE: Na trainen met artificiële afbeeldingen met driehoeken, cirkels en ruis is onderzocht of het middels *deep learning* mogelijk is dat het netwerk deze structuren zelfstandig gaat herkennen. Hierna is de herkenning snelheid van 48 proefpersonen in de praktijk getest. Hiervoor zijn films gecreëerd waarin driehoeken en cirkels vanaf een willekeurig moment langzaam in beeld komen. Deze films zijn gebruikt om te bepalen wanneer het netwerk en de proefpersonen de vorm herkennen. Ten slotte is de vergelijking gemaakt tussen de gemiddelde snelheid van de herkenning door de proefpersonen en de snelheid van herkenning door het netwerk met behulp van een statistische analyse. Met behulp van de *one-sample* onafhankelijke T-toets is de nulhypothese: ‘Het getrainde netwerk herkent de vorm op hetzelfde framenummer als de proefpersonen’ getest tegen de alternatieve hypothese: ‘Het getrainde netwerk herkent de vorm op een eerder framenummer dan de proefpersonen’. Middels het afnemen van interviews met medisch specialisten is hun visie op KI en de toepassing hiervan op de OK duidelijk geworden. Door bepaalde rubrieken te maken, is er schematisch naar de interviews gekeken en zijn deze vergeleken.

RESULTATEN EN CONCLUSIE: Uit het onderzoek is gebleken dat een getraind netwerk sneller is in het herkennen van driehoeken dan de gemiddelde persoon. De resultaten laten zien dat het netwerk de driehoeken herkende bij een framenummer die gemiddeld 26 lager was dan die van de proefpersonen. Uit de statische analyse blijkt dat de p-waarde gelijk is aan 0,000 en de nulhypothese dus verworpen mag worden. Dit onderzoek is dus de eerste stap richting het gebruik van KI voor het veiliger en efficiënter herkennen van de driehoek van Calot tijdens een cholecystectomie. Daarnaast bleek naar verwachting dat de meningen van de chirurgen over KI verdeeld waren. Wel waren de chirurgen minder sceptisch dan verwacht. Bovendien is uit de interviews gebleken dat chirurgen KI in de komende tien jaar over het algemeen alleen nog als hulpmiddel zien. Op de vraag of KI uiteindelijk meer gaat zijn dan een hulpmiddel, waren de antwoorden uiteenlopend.

Inhoudsopgave

Glossarium	VI
1 Inleiding	1
1.1 De galblaas	1
1.2 Cholecystectomie	3
1.3 Kunstmatige Intelligentie	3
1.4 Hypothese	4
1.4.1 Hypothese 1	4
1.4.2 Hypothese 2	5
2 Methode	6
2.1 Literatuurstudie	6
2.2 Inzicht verkrijgen in een cholecystectomie	6
2.3 Experimenteel onderzoek	6
2.4 Interviews	8
3 Resultaten	9
3.1 Analyse door het getrainde netwerk	9
3.2 Vergelijking personen analyse met netwerkanalyse	10
3.3 Interview	12
4 Discussie	17
5 Conclusie	19
Referenties	22
Bijlage A: Aanvulling achtergrondinformatie	23
Bijlage B: Matlab scripts	25
Bijlage C: Analyse van het getrainde netwerk	33
Bijlage D: Interview protocol	34
Bijlage E: Extra afbeeldingen resultaten	35
Bijlage F: Aanvulling interview	37
Bijlage G: Onze toekomstvisies betreft KI	41
Bijlage H: Berekeningen	43

Glossarium

Afkorting	Definitie
A	Amplitude
a.	Arteria
ANN	<i>Artificial neural network</i>
CNN	<i>Convolutional neural network</i>
CVS	<i>Critical view of safety</i>
DL	<i>Deep learning</i>
fps	<i>Frames per second</i>
IC	Intensive care
KI	Kunstmatige intelligentie
ML	<i>Machine learning</i>
OK	Operatiekamer
SNR	<i>Signal to noise ratio</i>
stdev	Standaarddeviatie

1 Inleiding

De zorguitgaven zijn in 2018 de grootst begrote kostenpost [6]. Verwacht wordt dat de zorgkosten in het jaar 2021 met nog eens 4,9 procent gestegen zullen zijn ten opzichte van het jaar 2018 [7]. Het is dus van groot belang om de zorgkosten te reduceren en naar manieren te zoeken om de efficiëntie in de gezondheidszorg te verhogen.

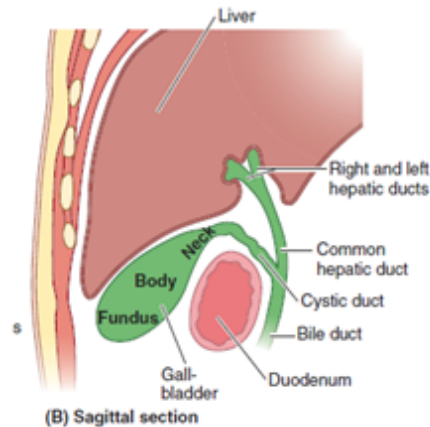
In diverse medische vakgebieden wordt gebruik gemaakt van kunstmatige intelligentie (KI) om de efficiëntie te verhogen [8]. KI is de studie van algoritmes die machines de mogelijkheid geeft om zelfstandig te redeneren en cognitieve functies uit te voeren zoals probleemoplossing, structuurherkenning en besluitvorming [9].

Een mogelijke waardevolle medische toepassing van KI is structuurherkenning tijdens operaties [1]. Een cholecystectomie is een dergelijke operatie waarbij structuurherkenning van groot belang is. Tijdens een cholecystectomie moet, voorafgaand aan het verwijderen van de galblaas, de driehoek van Calot gelokaliseerd worden [2]. Aangezien de driehoek van Calot lastig te onderscheiden is van omliggend weefsel, is dit een proces wat veel tijd kost en niet altijd succesvol is [3][4]. Indien de driehoek van Calot niet juist gelokaliseerd wordt kan dit leiden tot ernstige complicaties [10]. De meest ernstige complicatie is transsectie van de ductus choledochus [11][12]. Indien deze complicatie optreedt kan er stenose van de ductus choledochus optreden met als gevolg stase en biliaire cirrose[13][14]. Het doel van dit onderzoek is om te bepalen of KI tijdens een cholecystectomie een toevoeging kan zijn en hoe de chirurgen dit voor zich zien. Dit doel wordt bewerkstelligd aan de hand van de volgende vraag: op welke manier kan KI chirurgen ondersteunen bij het veiliger en efficiënter herkennen van de driehoek van Calot tijdens een cholecystectomie? Dit wordt onderverdeeld in twee subvragen waarbij de eerste vraag onderzoekt of een getraind KI netwerk de driehoek van Calot sneller kan herkennen dan de mens en de tweede vraag onderzoekt wat de visie van chirurgen is betreft KI bij cholecystectomieën op de veiligheid, efficiëntie en hun positie.

1.1 De galblaas

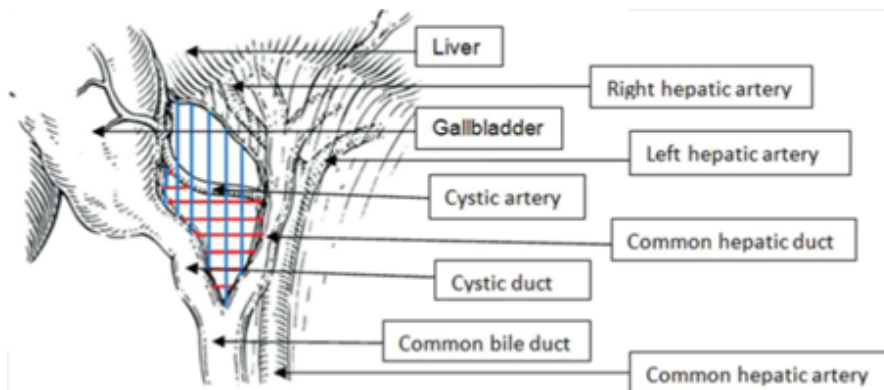
De galblaas bevindt zich in een fossa op het visceraal peritoneum van de rechter sagittale fissuur van de lever [15]. In de galblaas wordt gal opgeslagen. Dit is een complexe vloeistof die wordt geproduceerd en uitgescheiden door de lever. In de galblaas concentreert het gal tot de belangrijkste stoffen: galzouten, bilirubine, cholesterol en lecithine.[16] De galblaas bestaat uit drie delen: de fundus, het corpus en de cervix. De fundus is het brede uiteinde dat meestal onder de rand van de lever uitsteekt. Het corpus is het gedeelte dat contact maakt met het visceraal oppervlak van de lever. De cervix is smal, neemt af in dikte, maakt meestal een S-vormige bocht en sluit aan op de ductus cysticus. De fundus ligt anterior van het superior deel van het duodenum. Het corpus, de cervix en de ductus cysticus liggen superior van het duodenum.[15] Het peritoneum omringt de galblaas en verbindt het corpus en de cervix van de galblaas met de lever [15]. De anatomie van de galblaas is weergegeven in figuur 1.

Het gal wordt uit de lever afgevoerd via de ductus hepaticus communis [15]. Deze is via de ductus cysticus verbonden met de cervix van de galblaas. De ductus cysticus loopt tussen de lagen van het omentum minor aan de anterior zijde van de a. hepatica.[15][17] De ductus cysticus en ductus hepaticus communis komen samen in de ductus choledochus, die het gal afvoert naar het duodenum. De galblaas en de ductus cysticus worden door de a. cystica van bloed voorzien. Deze takt af van de a. hepatica dextra in de driehoek tussen de ductus hepaticus communis, ductus cysticus en het inferior oppervlak van de lever.[15] De a. cystica bevindt zich posterior van de ductus hepaticus communis en anterior van de ductus cysticus. Bij de galblaas splitst de a. cystica zich op in twee takken. Een tak loopt langs het peritoneale oppervlak van de galblaas en de andere tak loopt tussen de galblaas en de lever.[15][17]



Figuur 1: Anatomische omgeving van de galblaas.[15]

De anatomische driehoek van Calot bestaat uit verschillende structuren, waarbij aan de superior zijde de a. cystica ligt, aan de latero-inferior zijde de ductus cysticus en mediale zijde de ductus hepaticus communis. Door chirurgen wordt tegenwoordig ook een andere driehoek gebruikt waarbij het inferior oppervlakte van de lever de superior begrenzing van de driehoek vormt in plaats van de a. cystica. In figuur 2 zijn beide driehoeken van Calot weergegeven.[17][18]



Figuur 2: Driehoek van Calot. Rood geeft de anatomische driehoek weer en blauw geeft de chirurgische driehoek weer.[17]

De galblaas kent verschillende pathologieën, waarvan de voornaamste cholelithiasis, cholecystitis en carcinomen zijn [19]. Bij cholelithiasis zijn galstenen aanwezig in het lumen van de galblaas of in de galwegen. In 75 procent van de gevallen bestaan galstenen uit cholesterol en in de resterende gevallen uit calciumbilirubine en andere calciumzouten.[20] Veelal veroorzaken deze geen symptomen, maar kunnen milde tot erge pijn veroorzaken als ze in de ductus choledochus of ductus cysticus terechtkomen [19]. Galstenen bestaande uit calciumbilirubine worden vaak gevonden in de galwegen en galstenen bestaande uit cholesterol in de galblaas [20].

Acute cholecystitis is een ontsteking van de galblaas en ontwikkelt zich vaak door obstructie van de ductus choledochus en de ductus cysticus [21]. In 90 procent van de gevallen wordt dit veroorzaakt door galstenen en in de resterende gevallen door trauma, sepsis, salmonella typhosa infectie en polyarteritis nodosa [20]. Herhaaldelijke episodes van acute cholecystitis kunnen leiden tot chronische cholecystitis. Als de chronische cholecystitis lang aanhoudt kan dit uiteindelijk leiden tot een gecalificeerde galblaas.[20]

Het adenocarcinoom is de meest voorkomende tumor van de galblaas [20][22]. Dit wordt in 2 procent van de patiënten gevonden die een cholecystectomie ondergaan [20]. De pathogenese vindt plaats in de fundus, waar de wand desmoplastisch is. Tegen de tijd dat symptomen optreden is het altijd ongeneeslijk en de vijfjaarsoverleving is minder dan 3 procent [20][23]. Aanvullende informatie is te vinden in bijlage A.

1.2 Cholecystectomie

Indien de hiervoor genoemde pathologieën zich voordoen, is een cholecystectomie gebruikelijk [24]. Er zijn verschillende manieren om deze operatie te verrichten, namelijk middels open of laparoscopische cholecystectomie. De laparoscopische cholecystectomie is de gouden standaard voor het uitvoeren van cholecystectomieën.[25] Hierbij wordt de laparoscoop caudaal van de navel ingebracht. Het optiek mag niet te parallel aan de driehoek van Calot worden ingebracht.[2] Het is bij cholecystectomieën namelijk belangrijk om de driehoek van Calot in beeld te brengen, voor de zogenaamde *Critical View of Safety* (CVS). In het primaire gedeelte van de operatie wordt gebruik gemaakt van de chirurgische driehoek van Calot. De structuur is bedekt met peritoneum, wat het lastig maakt om de anatomische driehoek van Calot waar te nemen.[2] Als het peritoneum aan weerszijde van de peritoneale enveloppe geopend is, kan de CVS worden waargenomen indien de fundus van de galblaas over de lever heen wordt gespannen [2][24]. Bij cholecystitis is er sprake van ontsteking en fibrose, waardoor het verkrijgen van de CVS complexer wordt [2]. Pas als de CVS verkregen is, zal eerst de a. cystica worden geclipt en vervolgens de ductus cysticus. Deze specifieke volgorde van clippen is van belang om het scheuren van de a. cystica te voorkomen.[2]

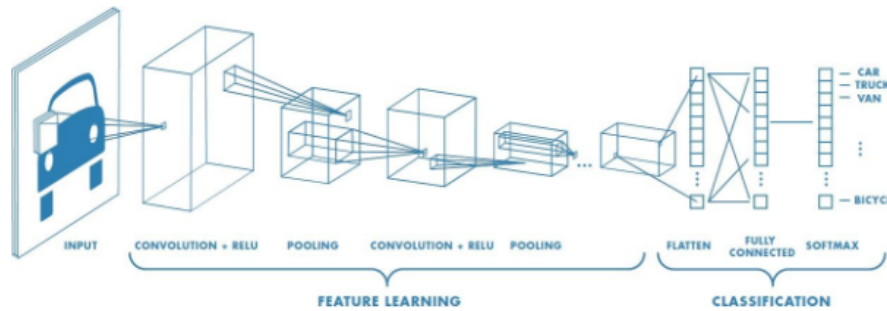
Naast de algemene complicaties, kunnen er ook specifieke complicaties bij de laparoscopische cholecystectomie optreden. Dit zijn beschadigingen of perforaties van nabijgelegen organen of beschadigingen aan de galwegen of bloedvaten.[26] Beschadigingen aan de galwegen en bloedvaten zijn de meest gevaarlijke complicaties, deze komen in minder dan 1 procent van de gevallen voor en kunnen levensbedreigend zijn [3][27][28]. Complicaties komen over het algemeen in 0.5 tot 6 procent van de gevallen voor bij laparoscopische cholecystectomieën. Om complicaties te voorkomen dient een correct beeld van de CVS verkregen te zijn.[27]

1.3 Kunstmatige Intelligentie

KI kan gedefinieerd worden als de studie van algoritmes die machines het vermogen geeft om te redeneren en cognitieve functies uit te voeren [28]. Een belangrijk deelgebied van KI is *machine learning* (ML). Binnen de ML zijn er verschillende lerende algoritmen, waarvan het *artificial neural network* (ANN) een belangrijke representant is. De ANNs kennen weer verschillende structuren. Wanneer zo'n structuur uit een groot aantal hiërarchische lagen bestaat spreekt men van *deep learning* (DL).[9]

ML maakt het mogelijk voor machines om te leren en te voorspellen aan de hand van het herkennen van patronen. Door middel van ML kan data gelabeld worden of kunnen structuren in de data gedetecteerd worden door respectievelijk supervised en unsupervised learning.[29] ML is voornamelijk handig om subtiele patronen in grote datasets te herkennen door gebruik te maken van non-lineaire modellen die meerdere databronnen includeren [30].

Een onderdeel van ML is *deep learning* (DL), waarbij er gebruik wordt gemaakt van een algoritme dat een neuraal netwerk bevat en aan de hand hiervan een eigen beslissing kan maken [9][31]. Een voorbeeld van zo een neuraal netwerk is een ANN, waarbij signalen worden verwerkt in lagen die berekeningen uitvoeren om de data te analyseren [9]. Connecties tussen de verschillende lagen worden geparаметriseerd met weegfactoren die kunnen veranderen en optimaliseren als het netwerk verschillende in- en uitvoer patronen gaat herkennen [29]. Hierbij functioneert de door een laag gegenereerde output als input voor de volgende laag. Een voorbeeld van een ANN is een *convolutional neural network* (CNN) waarbij convoluties worden uitgevoerd per laag, zoals is weergegeven in figuur 3. CNNs worden voornamelijk gebruikt om patronen te vinden in afbeeldingen om zo objecten te kunnen herkennen. Het grote voordeel is dat ze direct uit de data leren zonder dat er manueel *features* worden aangereikt.[31]



Figuur 3: Een voorbeeld van een CNN waarbij de gegenereerde output fungeert als input voor de volgende laag.[31]

Ten slotte is er nog computer vision, wat met behulp van KI het begrijpen van afbeeldingen en video's door machines beschrijft [32]. Een voorbeeld van computer vision is object recognition om objecten te kunnen herkennen in afbeeldingen of video's. Deze techniek kan zowel middels *machine learning* als *deep learning* worden bewerkstelligd. Bij *machine learning* zullen manueel *features* worden gekozen, bij *deep learning* zal dit gebeuren middels een CNN. Het labelen van de data kan op twee manieren: pixel labeling of image labeling. Pixel labeling bekijkt elke pixel van de afbeelding individueel van elkaar, waarbij image labeling kijkt naar de afbeelding als geheel. Het voordeel van pixel labeling ten opzichte van image labeling dat het ook de locatie van het object kan weergeven.[31]

Veelbelovend is de combinatie van de hierboven beschreven deelgebieden die waarschijnlijk de ontwikkeling van de mogelijkheden van KI in versnelling zal brengen. De potentie zit voornamelijk in de mogelijkheden van het verwerken van gestructureerde en ongestructureerde data om op basis daarvan een klinische beslissing te nemen.[29]

1.4 Hypothese

Omdat de onderzoeksvraag uit twee delen bestaat, zijn er twee verschillende hypothesen opgesteld.

1.4.1 Hypothese 1

Verwacht wordt dat het getrainde netwerk sneller en nauwkeuriger zal zijn in het herkennen van vormen omgeven met ruis dan personen, omdat computers sneller zijn in het verwerken van data [5]. Computers met KI zijn een opkomend concept in de medische wereld. In de afgelopen tijd is het in toenemende mate in het nieuws en wordt er steeds meer onderzoek naar KI gedaan. In vergelijking met Amerika loopt Europa achter op het gebied van KI wat betreft onderzoek, technologie en innovatie.[33] Een actueel voorbeeld hiervan is het computerprogramma Watson wat is ontwikkeld in Amerika voor toepassing in de medische wereld. Aan de hand van de patiëntengegevens en een enorme database met informatie over aandoeningen en bijbehorende symptomen, stelt dit programma een differentiële diagnose op. Ook kan Watson de beeldvorming meenemen bij het opstellen van een differentiële diagnose. Vervolgens kan Watson in een bepaalde gevallen al een behandelingsadvies geven.[34]

1.4.2 Hypothese 2

De verwachting van de toekomstvisie van chirurgen betreft de toevoeging van KI bij cholecystectomieën, op de veiligheid, efficiëntie en hun positie, is dat de meningen uiteenlopend zullen zijn. Vooral wordt verwacht dat er sceptisch zal worden gereageerd door de medisch specialisten. Dit vermoeden is ontstaan door de media waarin veel aandacht wordt besteed aan de manier waarop KI de positie van de medisch specialisten in gevaar zal gaan brengen.[35]

2 Methode

Ten eerste is een literatuurstudie uitgevoerd waarbij kennis op het gebied van KI en cholecystectomie is opgedaan. Ten tweede is er meer inzicht vergaard in de uitvoering van een cholecystectomie. Ten derde is er onderzocht of de computer na training sneller is in het herkennen van een driehoek dan proefpersonen. Ten slotte zijn ook nog interviews afgenomen om de visie van verschillende medisch specialisten op KI te verkrijgen.

2.1 Literatuurstudie

Voor het medisch gerelateerde literatuuronderzoek is er informatie uit verschillende studieboeken gehaald, waaronder Moore, Grant en Rubin's Pathology. Verder is de literatuurstudie digitaal uitgevoerd. Hierbij zijn voornamelijk Google Scholar en Scopus geraadpleegd. Bij de literatuurstudie zijn de zoekresultaten op relevantie gesorteerd. Bij het selecteren van bruikbare bronnen is er gekeken naar de relevantie, datum van publicatie en het land van onderzoek. Uiteraard is informatie uit bronnen vergeleken met andere bronnen, om de betrouwbaarheid te verhogen. De zoektermen en daarbij gevonden bronnen zijn genoteerd, de bronnen zijn opgeslagen in Mendeley en vermeld bij de tekst die de informatie bevat.

2.2 Inzicht verkrijgen in een cholecystectomie

Via literatuurstudie is de kennis over een cholecystectomie vergroot. Vervolgens zijn twee, via M3 student Hans-Pieter Snels verkregen, opnames van een cholecystectomie bestudeerd om een beter beeld te verkrijgen van een cholecystectomie. Ten slotte is er bij een cholecystectomie meegekeken om meer inzicht te verkrijgen in het algehele verloop van de operatie.

2.3 Experimenteel onderzoek

Allereerst is de basiskennis van MATLAB R2018a en *machine learning* vergroot zodat MATLAB kon worden gebruikt voor het creëren van de data voor het experiment en het trainen en testen van een netwerk.

Voor het trainen van het netwerk zijn eerst met behulp van MATLAB vierduizend artificiële beelden van 128x128 pixels gecreëerd met ruis en willekeurig geplaatste driehoeken. Hetzelfde is gedaan met cirkels en enkel ruis. De ruis bestond uit zowel achtergrondruis en witte ruis met respectievelijk een standaarddeviatie (stdev) van 0,71 en 0,002 en een willekeurige signaal-ruis-verhouding (SNR) variërend tussen 1 en 64. De berekening van de stdev is te vinden in bijlage H. De beelden van de vormen en de beelden van de achtergrond zijn gefilterd met een *gaussian filter* met een stdev van respectievelijk 0.5 en 4. Vervolgens zijn de beelden van de vormen en de beelden van achtergrond samengevoegd. In de beelden van de driehoeken en de cirkels bestond de helft uit zwarte vormen en de andere helft uit witte vormen. Voorbeelden van deze artificiële beelden zijn te vinden in figuur 4. In bijlage B is het script te vinden waarmee deze gecreëerd zijn.

Deze beelden zijn, middels *image labeling*, gelabeld. Deze gelabelde beelden zijn verdeeld in een trainset, een testset en een validatieset in een verhouding van respectievelijk 60 procent, 20 procent en 20 procent. Met de trainset is de computer getraind en is een netwerk gevormd. Dit is een *deep learning* neuraal netwerk wat bestaat uit 32 lagen met verschillende functies. In bijlage B is het script te vinden waarmee het netwerk is getraind. In bijlage C staat de uitgebreide analyse van het netwerk.

Na deze training is met de testset onderzocht of het middels *deep learning* mogelijk is dat het netwerk deze structuren zelfstandig gaat herkennen. Hierna is de herkenning snelheid van 48 proefpersonen, met een leeftijd van 18 tot en met 24 jaar, in de praktijk getest. Hiervoor zijn films van 512x512 pixels gecreëerd waarin

driehoeken en cirkels langzaam in beeld komen. De parameters betreffende de ruis en de *gaussian filter* hadden dezelfde waarden als de afbeeldingen waarmee het netwerk getraind is. Verder was het aantal *frames per second* (fps) 12 en was de zoom 4. De films duurden twintig seconden en op een willekeurig moment in de eerste tien seconden verschenen de eerste frames met een vorm. Door het vergroten van de SNR werd het signaal van de vorm sterker ten opzichte van de ruis en werd deze dus steeds beter zichtbaar. Bij het vergroten van de SNR is de stdev van de achtergrondruis constant gebleven en is de variantie aangepast. De SNR is namelijk afhankelijk van de stdev van de achtergrondruis en de amplitude (A) van het signaal volgens de volgende formule:

$$SNR = A^2 / \text{stdev achtergrondruis}^2 \quad (1)$$

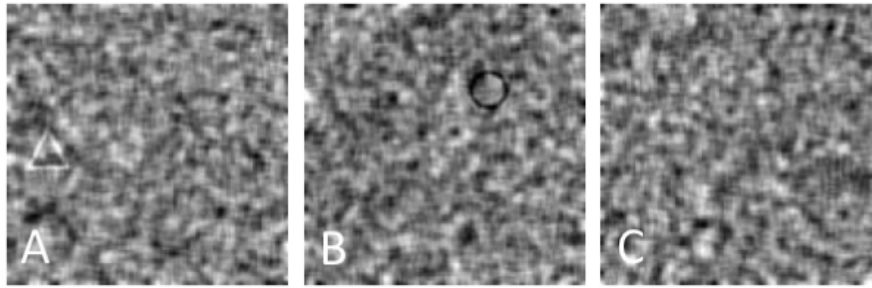
waarbij stdev achtergrondruis de waarde van 0.05 heeft en de waarde van A varieert. Het aanpassen van A is gedaan door deze waarde te vermenigvuldigen met matrix B bestaande uit: $B=0.0083x$, met $x=[1:1:120]$. In bijlage B is het script te vinden waarmee de films zijn gemaakt. Deze films zijn gebruikt om te bepalen op welk moment het netwerk en de proefpersonen de vorm herkenden.

Bij de proefpersonen is eerst een voorbeeldfilm laten zien, zodat ze wisten wat voor een vorm ze konden verwachten. Vervolgens zijn er twee films met een driehoek, twee films met een cirkel en een film met ruis getoond. Dit gebeurde in vaste volgorde om de metingen efficiënter te laten verlopen. Wanneer een proefpersoon een vorm in beeld zag, drukte de proefpersoon op de spatiebalk. De juistheid van de herkende vorm en het framenummer zijn hierbij genoteerd. Vervolgens zijn het aantal personen dat bij een bepaald framenummer de vorm juist herkende berekend. Hierbij is gecorrigeerd voor het aantal frames voordat de vorm begon met opkomen. Zo kon ook het percentage personen dat de driehoek juist herkende tegen het framenummer uitgezet worden in Microsoft Excel 2016. Zie voor de gebruikte Excel codes en de berekening bijlage H.

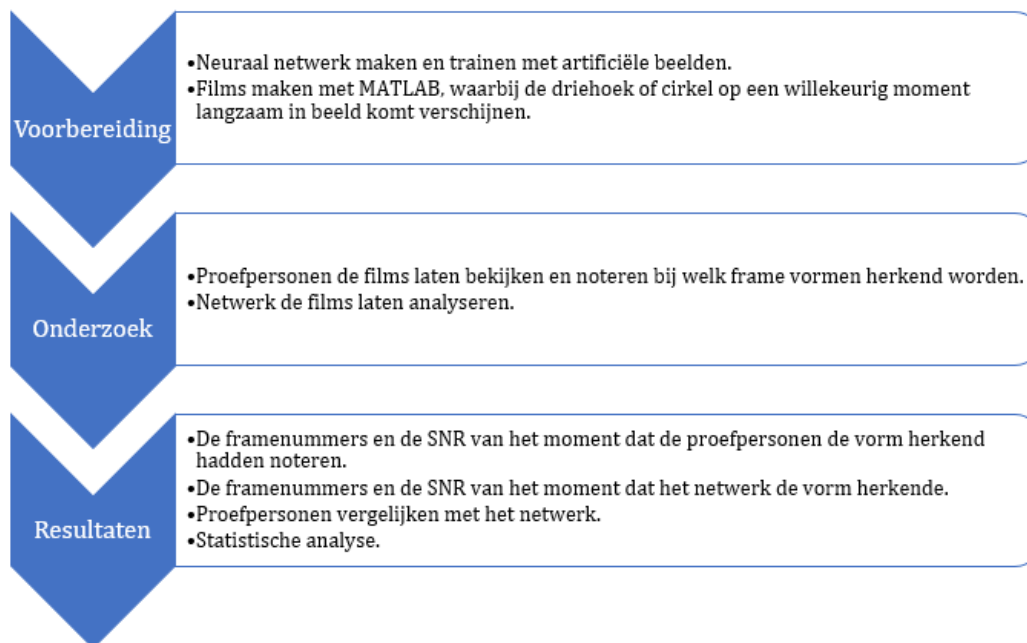
Vervolgens zijn de frames uit de filmpjes gehaald met het script te vinden in bijlage B. Het netwerk heeft de frames van de films geanalyseerd en elk frame per categorie een lidmaatschap graad toegekend. Hierbij is gecorrigeerd voor het aantal frames voordat de vorm begon te verschijnen. De classificatie van het netwerk is betrouwbaar geacht indien het drie frames achter elkaar met 99,5 procent zekerheid binnen dezelfde categorie schatte. Het framenummer is vervolgens omgerekend naar de SNR met formule (1).

Ten slotte is de vergelijking gemaakt tussen de gemiddelde snelheid van de herkenning door de proefpersonen en de snelheid van herkenning door het netwerk middels een statistische analyse in het programma IBM SPSS Statistics 22. De uitkomstmaat die is geanalyseerd is het framenummer. Dit is een continue en onafhankelijke variabele. Er is vanuit gegaan dat de variabelen normaal verdeeld waren vanwege de centrale limietstelling, aangezien het aantal proefpersonen boven de dertig lag. Wel is de verdeling geanalyseerd door middel van *QQ-plots*. Er is middels een *one sample* onafhankelijke T-toets geanalyseerd of er een significant verschil bestond tussen de framenummers van de proefpersonen en het framenummer van het netwerk. Met behulp van de T-toets is de nulhypothese: ‘Het getrainde netwerk herkent de vorm op hetzelfde framenummer als de proefpersonen’ getest tegen de alternatieve hypothese: ‘Het getrainde netwerk herkent de vorm op een eerder framenummer dan de proefpersonen’. Er is een significantieniveau van 95 procent gebruikt. Als dit significante verschil was gevonden, is bewezen geacht dat het netwerk sneller is in het herkennen van vormen in een film met ruis.

Een overzicht van het hierboven beschreven experiment is weergegeven in figuur 5.



Figuur 4: De gecreëerde artificiële driehoeken. A. Witte driehoek met ruis. B. Zwarte cirkel met ruis. C. Alleen ruis.



Figuur 5: Flowchart van het experiment.

2.4 Interviews

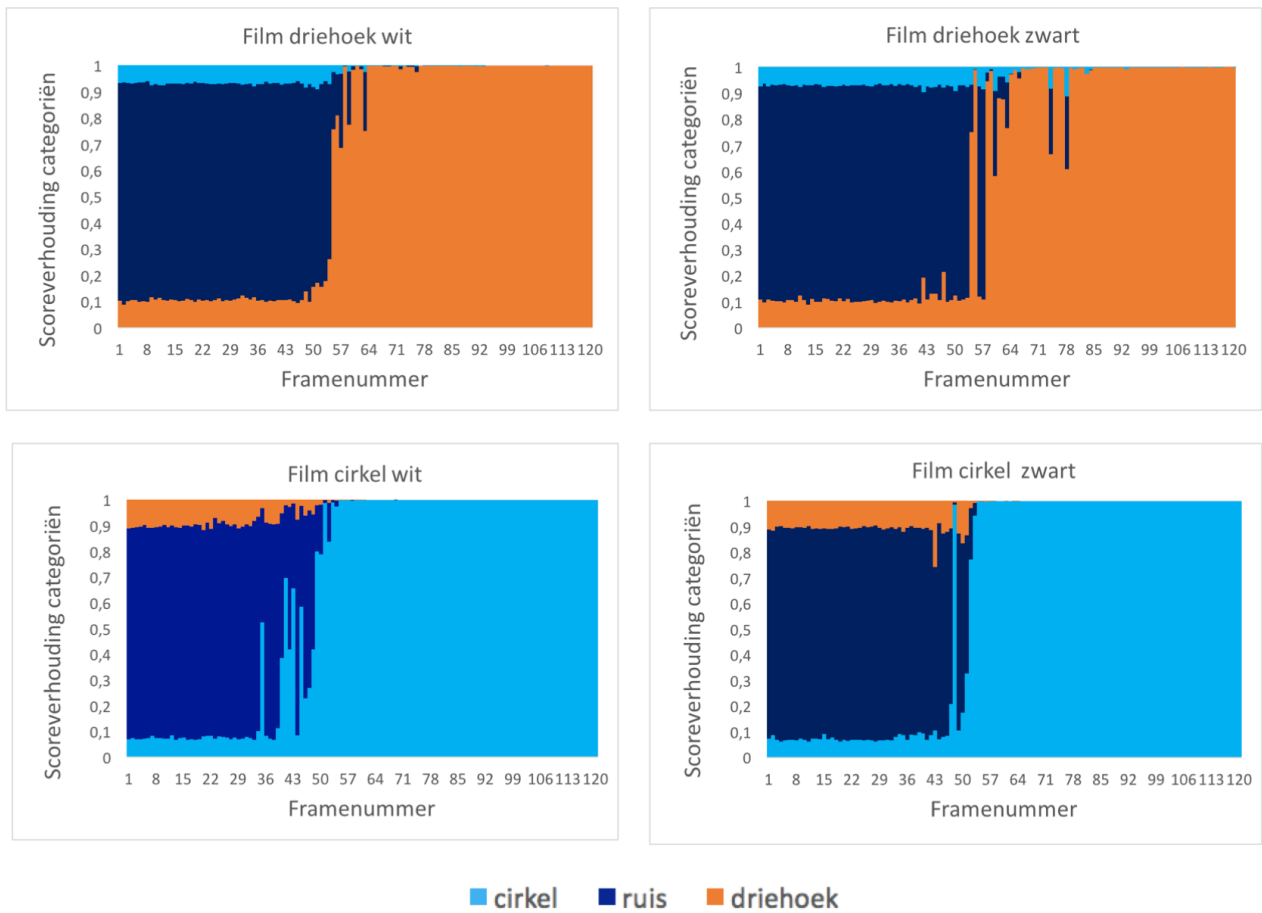
Middels het afnemen van interviews met medisch specialisten is hun visie op KI en de toepassing hiervan op de OK duidelijk geworden. Door bepaalde rubrieken te maken, is er schematisch naar de interviews gekeken en zijn deze vergeleken. Daarnaast is er een algemeen toekomstbeeld verkregen middels de interviews met verschillende medisch specialisten. De relevante informatie uit de interviews is verwerkt. Het interview protocol is te vinden in bijlage D.

3 Resultaten

Bij dit onderzoek zijn er twee verschillende soorten resultaten verkregen, namelijk de analyse van de films door de proefpersonen en het netwerk en de meningen van de chirurgen uit de interviews. Deze resultaten zijn hieronder uiteengezet en zullen in de discussie verder besproken worden.

3.1 Analyse door het getrainde netwerk

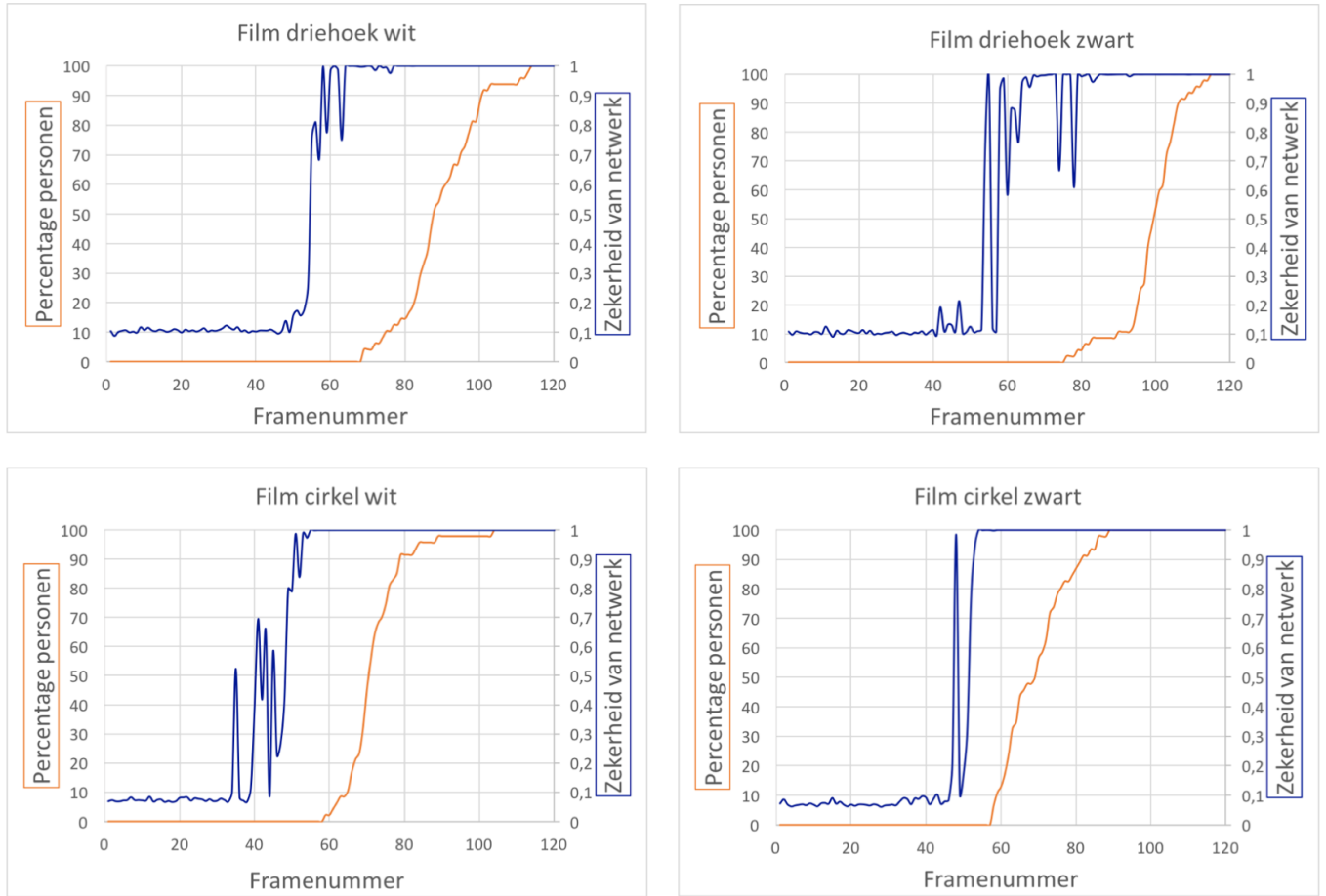
In figuur 6 wordt weergegeven hoe het netwerk de verschillende frames van de films classificeert. Per frame is de kansverdeling van de drie mogelijke categorieën weergegeven. De kleuren oranje, blauw en lichtblauw geven de kans weer van respectievelijk driehoek, ruis en cirkel. De grafieken beginnen op het moment dat de vormen langzaam in beeld verschijnen door een toenemende SNR, tot het punt waar de SNR in de films maximaal is.



Figuur 6: Analyse door het netwerk getest met de films van driehoeken en cirkels. In de grafieken zijn de scoreverhoudingen van de verschillende categorieën weergegeven.

3.2 Vergelijking personen analyse met netwerkanalyse

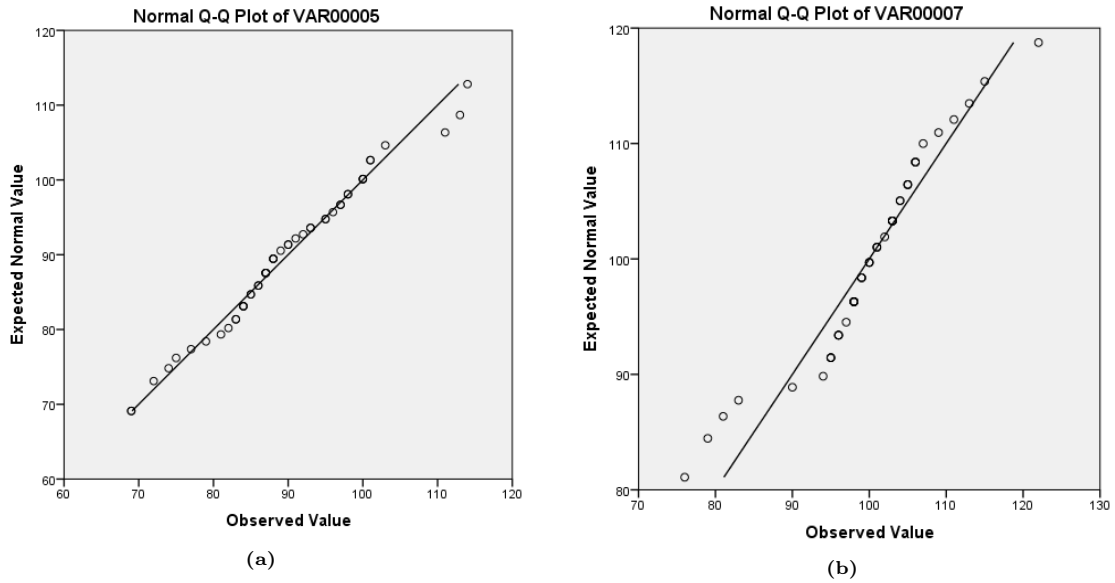
In figuur 7 staat de testdata van het netwerk en de proefpersonen weergegeven. De blauwe lijn geeft de classificatie zekerheid van het netwerk per framenummer weer. De oranje lijn geeft het percentage proefpersonen weer dat per framenummer een vorm in de films kon herkennen. De grafieken beginnen vanaf het moment dat de vormen langzaam in beeld verschijnen door een toenemende SNR, tot het punt waar de SNR in de films maximaal is. De grafieken waarin het aantal personen dat de vorm herkende is uitgezet per SNR zijn te vinden in bijlage E. Een overzicht van de framenummers en SNR waarbij de categorieën worden toegekend zijn weergegeven in tabel 1. Hierin is te zien dat de SNR bij herkenning door het netwerk lager is dan de SNR bij herkenning door de gemiddelde proefpersonen.



Figuur 7: In de grafieken hierboven weergeeft de blauwe lijn de zekerheid van het netwerk uitgezet tegenover het framenummer en de oranje lijn het percentage proefpersonen dat de vorm herkende uitgezet tegenover het framenummer.

Tabel 1: Overzicht van de specifieke frames en SNR waarbij de categorie toegekend werd aan de films door het netwerk. Ook is het gemiddelde en de modus van het framenummer en de SNR van de proefpersonen berekend. Daarnaast wordt per film de laagste score van het framenummer en de SNR van de proefpersonen weergegeven.

Film		Driehoek wit	Driehoek zwart	Cirkel wit	Cirkel zwart
Classificatie door netwerk (99,5% zekerheid)	Framenummer	66	71	57	56
	SNR	7,5	8,75	5,64	5,44
Gemiddelde van proefpersonen	Framenummer	90	100	72	70
	SNR	14,06	17,36	9	8,51
Modus van proefpersonen	Framenummer	87	98	70	65
	SNR	13,14	16,67	8,51	7,34
Laagste scores van proefpersonen	Framenummer	69	76	59	58
	SNR	8,27	10,03	6,04	5,84



Figuur 8: (a) De *Q-Q plot* van het framenummer van de proefpersonen bij de film met de witte driehoek. (b) De *Q-Q plot* van het framenummer van de proefpersonen bij de film met de zwarte driehoek.

Statistische analyse

Beide *Q-Q plots* zijn als voldoende normaal beschouwd en zijn te vinden in figuur 8, waarna een T-toets is uitgevoerd om te kijken of de nulhypothese verworpen kan worden. Deze resultaten staan in tabel 2 en tabel 3.

Tabel 2: De uitkomst van de *one sample* onafhankelijke T-toets van de proefpersonen vergeleken met het getrainde netwerk bij de witte driehoek.

One-Sample Test						
	Test Value = 66					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
VAR00005	15,864	47	,000	23,72917	20,7200	26,7383

Tabel 3: De uitkomst van de *one sample* onafhankelijke T-toets van de proefpersonen vergeleken met het getrainde netwerk bij de zwarte driehoek.

One-Sample Test						
	Test Value = 71					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
VAR00007	23,703	47	,000	28,91667	26,4624	31,3709

3.3 Interview

Het interview is bij zeven chirurgen met verschillende specialismen afgenomen. Deze chirurgen zijn werkzaam in de ziekenhuizen Medisch Spectrum Twente, Ziekenhuis Groep Twente te Almelo en Meander Medisch Centrum. De aanvullende informatie uit de interviews is te vinden in bijlage F.

KI op de operatiekamer

Prof. dr. J.G. Grandjean (cardio thoracale chirurgie)

“In de vaatchirurgie doen we veel met endo-prothesen. Dat is meer om het te plaatsen op de juiste plek. Maar wat je eigenlijk wil is dat het vol automatisch gaat. Dat je van te voren zegt dit en dat moet er gebeuren. Dat wordt nu nog niet gedaan.”

“Geen idee wat we ermee moeten. We maken nog te weinig gebruik van hulpmiddelen. In OK wordt er al wel meer gebruik gemaakt van hulpmiddelen. Maar als je naar IC kijkt: patiënten worden gemonitord, er worden allerlei waardes gemaakt, maar er zit nergens een signaalfunctie die zegt van: ‘pas op, misschien is dit aan de hand of misschien is dat aan de hand of doe dit of doe dat.’ Dit wordt nu nog heel veel tegengehouden door dokters maar ook door verpleegkundigen. Terwijl de computer niet vaak faalt en die is ook niet moe.”

“Sommige delen zou je helemaal automatisch kunnen maken en andere delen weer niet. Dan heb je toch de persoonlijke intelligentie voor nodig die zegt dat doen we wel en dat doen we niet.”

Dr. P.M. Verheijen (gastro-intestinale chirurg) en drs. C.D.P. Van ‘t Hullenaar (AIOS)

KI wordt op dit moment nog niet gebruikt op de OK. Wat wel al toegepast zou kunnen worden is de Watson computer.

Prof. dr. I.A.M.J. Broeders (gastro-intestinale chirurg, specialisatie middenrifbreuken en darmkankerbehandelingen)

“Op een vrij eenvoudige laag. Hier gaat het vooral om beeldanalyse en dan gaat het niet om zelflerende of zelfcorrigerende systemen.”

Complicaties en moeilijkheden bij een cholecystectomie

Dr. P.M. Verheijen en drs. C.D.P. Van ‘t Hullenaar

De grootste complicaties bij de cholecystectomieën zijn galwegletsel, bloedingen of ontstekingen. Hier kunnen de patiënten zeker last van ondervinden, in serieuze gevallen kan het ook gevaarlijk zijn. Dit zou verminderd kunnen worden met behulp van KI, als dit ervoor zou zorgen dat de structuren sneller en beter herkend worden.

Prof. dr. I.A.M.J. Broeders

“In volgorde van ernst; het verlies van gal en galstenen, het veroorzaken van bloedingen en/of nabloedingen, het veroorzaken van letsel aan de galwegen en het veroorzaken van letsel aan andere inwendige organen, met of zonder dat men zich dat realiseert. Hiervan is beschadiging van de galwegen met afstand het meest ernstige probleem, samen met niet herkende schade aan de darmen.”

Mogelijkheden voor KI bij een cholecystectomie

Drs. M. van Veen (chirurg, fellow gastro-intestinale en oncologische chirurgie)

“Het lastige bij een cholecystectomie is de verkleving en dat je geen goed overzicht van de hilus hebt. Ik denk dat KI een toevoeging zou kunnen zijn bij deze moeilijkheden door het herkennen van structuren zodat deze sneller in beeld gebracht kunnen worden.”

“Als het een stapje vooruit denkt, ‘pas op!’ als je bezig bent en het is lastig om te weten of die daar loopt, is dat ideaal als je zeker weet waar die loopt. Niet alleen ureter maar ook bloedvaten. Wel sneller echt robotchirurgie. Bij kijkoperatie is het lastig, niet echt met je hoofd in de machine met beeld, zou daar wel een toevoeging kunnen zijn.”

Dr. T. Verhagen (fellow gastro-intestinale en oncologische chirurgie)

Vooraf bij cholecystitis is het lokaliseren van de driehoek van Calot heel erg lastig, dus voornamelijk bij deze gevallen zal het een toevoeging zijn. Als de ductus choledochus wordt doorgeknipt haal je namelijk tien jaar van een leven af. Er wordt gezegd dat iedere chirurg dit een keer in zijn leven gebeurt. In een lastige operatie kan het een uur schelen als een computer je zou kunnen vertellen waar de ductus choledochus zit door deze bijvoorbeeld te laten oplichten. Ook zou het in de opleiding kunnen helpen met oefenen.

Dr. P.M. Verheijen en drs. C.D.P. Van ‘t Hullenaar

De efficiëntie van cholecystectomieën zal alleen bij lastige gevallen, dus bij cholecystitis, verbeteren door de toevoeging van KI. In de simpele gevallen is het duidelijk waar je naartoe moet en zal het gebruik van herkenning met KI niet zorgen dat de CVS sneller verkregen wordt. Deze is dan namelijk al snel te vinden door de chirurg zelf. Het zal wel extra zekerheid bieden en zo de veiligheid verhogen bij alle cholecystectomieën, maar alleen bij gevallen met cholecystitis en veel verklevingen zal de efficiëntie ook daadwerkelijk verbeterd worden dankzij de toevoeging van KI.

Prof. dr. I.A.M.J. Broeders

“Dat zou op twee vlakken kunnen liggen. Enerzijds performance, chirurgen die slecht presteren moeten meer scholing krijgen of mogen die operaties niet meer uitvoeren, anderzijds helpen met herkennen van anatomie of anticiperen op de positie van de cruciale structuren.”

Ontwikkeling van KI en de toepassing hiervan in de komende 10 jaar

Dr. T. Verhagen

Uiteindelijk zal je aankomen op de operatiekamer, de robot aanzetten en op het knopje cholecystectomie drukken. Je wordt net een piloot. Het zal voor chirurgen steeds meer op procesbewaking gaan lijken. Persoonlijk hoop ik natuurlijk wel dat het nog heel lang duurt.

Ik denk dat het de toekomst is in heel de geneeskunde. Radiologen zijn eigenlijk al niet meer nodig. Watson is namelijk beter dan de radiologen. Vorige week was er een kinderchirurg uit amerika op een conferentie die sprak over KI in de operatiekamer. Op dit moment kijkt bij medici de professor mee en vertelt deze ‘hier moet je heen en hier loopt dit etc’. Als je watson dat voert en genoeg beelden hebt kan hij dat ook zelf gaan doen. Dat hij weet waar alle structuren zich bevinden. Dat gaan wij zeker meemaken. Uiteindelijk zal de robot ook zelfstandig gaan opereren. Op dit moment is de beweging van de patiënt nog lastig. Maar het is simpelweg een kwestie van tijd.

Prof. dr. I.A.M.J. Broeders

“Ik ben volkomen biased door werk en interesses, maar ik denk dat computer ondersteunde chirurgie en het gebruik van grote hoeveelheden data en de analyse hiervan echt de volgende grote revolutie in ons vak is. Denkende computers en het gebruik van informatie en daarna zelflerende systemen om chirurgen te ondersteunen, dat is de grote stap de komende 10/20/30 jaar.”

“Administratieve last verminderen door ondersteuning van computers. Verder zal er niet veel zijn waar robots bij zullen helpen, omdat het robotbrein zich veel sneller zal ontwikkelen dan het robot lichaam. Dus echt automatisch delen van operaties doen? Dat is niet zo dichtbij.”

De ontwikkeling van technologie in de gezondheidszorg

Drs. M. van Veen

“Ik geloof dat de technologie steeds beter zal worden. De scans zullen een beter resolutie hebben en de camera’s zullen kleiner en minder invasief zijn. De operatierobot zal bijvoorbeeld meer armen krijgen en soepeler werken. Ook zullen er steeds meer operatierobots in ziekenhuizen worden geplaatst. Dit zal ook voornamelijk gunstig zijn voor de houding van de chirurg, deze hoeft niet meer te werken onder ongemakkelijke hoeken.”

Dr. T. Verhagen

In de komende vijf jaar in de chirurgie zal er steeds meer gebruik gemaakt worden van image guided surgery, layovers en de virtual reality techniek. Ook zal er gebruik gemaakt worden van 3D modellen en grafische projecties. Echte KI laat nog even op zich wachten.

Prof. dr. J.G. Grandjean

“Een van de grote problemen is dat de chips nog iets te langzaam zijn om één op één dingen uit te voeren. Je wilt beeldvorming meteen omzetten in virtueel beeld. Dus continue moeten invoeren in matlab. En in matlab ga je werken en dan moet het weer terug naar computer/robot die het in de persoon gaat voeren.”

“Alles is tot nu toe bijna gebaseerd op statische beelden en de uitdaging is om dat naar bewegende beelden te vertalen.”

“Als wij weten wat je moet doen, dan kun je het automatiseren. Eerst moeten wij nog intelligenter worden en dan komt de computer. Wel kan je hiervoor de computer en alles gebruiken om je te helpen, maar dat gebeurt nu nog veel te weinig.”

“Eerst een hulpmiddel en dan een vervanging. Ik weet niet hoe snel dit kan gaan. Dit is een beetje afhankelijk van hoe snel de chips zijn, hoe secuur.”

“Ik denk dat sommige delen van een operatie zo kunt programmeren dat een robot dat alleen kan doen.”

Dr. P.M. Verheijen en drs. C.D.P. Van ‘t Hullenaar

De ontwikkeling van de technologie zal heel beperkt zijn de komende 5 jaar. Het grootste wat er zal gebeuren is het verdwijnen van patenten op de operatierobot Da Vinci, waardoor er meerdere soortgelijke operatierobots op de markt zullen komen. Hierdoor zullen de robots goedkoper, beschikbaararder en veel meer ingezet worden.

Met het zicht op de komende 10 tot 15 jaar zal er ook niet veel gebeuren, niks revolutionairs op het gebied van robots. Dit komt door de patenten, wat wel jammer is want dit zorgt ervoor dat de ontwikkeling langzaam verloopt.

Prof. dr. I.A.M.J. Broeders

“In 5 jaar, het analyseren van gegevens die computer vrij makkelijk uit de operatie kan krijgen, daarmee begint het. Dit kan plannings-efficiency voordeel en benchmark gegevens opleveren. Dus een relatief overzichtelijke taak. In 5-10 jaar, vooruitgang in performance analyse, hoe presteer ik als chirurg, hier dan patronen uithalen en analyseren waar optimalisatie mogelijk is. Dan anatomie herkenning, scenario herkenning en adviseren op basis van een waargenomen scenario gerelateerd aan een enorme dataset met scenario’s, dat is echt een hele ingewikkelde stap. Dat heeft voornamelijk te maken met de vervormbaarheid van weefsel en de moeite die de computer heeft om daarmee om te gaan. Voordat dit echt concreet nut gaat opleveren voor chirurgen? Ik denk een jaartje of 10, grove schatting.”

Verandering van de positie als specialist

Drs. M. van Veen

“Ik verwacht niet dat de positie als specialist veel zal veranderen. We moeten blijven opereren. Je houdt zelf de verantwoordelijkheid. Het zou alleen een goed hulpje zijn.”

Prof. dr. J.G. Grandjean

“De positie van de specialist gaat sowieso veranderen. Ten eerste vraagt de patiënt gewoon persoonlijke aandacht. Je moet sociaal vaardig blijven en niet een robot worden. Misschien heb je daardoor omdat je hulpmiddelen hebt, meer tijd voor persoonlijk contact.”

Dr. P.M. Verheijen en drs. C.D.P. Van ‘t Hullenaar

In de toekomst zal de computer tussen de arts en operatie in komen te staan, maar voorlopig zal mijn positie als specialist niet veranderen. Er zal iets meer selectie zijn in de taken die ik zelf moet doen, vooral in specialisatie. Wat ik hoop is dat de echt moeilijke dingen, makkelijker worden. Verder zou het fijn zijn als veel ingrepen meer door robots geassisteerd worden, dit zou ervoor zorgen dat ze meer laagdrempelig beschikbaar zijn. Dit zou een uitkomst zijn voor lastig bereikbare plekken. Zo zou de zorg meer toegankelijk worden en dus verbeteren.

Dr. G.D.J. van Olden (Traumachirurg)

“Positie als specialist zal niet veranderen. Door de hulpmiddelen zal het makkelijker worden, maar de taken blijven hetzelfde. Echte operaties zouden ook nooit helemaal uitgevoerd kunnen worden door een robot. Elke patiënt is anders, het is niet gestandaardiseerd dus dat zou een robot nooit kunnen.”

Dr. I.A.M.J. Broeders

“Voor chirurgen niet, in de relatie tot mijn patiënt. Ik blijf degene die de operatie uitvoert en daar de eindverantwoordelijke over blijft. Wel denk ik dat als je chirurg wordt, dat je steeds meer open moet staan voor complexe technologie en daar ook steeds meer kennis over moet verzamelen. Dit loopt wel gelijk op met hoe jonge mensen hun hele leertraject doorlopen. De rol in het diagnostisch proces verandert wel. Meer gezamenlijk eigenaar van de kennis en de arts is degene die de kennis in perspectief moet brengen.”

“Wat de invoer van KI in diagnostiek tegenhoudt is de liability.”

“Kleine taken voor zorgrobots zoals patiënt verplaatsen, optillen en in een stoel zetten, is al heel ingewikkeld.”

Opinie over dit onderzoek

Prof. dr. J.G. Grandjean “Als de robot dingen kan herkennen, kan hij het ook zelf uitvoeren. Dan kan je een operatierobot programmeren voor dit. Want als de beeldvorming en herkenning goed is dan kan je hem opdrachten laten uitvoeren.”

“Het duurt even voordat mensen zeggen dat iets beter is dan eigen handwerk. Dat betekent niet dat je de andere techniek niet ook moet kennen. In geval van nood altijd nog iets anders achter de hand hebben.”

Prof. dr. I.A.M.J. Broeders

“Zou fantastisch zijn als bij cholecystectomieën de computer van het begin af aan gaat coachen in dat proces. Dat de mate van zekerheid die de computer heeft over de positie van de structuren, die dat weergeeft in kleuren. Zo begint de chirurg in dat gebied met prepareren, dan krijgt de computer steeds meer zekerheid over indicatie en kan de kleur veranderen, dan kan CVS bevestigd worden. Hierdoor wordt het proces veel efficiënter en veiliger doorlopen met uiteindelijk ook een definitiever oordeel over de CVS.”

De toepassing van KI op de operatiekamer

Drs. M. van Veen

“De rol van KI in de operatiekamer gaat terug naar de eerste gegevens. Naar het aantonen van structuren die er waarschijnlijk liggen. Als de computer structuren in een scan zou kunnen aangeven zou dat echt winst zijn.”

Dr. G.D.J. van Olden

Ik doe kijkoperaties van de liesbreuk, daar zou het heel handig zijn omdat je daar structuren ziet waarvan je denkt; 'is dat nou wel of niet een vat?'. Als de computer die structuren zou kunnen herkennen, dat zou ideaal zijn. Bij traumatologische operaties denk ik niet dat KI een toevoeging zou kunnen zijn. Maar waar ze allemaal mee bezig zijn, dat robots dingen herkennen en dat ze in de robot zitten te opereren, dat is wel mooi."

"Maar bij traumachirurgie zou ik geen toepassing voor KI kunnen verzinnen, het zou er ongetwijfeld wel kunnen zijn, maar ik kan het niet bedenken. Wij doen niks met robot of computer, dit is gewoon handwerk."

Prof. dr. I.A.M.J. Broeders

"De essentie zit in de rol van computers die data gaan verzamelen en analyseren wereldwijd, en daarmee nuttige informatie terug gaan brengen. Dus computer moet op de OK zijn en gevoed worden met data. Dat kan op een relatief eenvoudige manier; door observatie via camera. Maar het plaatsen van een computer in de OK biedt mogelijkheid om andere sensing information binnen te krijgen zoals bewegingsinformatie, die koppel je dan aan de beeldinformatie. Dat is wel de rijkste vorm van data input. Dat is enerzijds een reden om in de cockpit te gaan zitten, dat je de computer ertussen kan zetten, een andere reden is dat als je als chirurg achter die cockpit zit, dat je interactief gebruik kan maken van data. Dat gaat veel makkelijker vanuit een werkstation dan naast de operatietafel met instrumenten in je handen."

4 Discussie

Uit de resultaten bleek dat het netwerk de driehoeken herkende bij een SNR die 8,56 lager was dan die van de proefpersonen. Dit komt overeen met een verschil van 26 frames. Dit verschil is ook te zien in de statistische analyse. In de tabellen 2 en 3 is te zien dat de p-waarde gelijk is aan 0,000. Dit betekent dat de nulhypothese wordt verworpen. We achten bewezen, met een betrouwbaarheidsinterval van 95 procent, dat de waarde van het framenummer van herkenning van het netwerk lager is dan de waarde van het framenummer van herkenning van de proefpersonen. Dit klopt met onze hypothese; het netwerk is sneller in het herkennen van een driehoek in een film met ruis. Ook is er een verschil te zien tussen de snelheid van het herkennen van driehoeken ten opzichte van het herkennen van cirkels. De cirkels werden over het algemeen sneller herkend dan de driehoeken, met name door de proefpersonen. Verwacht wordt dat dit wordt veroorzaakt doordat de pixelwaardes van de omlijning sneller afnemen bij de driehoeken dan bij de cirkels. Hierdoor zijn de lijnen van de driehoek dunner en minder goed te onderscheiden van de ruis.

Daarnaast bleek naar verwachting dat de meningen van de chirurgen over KI uiteenlopend waren. Wel waren de chirurgen minder sceptisch dan verwacht. De resultaten komen dus deels overeen met onze hypothese. Dit kan veroorzaakt zijn doordat er sprake kan zijn geweest van selectiebias. Het zou kunnen dat de chirurgen met vertrouwen in de ontwikkeling en toepassing van KI sneller geneigd waren om mee te werken. Het algemene beeld van de houding van chirurgen tegenover KI in de gezondheidszorg kan in dit onderzoek positiever lijken dan werkelijk het geval is. Verder was de onderzoekspopulatie te klein om een algemeen beeld te verkrijgen.

Als er kritisch naar dit onderzoek gekeken wordt, zijn er enkele verbeterpunten. Zo bestond de gebruikte leerset voor dit experiment uit relatief weinig afbeeldingen met dezelfde SNR. Om een zo nauwkeurig mogelijk resultaat te krijgen bij de analyse van de films, is het van belang een zo groot mogelijke leerset aan te leveren met veel verschillende SNR en posities van de vormen. Doordat het trainen van een netwerk lang duurt, was het in dit onderzoek echter niet praktisch om een grotere leerset te gebruiken.

Daarnaast analyseerde het netwerk de films per frame, zodoende kon er aan elk frame een categorie gegeven worden. Op deze manier kreeg het netwerk dus de tijd om elk frame met een bepaalde SNR afzonderlijk te beoordelen. De proefpersonen moesten de frames in de films achter elkaar door bekijken en kregen dus niet de kans om elk frame afzonderlijk te beoordelen. Er wordt echter verwacht dat dit geen invloed heeft gehad op de resultaten gezien het netwerk circa 20 frames per seconde kan verwerken, terwijl de afspeelsnelheid van de films 12 fps was.

Tevens is de computer getraind en de proefpersonen niet. Het adaptieve vermogen van een persoon wordt als zodanig beschouwd dat zij genoeg hebben aan een voorbeeldfilm om het experiment uit te voeren. Het zou mogelijk kunnen zijn dat de proefpersonen sneller worden naarmate ze meer geoefend hebben voor het experiment. Om dit zeker te weten zou het experiment met de proefpersonen veelvoudig moeten worden uitgevoerd, met meer testfilms, om te zien of dit een verschil oplevert ten opzichte van het netwerk. Het netwerk zal dan, om de resultaten te kunnen vergelijken, dezelfde testfilms moeten analyseren.

Ten slotte zijn de proefpersonen getest met films van 512x512 pixels. Dit betekent dat de proefpersonen in vergelijking tot het netwerk, een film van een vier keer zo groot formaat moesten beoordelen. Verwacht wordt dat de afmetingen van de film voor het netwerk niet uitmaakt. Echter, voor de proefpersonen kan het lastiger zijn bij een groter formaat film om deze in zijn geheel in de gaten te houden. Het kan dus zijn dat de proefpersonen er langer over hebben gedaan om de driehoek te herkennen dan wanneer zij ook films van 128x128 pixels hadden bekeken. Anderzijds kan dit ook in het voordeel werken, gezien het formaat van de afbeelding vier keer zo groot is en de vormen dus duidelijker in beeld komen. In vervolgonderzoek zal hier rekening mee moeten worden gehouden en bij beide hetzelfde formaat moeten worden gehanteerd.

Voor toekomstig onderzoek kunnen de volgende aspecten meegenomen worden. Aangezien KI een complexe studie is en daarvoor veel data nodig is, was het niet mogelijk om dit onderzoek uit te voeren met laparoscopische beelden. Voor dit onderzoek is daarom gebruik gemaakt van artificiële beelden. Hierdoor kan geen garantie worden geboden dat de computer de driehoek van Calot zal herkennen tijdens een cholecystectomie. Daarnaast is het netwerk getraind met zwart-wit beelden, terwijl laparoscopische beelden in kleur zijn. In het vervolgonderzoek is het aan te raden om de computer te trainen met grote datasets van cholecystectomieën en met name het gedeelte waar de CVS wordt verkregen. Indien het mogelijk is om de computer de driehoek van Calot te laten herkennen, moet er rekening worden gehouden met anatomische variaties in de oorsprong en het verloop van de a. cystica [17]. In 75 procent van de gevallen is een enkele a. cystica afkomstig van de a. hepatica dextra. Echter is er in 2 tot 15 procent van de gevallen een dubbele a. cystica in de driehoek van Calot. Bovendien kan de a. cystica ook afkomstig zijn uit andere arteriën dan de a. hepatica dextra.[17] Gezien deze anatomische variaties niet vaak voorkomen, is het lastig om hiervan een dataset te verkrijgen die groot genoeg is om de computer mee te kunnen trainen. Hierdoor zal de computer minder accuraat te werk gaan, waardoor de sensitiviteit omlaag zal gaan. Om dit vermoeden te bevestigen en te kunnen kijken of de computer dit met genoeg training kan lokaliseren, zal hier meer onderzoek naar gedaan moeten worden. Daarnaast kan het verkrijgen van de CVS nog meer bemoeilijkt worden bij cholecystitis [36]. In dat geval zullen er veel verklevingen zijn waardoor de driehoek van Calot moeilijker vrij te prepareren is, maar waarbij KI waardevol zal zijn [36].

Bovendien is voor het labelen van de frames gebruik gemaakt van image labeling. In vervolgonderzoek is het aan te raden om gebruik te maken van pixel labeling. Hierbij is het mogelijk om naast het herkennen van de vorm, ook de precieze locatie ervan te laten bepalen door het netwerk. Ook voor het gebruik van KI bij cholecystectomieën zal pixel labeling gebruikt moeten worden, zodat precies aangegeven kan worden waar de driehoek van Calot zich bevindt. Wellicht kan dan gebruik gemaakt worden van een kleurenspectrum dat in het beeld de kansdichtheid van de aanwezigheid van anatomische structuren weergeeft. Een vervolgstap hierop zou zijn dat de computer de chirurg zal kunnen ondersteunen en alarmeren als er complicaties dreigen. Dit zal de veiligheid en de efficiëntie van de operaties vergroten en daarmee de kans op complicaties reduceren.

Voordat KI in de gezondheidszorg toegepast kan worden, moet er eerst kritisch worden gekeken naar de verantwoordelijkheid en de aansprakelijkheid voor fouten die door het gebruik van KI gemaakt worden. Er zijn veel verschillende meningen over of dit bij de arts, de fabrikant of programmeur zal moeten liggen.[37] Het gebruik van KI zal een nieuw en onbekend terrein zijn waar de huidige regelgeving niet op toepasbaar zijn. De komende jaren zal hier meer discussie over gevoerd worden en als KI steeds meer geïmplementeerd wordt in de gezondheidszorg zal hier duidelijke regelgeving voor moeten worden vastgesteld.

5 Conclusie

Uit het onderzoek is gebleken dat een getraind netwerk sneller is in het herkennen van driehoeken dan de gemiddelde persoon. Dit is de eerste stap richting het gebruik van KI voor het veiliger en efficiënter herkennen van de driehoek van Calot tijdens een cholecystectomie. Echter zal er vervolgonderzoek gedaan moeten worden om de veiligheid en efficiëntie te bevestigen, voordat dit daadwerkelijk geïmplementeerd kan worden.

Daarnaast is uit de interviews gebleken dat chirurgen KI in de komende tien jaar over het algemeen alleen nog als hulpmiddel zien. Op de vraag of KI uiteindelijk meer gaat zijn dan een hulpmiddel, waren de antwoorden uiteenlopend.

Referenties

- [1] B. Münzer, K. Schoeffmann, and L. Böszörményi, “Content-based processing and analysis of endoscopic images and videos: A survey,” *Multimedia Tools and Applications*, vol. 77, no. 1, pp. 1323–1362, 1 2018. [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/s11042-016-4219-z>
- [2] J. F. Lange and L. P. S. Stassen, “Best practice: De techniek van de laparoscopische cholecystectomie (Critical View of Safety [CVS]; Werkgroep Endoscopische Chirurgie van de Nederlandse Vereniging voor Heelkunde),” 2006. [Online]. Available: <https://heelkunde.nl/sites/heelkunde.nl/files/richtlijnen-definitief/BestPracticeLaparoscopischeCholecystectomiepdf.pdf>
- [3] M. A. J. Nijssen, J. M. J. Schreinemakers, Z. Meyer, G. P. van der Schelling, R. M. P. H. Crolla, and A. M. Rijken, “Complications After Laparoscopic Cholecystectomy: A Video Evaluation Study of Whether the Critical View of Safety was Reached,” *World Journal of Surgery*, vol. 39, no. 7, pp. 1798–1803, 7 2015. [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/s00268-015-2993-9>
- [4] M. van Veen, “Interview,” MST Enschede, 2018.
- [5] IBM Watson Health, “IBM Watson Health - Medical Imaging.” [Online]. Available: <https://www.ibm.com/watson/health/imaging/>
- [6] “Overzicht inkomsten en uitgaven Rijksoverheid 2018 | Prinsjesdag | Rijksoverheid.nl.” [Online]. Available: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/prinsjesdag/inkomsten-en-uitgaven/overzicht-inkomsten-en-uitgaven-rijksoverheid-2018>
- [7] E. Mot, K. Stuut, P. Westra, and R. Aalbers, “Een raming van de zorguitgaven 2018-2021,” *CPB Achtergronddocument*, 2016. [Online]. Available: <https://www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/download/cpb-achtergronddocument-30mrt2016-een-raming-van-de-zorguitgaven-2018-2021.pdf>
- [8] T. Syeda-Mahmood, “Role of Big Data and Machine Learning in Diagnostic Decision Support in Radiology,” *Journal of the American College of Radiology*, vol. 15, no. 3, pp. 569–576, 3 2018. [Online]. Available: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1546144018300541>
- [9] D. A. Hashimoto, G. Rosman, D. Rus, and O. R. Meireles, “Artificial Intelligence in Surgery,” *Annals of Surgery*, 2018.
- [10] D. A. e. a. H.J. Bonjer, J.D. Blankensteijn, “chirurgie,” in *chirurgie*. Houten/Diegem: Bohn Stafleu van Loghum, 2002, ch. chron. bovenbuikpijn, p. 207.
- [11] I. Triantafyllidis, N. Nikoloudis, N. Sapidis, M. Chrissidou, I. Kalaitidou, and T. Chrissidis, “Complications of Laparoscopic Cholecystectomy: Our Experience in a District General Hospital.” [Online]. Available: <https://insights.ovid.com/pubmed?pmid=20027087>
- [12] A. Viste, A. Horn, K. Øvrebø, B. Christensen, J.-H. Angelsen, and D. Hoem, “Bile duct injuries following laparoscopic cholecystectomy,” *Scandinavian Journal of Surgery*, vol. 104, no. 4, pp. 233–237, 12 2015. [Online]. Available: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1457496915570088>
- [13] T. Verhagen, “Interview,” ZGT Almelo, 2018.
- [14] D. Gouma, “Galwegletsel na laparoscopische cholecystectomie,” 1999. [Online]. Available: <https://www.ntvg.nl/system/files/publications/1999106060001a.pdf>
- [15] K. L. Moore, A. F. Dalley, and A. M. Agur, “Clinically oriented anatomy,” in *Clinically oriented anatomy*, 7th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2014, ch. 2: Abdomen, pp. 268–280.
- [16] W. F. Boron and E. L. Boulpaep, “Medical Physiology.” Saunders Elsevier, 2012, ch. Ch 45-46.

- [17] S. Abdalla, S. Pierre, and H. Ellis, “Calot’s triangle,” *Clinical Anatomy*, vol. 26, no. 4, pp. 493–501, 5 2013. [Online]. Available: <http://doi.wiley.com/10.1002/ca.22170>
- [18] W. v. G. H. Smeenk, N.W.L. Schep, “Leidraad chirurgie,” in *Leidraad chirurgie*. Houten: Springer Uitgeverij, 2005, ch. 10. Lever,, p. 115.
- [19] S. Afamefuna and S. N. Allen, “Gallbladder Disease: Pathophysiology, Diagnosis, and Treatment,” *Gastroenterology*, 3 2013. [Online]. Available: <http://stage.uspharmacist.com/article/gallbladder-disease-pathophysiology-diagnosis-and-treatment>
- [20] E. L. R. Howard M. Reisner, *Essentials of Rubin’s Pathology*, 6th ed., E. L. R. Howard M. Reisner, Ed. Wolters Kluwer, 2009.
- [21] Mayo Clinic Staff, “Cholecystitis - Symptoms and causes - Mayo Clinic,” 2017. [Online]. Available: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/cholecystitis/symptoms-causes/syc-20364867>
- [22] Cancer Treatment Centers of America, “Types of Gallbladder Cancer | CTCA.” [Online]. Available: <https://www.cancercenter.com/gallbladder-cancer/types/>
- [23] T. O. Goetze, “Gallbladder carcinoma: Prognostic factors and therapeutic options.” *World journal of gastroenterology*, vol. 21, no. 43, pp. 12 211–7, 11 2015. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26604631>
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4649107>
- [24] H. G. H. G. Gooszen and J. D. J. D. Blankensteijn, *Leerboek chirurgie*. Bohn Stafleu van Loghum, 2012.
- [25] Laurentius chirurgie, “CHIRURGIE Cholecystectomie,” 2016. [Online]. Available: <https://www.laurentiusziekenhuisroermond.nl/files/684/cholecystectomie.pdf>
- [26] Catharina Ziekenhuis, “Cholecystectomie Kort verblijf,” 2016. [Online]. Available: www.catharinaziekenhuis.nl
- [27] M. Radunovic, R. Lazovic, N. Popovic, M. Magdelinic, M. Bulajic, L. Radunovic, M. Vukovic, and M. Radunovic, “Complications of Laparoscopic Cholecystectomy: Our Experience from a Retrospective Analysis.” *Open access Macedonian journal of medical sciences*, vol. 4, no. 4, pp. 641–646, 12 2016. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28028405>
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC5175513>
- [28] R. Bellman, *An introduction to artificial intelligence : can computers think?* Boyd & Fraser Pub. Co, 1978.
- [29] R. C. Deo, “Machine Learning in Medicine.” *Circulation*, vol. 132, no. 20, pp. 1920–30, 11 2015. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26572668>
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC5831252>
- [30] R. A. Miller, H. E. Pople, and J. D. Myers, “<i>Internist-I</i> , an Experimental Computer-Based Diagnostic Consultant for General Internal Medicine,” *New England Journal of Medicine*, vol. 307, no. 8, pp. 468–476, 8 1982. [Online]. Available: <http://www.nejm.org/doi/abs/10.1056/NEJM198208193070803>
- [31] “Object Recognition - MATLAB & Simulink.” [Online]. Available: <https://nl.mathworks.com/solutions/deep-learning/object-recognition.html>
- [32] R. Szeliski, *Computer vision : algorithms and applications*. Springer, 2011.
- [33] B. Kamphuis, “‘Europees lab nodig om controle te houden over kunstmatige intelligentie’ | NOS,” 6 2018. [Online]. Available: <https://nos.nl/artikel/2237018-europees-lab-nodig-om-controle-te-houden-over-kunstmatige-intelligentie.html>
- [34] S. P. Somashekhar, M. J. Sepúlveda, S. Puglielli, A. D. Norden, E. H. Shortliffe, C. Rohit Kumar, A. Rauthan, N. Arun Kumar, P. Patil, K. Rhee, and Y. Ramya, “Watson for Oncology and breast cancer treatment recommendations: agreement with an expert multidisciplinary tumor board,”

- Annals of Oncology*, vol. 29, no. 2, pp. 418–423, 2 2018. [Online]. Available: <https://academic.oup.com/annonc/article/29/2/418/4781689>
- [35] L. D. Jones, D. Golan, S. A. Hanna, and M. Ramachandran, “Artificial intelligence, machine learning and the evolution of healthcare,” *Bone & Joint Research*, vol. 7, no. 3, pp. 223–225, 3 2018. [Online]. Available: <http://online.boneandjoint.org.uk/doi/10.1302/2046-3758.73.BJR-2017-0147.R1>
- [36] P. Verheijen and C. Van ’t Hullenaar, “Interview,” Meander Amersfoort, 2018.
- [37] I. Broeders, “Interview,” Meander Amersfoort, 2018.
- [38] A. B. Bergman, H. L. Neiman, and B. Kraut, “Ultrasonographic evaluation of pericholecystic abscesses.” *AJR. American journal of roentgenology*, vol. 132, no. 2, pp. 201–3, 2 1979. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/105583>
- [39] American Cancer Society, “What Are the Risk Factors for Gallbladder Cancer?” [Online]. Available: <https://www.cancer.org/cancer/gallbladder-cancer/causes-risks-prevention/risk-factors.html>
- [40] University of Rochester Medical Center, “Ampullary Cancer - Health Encyclopedia - University of Rochester Medical Center.”
- [41] R. L. Kleyenberg and I. Kravtsova, “Gallbladder, Bile Duct, and Ampullary Cancer: Shaking the Biliary Tree,” p. 41, 2016.

Bijlage A: Aanvulling achtergrondinformatie

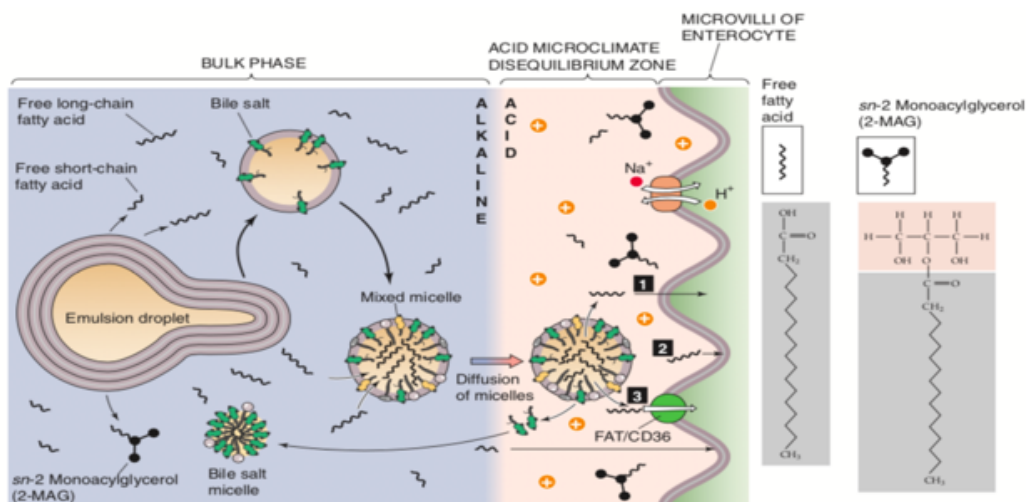
Hier is informatie te vinden die aanvullend is op de achtergrondinformatie in de scriptie. Er wordt dieper ingegaan op de fysiologie, de anatomie en pathologie van de galblaas.

Anatomie en fysiologie galblaas

Het bloed uit de cervix van de galblaas en van de ductus cysticus wordt via de v. cystica afgevoerd. Het bloed komt direct in de lever of wordt afgevoerd naar de poortader. Het bloed uit de fundus en het corpus komt direct in de lever via de hepatische sinusoiden.[15]

Vanuit de lever komt er per dag 450 mL gal in de galblaas. De galblaas kan vervolgens galzuur in hoge concentraties en op een gecontroleerde manier aan het duodenum leveren. In het duodenum komen vetzuren uit de maag terecht. Deze brengen de uitscheiding van cholecystokinine (CCK) en glucose-afhankelijk insulinetropisch polypeptide (GIP) uit de mucosa van het duodenum op gang. CCK stimuleert de secretie van gal naar het duodenum door de galblaas te laten contraheren en de sfincter van Oddi te laten relaxeren. GIP zorgt verder voor de stimulatie van de insulineproductie in de pancreas.[16]

De secretie van gal heeft twee primaire functies. De eerste functie is eliminatie van vele endogene en exogene afvalstoffen, zoals bilirubine en cholesterol. De tweede is het bevorderen van de vertering en absorptie van lipiden in de darmen.[16] Het bevorderen van de vertering en absorptie gebeurt op verschillende manieren. Ten eerste stimuleren galzouten bile salt dependent lipase (BSL). BSL is stabiel in de zure omgeving van de maag, maar wordt actief in de alkalische omgeving van het duodenum. Hier hydrolyseert dit diglyceriden, MAGs, cholesteryl esters, vet-oplosbare vitamine esters en TAGs. Naast het stimuleren van BSL beschermen de galzouten BSL ook van proteolyse in de dunne darm.[16] Ten tweede promoten galzuren absorptie van lipiden doordat ze micellen kunnen vormen. Als het gal in het duodenum aankomt zullen galzuren, lecithine en cholesterol adsorberen op het oppervlak van de emulsiedruppels uit de maag. Oppervlakte TAGs zullen hydrolyseren en vervangen worden door TAGs uit de kern en de emulsiedruppels zullen steeds kleiner worden. Hierdoor wordt het oppervlak relatief groter en zal de hydrolysesnelheid toenemen. Vervolgens ontstaat er een multilamellaire kristallijne laag van vetzuren, MAGs, lysolecithines, cholesterol en galzouten op de emulsiedruppels. Galzout micellen zullen de multilamellaire blaasjes eerst in unilamellaire blaasjes en hierna in gemixte micellen transformeren. Deze micellen kunnen diffuseren over de waterlaag op het oppervlak van de mucosa van het jejunum en de microvilli van de enterocyten kruisen.[16] In figuur A is dit proces schematisch weergegeven.



Figuur A: Schematische weergave van vetafbraakproces en opname in darmwand. [16]

Pathologie galblaas

De galblaas kent verscheidene pathologieën, waarvan de voornaamste cholelithiasis, cholecystitis en carcinomen zijn [20].

Cholelithiasis

Pathogenese van cholesterolgalstenen is een proces wat uit meerdere factoren bestaat. Dit heeft te maken met de fysisch-chemische kwaliteiten van het gal en lokale factoren van de galblaas zelf. Cholesterol slaat neer als kristallen en vormt hiermee galstenen. Galstenen bestaande uit calciumbilirubine worden bijna altijd geassocieerd met bacteriële cholangitis. Het kan ook te maken hebben met een verhoogde concentratie van ongeconjugerd bilirubine in het gal. Bij cholelithiasis zijn ouderdom, obesitas, aanleg en cholesterolrijke diëten risicofactoren. Hiernaast hebben bepaalde etnische groepen een verhoogde kans tot het ontwikkelen van galstenen.[20]

Acute cholecystitis

De pathologie van acute cholecystitis is een oedemateus en gelamineerd oppervlak met fibrineus exsudaat. Het slijmvlies is vuurrood of paars. In het lumen bevinden zich de galstenen welke vaak de ductus cysticus blokkeren. Secundaire bacteriële ontsteking kan leiden tot het etteren van de wand. Het slijmvlies heeft dan focale ulceraties of is zelfs necrotisch wat kan leiden tot perforatie van de galblaas. Dit resulteert voornamelijk in een pericholecystisch abces, wat de galsecretie limiteert, maar soms ook in peritonitis.[38]

Chronische cholecystitis

In het geval van chronische cholecystitis is de wand verdikt en chronisch ontstoken. De sereuze oppervlakken kunnen fibreuze verklevingen bevatten van eerdere acute cholecystitis. Het slijmvlies kan focale ulceraties bevatten en kan er atrofisch uitzien. Microscopisch is de wand fibrotisch en wordt deze vaak geperforeerd met sinussen van Rokitansky Aschoff.[20]

Carcinomen

Carcinomen in de galblaas komen vaker voor in vrouwen dan mannen [23][39]. Carcinomen kunnen zich in zeldzame gevallen ook bevinden in de ductus choledochus en ampulla van Vater en zijn bijna altijd adenocarcinomen [40]. De vijfjaarsoverleving na operatie van cholangiocarcinomen is ongunstig, maar beter dan bij galblaascarcinomen [20]. Dit geldt ook voor een carcinoom van de ampulla van Vater waarbij de vijfjaarsoverleving 35 procent is [20][41].

Bijlage B: Matlab scripts

Het creëren van de afbeeldingen

```
%% <create_test_images_for_image_classification.m> - <create test images>
%% author: F. van der Heijden (RAM-UT)
%% revisions: Jenneke de Jong, Dionne Nijland, IJja Westra, Lisa Zwetsloot

close all
clear variables
rng(0); % set the seed to zero so that random number
generator % is reproducible

%% general image parameters
N = 128; % image size is N*N
M = 100; % number of images per class
stdwn = 0.002; % std dev white noise
stdbg = 0.05; % std dev background
spsf_bg = 4; % std width of psf for background
spsf_ob = 0.5; % std width of objects (triangles, circles)
nea = 4*pi*spsf_bg^2; % noise equivalent aperture
std_bgnoise = stdbg*sqrt(nea); % std dev noise driving the background
%% create archetype image: circles
Ns = 4; % oversampling factor
R = 8*Ns; % radius
W = 0.5*Ns; % width
imfoo = zeros(N*Ns,N*Ns);
[X,Y] = meshgrid((1:N*Ns)-N*Ns/2-0.5,(1:N*Ns)-N*Ns/2-0.5);
r = (X.^2 + Y.^2).^0.5;
imfoo(R-W/2<=r & R+W/2>=r) = 1;
im_cir = imresize(imfoo,[N,N]);
im_cir = ut_gauss(im_cir,spsf_ob);
im_cir = mat2gray(im_cir);
%% create archetype image: triangle
im_tri = zeros(N,N);
im_tri = ut_drawline(im_tri, [37,3]/2, [3,20]/2);
im_tri = ut_drawline(im_tri, [3,20]/2, [37,37]/2);
im_tri = ut_drawline(im_tri, [37,3]/2, [37,37]/2);
im_tri = mat2gray(ut_gauss(im_tri,spsf_ob));
%% create a new folder with subfolders
foldername = '/Users/jennekedejong/Desktop/dbase_for_image_classification_test1';
if ~isfolder(foldername), mkdir(foldername); end % create the folder if it does not exist
oldfolder = cd(foldername); % move to folder
subfolder1 = 'circles';
subfolder2 = 'triangles';
subfolder3 = 'noise';
if isfolder(subfolder1), rmdir(subfolder1,'s'); end % remove sub folder if it exists
mkdir(subfolder1);
if isfolder(subfolder2), rmdir(subfolder2,'s'); end % remove sub folder if it exists
mkdir(subfolder2);
if isfolder(subfolder3), rmdir(subfolder3,'s'); end % remove sub folder if it exists
mkdir(subfolder3);
fullpath1 = [pwd,'/' subfolder1];
fullpath2 = [pwd,'/' subfolder2];
fullpath3 = [pwd,'/' subfolder3];
cd(oldfolder);
%% create triangle images with shifts and random SNR
% Generate random amplitudes:
% Define SNR as: SNR = A^2/var(background) where A is the top-top amplitude
% of the signals. SNR is randomly chosen between: SNRmin and SNRmax
SNRmin = 1;
SNRmax = 64;
Amin = sqrt(SNRmin)*stdbg;
Amax = sqrt(SNRmax)*stdbg;
Arnd = rand(1,M)*(Amax-Amin) + Amin;
% generate random shifts
```

```

maxshift = N - 30;
shiftsrnd = round(rand([2,2*M])*maxshift - maxshift/2);
% create the images
for m=1:M
    imbackground = ut_gauss(randn(N,N)*std_bgnoise,spsf_bg) + stdwn*randn(N,N);
    im = circshift(0.5+Arnd(m)*im_cir,shiftsrnd(:,m));
    imwrite(im+imbackground,[fullpath1, '/imcircle',num2str((m-1)*2+1),'.jpg']);
    im = circshift(0.5-Arnd(m)*im_cir,shiftsrnd(:,m));
    imwrite(im-imbackground,[fullpath2, '/imtriangle',num2str(2*m),'.jpg']);
end
%% create circle images with shifts and random SNR
% Generate random amplitudes:
% Define SNR as: SNR = A^2/var(background) where A is the top-top amplitude
% of the signals. SNR is randomly chosen between: SNRmin and SNRmax
SNRmin = 1;
SNRmax = 32;
Amin = sqrt(SNRmin)*stdbg;
Amax = sqrt(SNRmax)*stdbg;
Arnd = rand(1,M)*(Amax-Amin) + Amin;
% generate random shifts
maxshift = N - 30;
shiftsrnd = round(rand([2,2*M])*maxshift - maxshift/2);
% create the images
for m=1:M
    imbackground = ut_gauss(randn(N,N)*std_bgnoise,spsf_bg) + stdwn*randn(N,N);
    im = circshift(0.5+Arnd(m)*im_cir,shiftsrnd(:,m));
    imwrite(im+imbackground,[fullpath1, '/imcircle',num2str((m-1)*2+1),'.jpg']);
    im = circshift(0.5-Arnd(m)*im_cir,shiftsrnd(:,m));
    imwrite(im-imbackground,[fullpath1, '/imcircle',num2str(2*m),'.jpg']);
end
%% create noisy empty images
% create the images
for m=1:M
    imbackground = ut_gauss(randn(N,N)*std_bgnoise,spsf_bg) + stdwn*randn(N,N);
    imwrite(0.5+imbackground,[fullpath3, '/imnoise',num2str((m-1)*2+1),'.jpg']);
    imwrite(0.5-imbackground,[fullpath3, '/imnoise',num2str(2*m),'.jpg']);
end

```


Het creëren van netwerk en training

```
%% <training_simple.m> - <train using deep learning>
%% author: F. van der Heijden (RAM-UT)
%% revisions: Jenneke de Jong, Dionne Nijland, Ilja Westra, Lisa Zwetsloot

close all
clear variables
%% Define training options
opts = trainingOptions('sgdm', ...
    'InitialLearnRate', 0.001, ...
    'LearnRateSchedule', 'piecewise', ...
    'LearnRateDropFactor', 0.1, ...
    'LearnRateDropPeriod', 8, ...
    'L2Regularization', 0.004*0, ...
    'Momentum', 0.8, ...
    'MaxEpochs', 10, ...
    'MiniBatchSize', 1000, ...
    'Verbose', true);
% 'OutputFcn', @plotTrainingAccuracy, ...

%% get data
location = '/Users/jennekedejong/Documents/MATLAB/Film driehoek 1 128 x 128';
imds = imageDatastore(location, 'IncludeSubfolders', 1, 'LabelSource', 'foldernames');
tbl = countEachLabel(imds);
[imdsTrain, imdsValidation, imdsTest] = splitEachLabel(imds, 0.6, 0.2, ... % split the data set
    with respect to the labels in 60%/20%/20% for the train, validation and test set.
    0.2, 'randomize');
%% Create a 2 layer convolutional network to see what it does
layers = [ % create the layers of the network
    imageInputLayer([128 128 1])
    convolution2dLayer(3, 32, 'Padding', 1)
    batchNormalizationLayer
    reluLayer
    maxPooling2dLayer(2, 'Stride', 2)
    convolution2dLayer(3, 32, 'Padding', 1)
    batchNormalizationLayer
    reluLayer
    convolution2dLayer(3, 32, 'Padding', 1)
    batchNormalizationLayer
    reluLayer
    maxPooling2dLayer(2, 'Stride', 2)
    convolution2dLayer(3, 64, 'Padding', 1)
    batchNormalizationLayer
    reluLayer
    convolution2dLayer(3, 64, 'Padding', 1)
    batchNormalizationLayer
    reluLayer
    maxPooling2dLayer(2, 'Stride', 2)
    convolution2dLayer(3, 64, 'Padding', 1)
    batchNormalizationLayer
    reluLayer
    convolution2dLayer(3, 64, 'Padding', 1)
    batchNormalizationLayer
    reluLayer
    maxPooling2dLayer(2, 'Stride', 2)
    convolution2dLayer(3, 128, 'Padding', 1)
    batchNormalizationLayer
    reluLayer
    fullyConnectedLayer(3)
    softmaxLayer
    classificationLayer];
%% train
options = trainingOptions('sgdm', ... % set trainings options
```

```

'MaxEpochs',50, ...
'ValidationData',imdsValidation, ...
'ValidationPatience', Inf, ...
'ValidationFrequency',30, ...
'Verbose',true, ...
'Shuffle','every-epoch',...
'Plots','training-progress');
% [net, info] = trainNetwork(imdsTrain, layers, options);
% save net net
% load net
%% Test on Test set...
labels = classify(net, imdsTest);           % classify test set with trained network
accuracy = mean(labels == imdsTest.Labels); % calculate the accuracy on the test set
confusionmatrix(1,1) = sum((labels=='circles')&imdsTest.Labels=='circles');
confusionmatrix(1,2) = sum((labels=='circles')&imdsTest.Labels=='triangles');
confusionmatrix(1,3) = sum((labels=='circles')&imdsTest.Labels=='noise');
confusionmatrix(2,1) = sum((labels=='triangles')&imdsTest.Labels=='circles');
confusionmatrix(2,2) = sum((labels=='triangles')&imdsTest.Labels=='triangles');
confusionmatrix(2,3) = sum((labels=='triangles')&imdsTest.Labels=='noise');
confusionmatrix(3,1) = sum((labels=='noise')&imdsTest.Labels=='circles');
confusionmatrix(3,2) = sum((labels=='noise')&imdsTest.Labels=='triangles');
confusionmatrix(3,3) = sum((labels=='noise')&imdsTest.Labels=='noise');
%
```

Het creëren van de films

```

%% <create_test_videos_for_image_classification.m> - <create test videos>
%% author: F. van der Heijden (RAM-UT)
%% revisions: Jenneke de Jong, Dionne Nijland, Ilja Westra, Lisa Zwetsloot

close all
clear variables
rng(0); % set the seed to zero so that random number generator
% is reproducible

%% general image parameters
N = 128; % image size is N*N
M = 10; % number of videos per class
stdwn = 0.002; % std dev white noise
stdbg = 0.05; % std dev background
spsf_bg = 4; % std width of psf for background
spsf_ob = 0.5; % std width of objects (triangles, circles)
nea = 4*pi*spsf_bg^2; % noise equivalent aperture
std_bgnoise = stdbg*sqrt(nea); % std dev noise driving the background
video_zoom = 4;
video_duration = 20;
video_fps = 12;
start_range = [1 10]; % range of time at which generating the objects
starts
alpha = 0.5; % autoregression parameter for background
profile = 'MPEG-4';
nframes = video_duration*video_fps;
%% create archetype image: circles
Ns = 4; % oversampling factor
R = 8*Ns; % radius
W = 0.5*Ns; % width
imfoo = zeros(N*Ns,N*Ns);
[X,Y] = meshgrid((1:N*Ns)-N*Ns/2-0.5,(1:N*Ns)-N*Ns/2-0.5);
r = (X.^2 + Y.^2).^0.5;
imfoo(R-W/2<=r & R+W/2>=r) = 1;
im_cir = imresize(imfoo,[N,N]);
im_cir = ut_gauss(im_cir,spsf_ob);
im_cir = mat2gray(im_cir);
%% create archetype image: triangle
im_tri = zeros(N,N);
im_tri = ut_drawline(im_tri, [18.5,1.5], [1.5,10]);
im_tri = ut_drawline(im_tri, [1.5,10], [18.5,18.5]);
im_tri = ut_drawline(im_tri, [18.5,1.5], [18.5,18.5]);
im_tri = mat2gray(ut_gauss(im_tri,spsf_ob));
%% create a new folder with subfolders
foldername = '/Users/jennekedejong/Desktop/dbase_for_image_classification';
if ~isfolder(foldername), mkdir(foldername); end % create the folder if it does not exists
oldfolder = cd(foldername); % move to folder
subfolder1 = 'vid_circles';
subfolder2 = 'vid_triangles';
subfolder3 = 'vid_noise';
if isfolder(subfolder1), rmdir(subfolder1,'s'); end % remove sub folder if it exists
mkdir(subfolder1);
if isfolder(subfolder2), rmdir(subfolder2,'s'); end % remove sub folder if it exists
mkdir(subfolder2);
if isfolder(subfolder3), rmdir(subfolder3,'s'); end % remove sub folder if it exists
mkdir(subfolder3);
fullpath1 = [pwd,'\` subfolder1];
fullpath2 = [pwd,'\` subfolder2];
fullpath3 = [pwd,'\` subfolder3];
cd(oldfolder);
%% create triangle videos with shifts and random SNR
A = 0.5;
% generate random shifts
maxshift = N - 40;

```

```

shiftsrnd = round(rand([2,2*M])*maxshift);
% generate random start time and frame numbers
tstart = rand(1,M)*(start_range(2)-start_range(1)) + start_range(1);
tend = tstart+ 10;
fstart = round(tstart*video_fps);
fend = round(tend*video_fps);
outputname = [fullpath2, '\vid_starttimes'];
save(outputname,'tstart');
% generate random signs
Asign = (round(rand(1,M))*2 - 1) * A;
% create the videos
for m=1:M
    % open video object
    outputname = [fullpath2, '\vidtriangle',num2str(m)];
    wobj = VideoWriter(outputname,profile);
    wobj.FrameRate = video_fps;
    wobj.Quality = 95;
    open(wobj);

    % generate envelop
    Aenv = zeros(1,nframes);
    Aenv(fend(m):end) = 1;
    Aenv(fstart(m):fend(m)) = linspace(0,1,fend(m)-fstart(m)+1);

    % create the movie
    imbackground = ut_gauss(randn(N,N)*std_bgnoise,spsf_bg);
    for n=1:nframes
        % auto regression of the background
        imbackground = alpha * imbackground + sqrt(1-alpha^2) *
ut_gauss(randn(N,N)*std_bgnoise,spsf_bg);
        im = circshift(0.5+Asign(m)*Aenv(n)*im_tri,shiftsrnd(:,m)) + imbackground;
        writeVideo(wobj,im2uint8(imresize(im,video_zoom)));
    end
    close(wobj)
end
% create circle videos with shifts and random SNR
A = 0.5;
% generate random shifts
maxshift = N - 30;
shiftsrnd = round(rand([2,2*M])*maxshift - maxshift/2);
% generate random start time and frame numbers
tstart = rand(1,M)*(start_range(2)-start_range(1)) + start_range(1);
tend = tstart+ 10;
fstart = round(tstart*video_fps);
fend = round(tend*video_fps);
outputname = [fullpath1, '\vid_starttimes'];
save(outputname,'tstart');
% generate random signs
Asign = (round(rand(1,M))*2 - 1) * A;
% create the videos
for m=1:M
    % open video object
    outputname = [fullpath1, '\vidcircle',num2str(m)];
    wobj = VideoWriter(outputname,profile);
    wobj.FrameRate = video_fps;
    wobj.Quality = 95;
    open(wobj);

    % generate envelop
    Aenv = zeros(1,nframes);
    Aenv(fend(m):end) = 1;
    Aenv(fstart(m):fend(m)) = linspace(0,1,fend(m)-fstart(m)+1);

```

```

% create the movie
imbackground = ut_gauss(randn(N,N)*std_bgnoise,spsf_bg);
for n=1:nframes
    % auto regression of the background
    imbackground = alpha * imbackground + sqrt(1-alpha^2) *
ut_gauss(randn(N,N)*std_bgnoise,spsf_bg);
    im = circshift(0.5+Asign(m)*Aenv(n)*im_cir,shiftsrnd(:,m)) + imbackground;
    writeVideo(wobj,im2uint8(imresize(im,video_zoom)));
end
close(wobj)
end

%% create noisy empty videoa
% create the videos
for m=1:M
    % open video object
    outputname = [fullpath3, '\vidnoise',num2str(m)];
    wobj = VideoWriter(outputname,profile);
    wobj.FrameRate = video_fps;
    wobj.Quality = 95;
    open(wobj);

    % create the movie
    imbackground = ut_gauss(randn(N,N)*std_bgnoise,spsf_bg);
    for n=1:nframes
        % auto regression of the background
        imbackground = alpha * imbackground + sqrt(1-alpha^2) *
ut_gauss(randn(N,N)*std_bgnoise,spsf_bg);
        writeVideo(wobj,im2uint8(0.5+imresize(imbackground,video_zoom)));
    end
    close(wobj)
end

```

Frames uit films halen

```
%% <Get_frames_from_movie.m> - <Extract frames from movie>
%% author: R. Alkhanani
%% revisions: Jenneke de Jong, Dionne Nijland, Ilja Westra, Lisa Zwetsloot

%To do: Place movie in Current folder
filename = 'vidtriangle7.mp4';
mov = VideoReader(filename);
% To do: Create output folder andplace location in line below
outputFolder =
fullfile('/Users/jennekedejong/Desktop/dbase_for_image_classification/frames_vidtriangle7');
mkdir(outputFolder);
%getting no of frames
framee= 0;
numberOfFrames = mov.NumberOfFrames;
numberOfFramesWritten = 0;
for frame = 1: 240
    thisFrame = read(mov, frame);
    framee=framee+1;
    outputBaseFileName = sprintf('%3.1d.jpg', framee);
    outputFullFileName = fullfile(outputFolder, outputBaseFileName);
    imwrite(thisFrame, outputFullFileName, 'jpg');
% progressIndication = sprintf('Wrote frame %4d of %d.', frame,numberOfFrames);
% disp(progressIndication);
    numberOfFramesWritten = numberOfFramesWritten + 1;
end
progressIndication = sprintf('Wrote %d frames to folder "%s"',numberOfFramesWritten,
outputFolder);
disp(progressIndication);
```

Testen van het getrainde netwerk

```
%% <test_images.m> - <test network>
%% author: F. van der Heijden (RAM-UT)
%% revisions: Jenneke de Jong, Dionne Nijland, Ilja Westra, Lisa Zwetsloot

clear variables
close all
load net2.mat
location = '/Users/jennekedejong/Documents/MATLAB/Film driehoek 7 128 x 128';
imds = imageDatastore(location)
i=size(imds.Files,1); %number of images in imds
[labs,scor] = classify(net,imds); %predicts class labels for the image data in imds
using the trained network, net.
im = zeros(100,i,3)
for n=1:i
    im(1:ceil(scor(n,1)*100/sum(scor(n,:))),n,1) = 1;
end
for n=1:i
    im(ceil(scor(n,1)*100/sum(scor(n,:))):floor(scor(n,2)*100/sum(scor(n,:))),n,3) = 1;
end
imshow(im)
set(gca,'ydir','normal')
save ('Graph_of_driehoek_1','im')
A=find(any(scor>0.95,3)) %A gives the rows where scor>0.95
save ('Value_of_A_driehoek_1','A')
```

Bijlage C: Analyse van het getrainde netwerk

ANALYSIS RESULT				
#	NAME	TYPE	ACTIVATIONS	LEARNABLES
1	imageinput 128x128x1 images with 'zerocenter' normalization	Image Input	128x128x1	-
2	conv_1 32 3x3x1 convolutions with stride [1 1] and padding [1 1 1 1]	Convolution	128x128x32	Weights 3x3x1x32 Bias 1x1x32
3	batchnorm_1 Batch normalization with 32 channels	Batch Normalization	128x128x32	Offset 1x1x32 Scale 1x1x32
4	relu_1 ReLU	ReLU	128x128x32	-
5	maxpool_1 2x2 max pooling with stride [2 2] and padding [0 0 0 0]	Max Pooling	64x64x32	-
6	conv_2 32 3x3x32 convolutions with stride [1 1] and padding [1 1 1 1]	Convolution	64x64x32	Weights 3x3x32x32 Bias 1x1x32
7	batchnorm_2 Batch normalization with 32 channels	Batch Normalization	64x64x32	Offset 1x1x32 Scale 1x1x32
8	relu_2 ReLU	ReLU	64x64x32	-
9	conv_3 32 3x3x32 convolutions with stride [1 1] and padding [1 1 1 1]	Convolution	64x64x32	Weights 3x3x32x32 Bias 1x1x32
10	batchnorm_3 Batch normalization with 32 channels	Batch Normalization	64x64x32	Offset 1x1x32 Scale 1x1x32
11	relu_3 ReLU	ReLU	64x64x32	-
12	maxpool_2 2x2 max pooling with stride [2 2] and padding [0 0 0 0]	Max Pooling	32x32x32	-
13	conv_4 64 3x3x32 convolutions with stride [1 1] and padding [1 1 1 1]	Convolution	32x32x64	Weights 3x3x32x64 Bias 1x1x64
14	batchnorm_4 Batch normalization with 64 channels	Batch Normalization	32x32x64	Offset 1x1x64 Scale 1x1x64
15	relu_4 ReLU	ReLU	32x32x64	-
16	conv_5 64 3x3x64 convolutions with stride [1 1] and padding [1 1 1 1]	Convolution	32x32x64	Weights 3x3x64x64 Bias 1x1x64
17	batchnorm_5 Batch normalization with 64 channels	Batch Normalization	32x32x64	Offset 1x1x64 Scale 1x1x64
18	relu_5 ReLU	ReLU	32x32x64	-
19	maxpool_3 2x2 max pooling with stride [2 2] and padding [0 0 0 0]	Max Pooling	16x16x64	-
20	conv_6 64 3x3x64 convolutions with stride [1 1] and padding [1 1 1 1]	Convolution	16x16x64	Weights 3x3x64x64 Bias 1x1x64
21	batchnorm_6 Batch normalization with 64 channels	Batch Normalization	16x16x64	Offset 1x1x64 Scale 1x1x64
22	relu_6 ReLU	ReLU	16x16x64	-
23	conv_7 64 3x3x64 convolutions with stride [1 1] and padding [1 1 1 1]	Convolution	16x16x64	Weights 3x3x64x64 Bias 1x1x64
24	batchnorm_7 Batch normalization with 64 channels	Batch Normalization	16x16x64	Offset 1x1x64 Scale 1x1x64
25	relu_7 ReLU	ReLU	16x16x64	-
26	maxpool_4 2x2 max pooling with stride [2 2] and padding [0 0 0 0]	Max Pooling	8x8x64	-
27	conv_8 128 3x3x64 convolutions with stride [1 1] and padding [1 1 1 1]	Convolution	8x8x128	Weights 3x3x64x128 Bias 1x1x128
28	batchnorm_8 Batch normalization with 128 channels	Batch Normalization	8x8x128	Offset 1x1x128 Scale 1x1x128
29	relu_8 ReLU	ReLU	8x8x128	-
30	fc 3 fully connected layer	Fully Connected	1x1x3	Weights 3x8192 Bias 3x1
31	softmax softmax	Softmax	1x1x3	-
32	classoutput crossentropyx with 'circles' and 2 other classes	Classification Output	-	-

Bijlage D: Interview protocol

Voorafgaand aan de vragen vertellen wie wij zijn, waar we mee bezig zijn en vragen of het gesprek opgenomen mag worden

- Kunt u ons vertellen hoe u heet, wat uw leeftijd is en wat voor specialisme u beoefend?
- Bent u bekend met Technische Geneeskunde en wat dit inhoudt?
- Bent u bekend met de term kunstmatige intelligentie?

- Op welke manier denkt u dat KI een toevoeging zou kunnen zijn op de OK?
 - Binnen 5 jaar en binnen 10 jaar?

- Wordt er al gebruik gemaakt van KI bij operaties die hier plaatsvinden?
 - Wat zijn de voordelen hiervan?
 - Wat zijn dingen die nog verbeterd kunnen worden d.m.v KI?

- Welke complicaties en moeilijkheden treden er op bij het uitvoeren van **laparoscopische cholecystectomie / de operaties die u uitvoert**?
 - Denkt u dat KI een toevoeging zou kunnen zijn bij deze moeilijkheden?

- Hoe zou het uitvoeren van een **laparoscopische cholecystectomie / de operaties die u uitvoert** efficiënter kunnen?
 - Denkt u dat KI hierbij zou kunnen helpen?

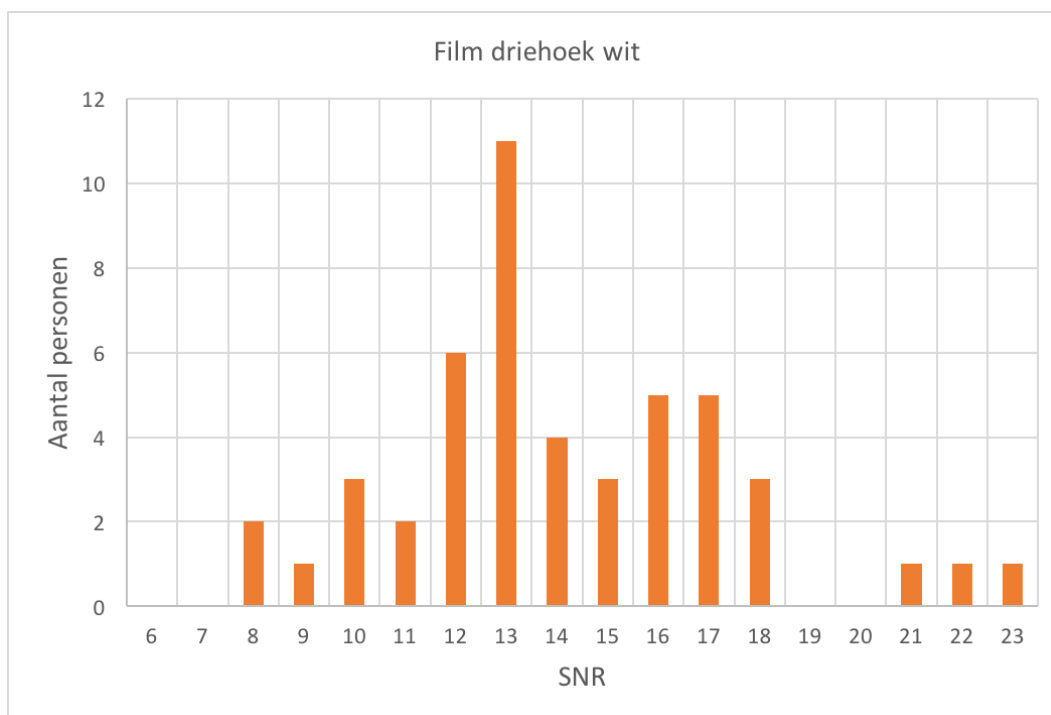
- Hoe denkt u dat de technologie in uw specialisme zich gaat ontwikkelen in de komende 10 jaar?
 - Denkt u dat hier een rol voor AI ligt? Hoe denkt u hierover?
 - Verwacht u dat uw positie als specialist dan zal veranderen?
 - Hoe zou u willen dat het zich gaat ontwikkelen?
 - Wat verwacht u niet meer te hoeven doen over 10 jaar?

- **Idee van structuren herkennen om efficiëntie te verhogen voorleggen**
 - Hoe denkt u hierover?

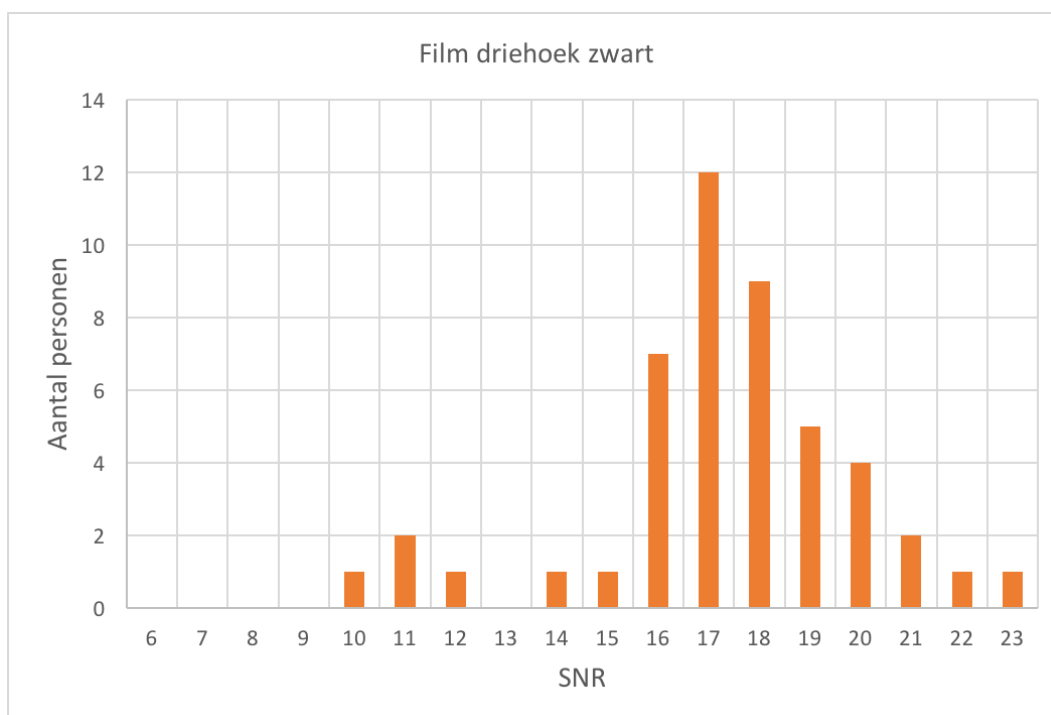
Reservevraag

- Hoe ziet u de rol van TG binnen het ziekenhuis?

Bijlage E: Extra afbeeldingen resultaten



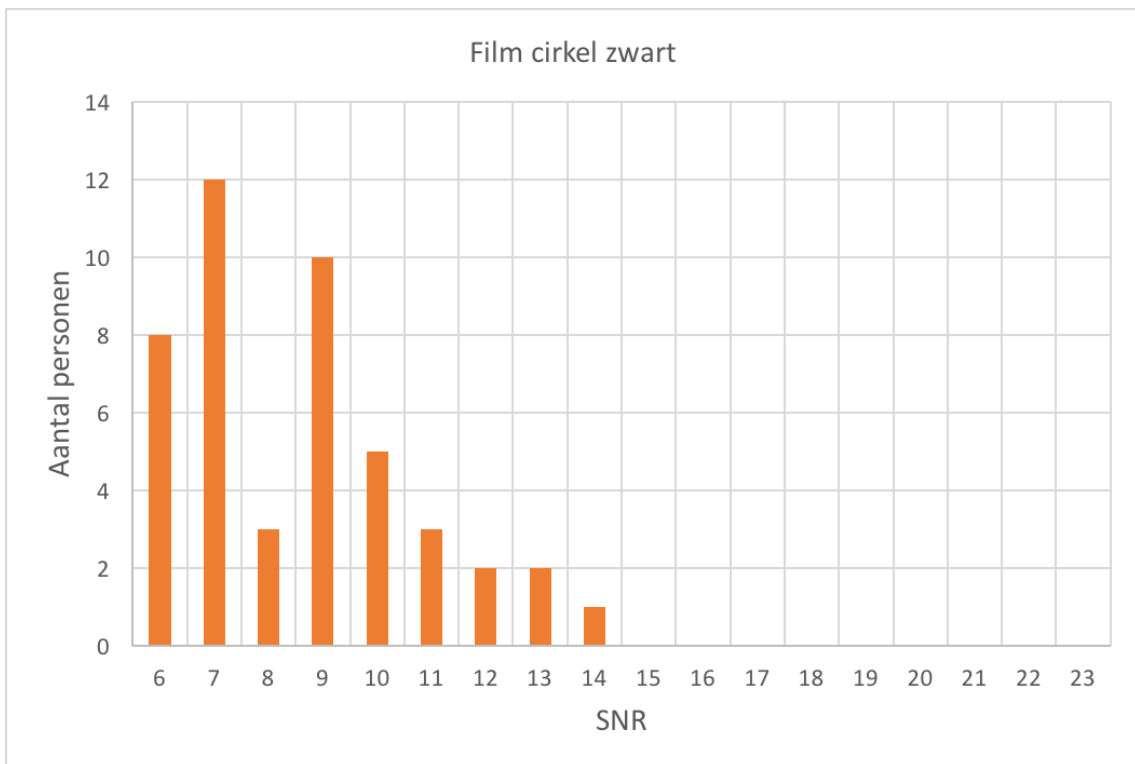
Figuur B: Het aantal personen dat de witte driehoek herkende per SNR



Figuur C: Het aantal personen dat de zwarte driehoek herkende per SNR



Figuur D: Het aantal personen dat de witte cirkel herkende per SNR



Figuur E: Het aantal personen dat de zwarte cirkel herkende per SNR

Bijlage F: Aanvulling interview

KI op de operatiekamer

Dr. J.G. Grandjean (cardio thoracale chirurgie)

“Hier werken we veel met robots en daar zie je dat het voor een deel wordt ingebouwd. Ze hebben daar een opstelling staan met een stuurbare katheter die reageert op de mitralis annulus. De katheter compenseert voor bewegingen, maar kan ook aanleren om te compenseren voor ritmestoornis. Dus die kan dan eigenlijk op dezelfde plek blijven, terwijl het hart blijft kloppen en je ook je ademhaling hebt die ook invloed heeft. Dus we zijn er mee bezig, maar we zijn nog lang niet zo ver.”

Dr. G.D.J. van Olden (Traumachirurg)

“Er wordt nog geen gebruik gemaakt van KI, alleen bij onderzoek wordt er gebruik van gemaakt, door TG’ers.”

Prof. dr. I.A.M.J. Broeders

“Ik werk met een operatierobot die de optiek vasthoudt, de camera, en die volgt mij constant. Die analyseert constant beelden en die begrijpt dus waar mijn instrumenten zich in beeld begeven. Die kan ik dus gebruiken om op een veel interactievere manier de optiek te sturen. Ik weet niet of je dit KI mag noemen, maar het is in ieder geval nuttig gebruik van hoogwaardige beeldanalyse. Dat is wel een van de allereerste concrete voorbeelden van praktisch gebruik van dit soort technologie.”

Complicaties en moeilijkheden bij operaties

Dr. G.D.J. van Olden

“Bij de traumatologie is dat repositie. Repositie is het weer bij elkaar passen van losse botstukken; wat hoort waaraan, wat hoort waarbij? Dat heeft alles te maken met pre-operatieve planning. Vantevoren kijken; ‘hé dat botstuk hoort daar, dat hoort daar.’. In sommige gevallen zal er een 3D print gemaakt kunnen worden van het gebroken bot met behulp van 3D CT-scans, wordt al op experimentele basis gedaan. Op basis van de 3D geprinte botbreuken zou alvast een planning gemaakt kunnen worden voor de operatie. Dit staat wel nog in de kinderschoenen.”

“Bij de liesbreukoperatie is het probleem dat het een heel klein gebiedje is, waar je een heleboel structuren en vaten ziet. Hierbij zijn de slagaders naar benen toe, buikslagadertjes, naar het caecum, de blaas en de botten. Voornamelijk de vaten moeten hierbij aangegeven kunnen worden. Het is nu een kijkoperatie, dus KI wordt ook nog niet gebruikt bij deze operatie.”

Mogelijkheden voor KI bij een cholecystectomie

Dr. P.M. Verheijen en drs. C.D.P. Van ‘t Hullenaar

“KI zal voornamelijk een toevoeging zijn bij complexe operaties, bij het voorkomen van risico’s door structuren die niet geraakt mogen worden, te herkennen en aan te geven. Dit kan door MRI of CT te incorporeren in de OK door middel van image fusion. Zo kunnen kwetsbare structuren beter en sneller herkend worden.“ **Prof. dr.**

I.A.M.J. Broeders

‘Het verbeteren van efficiëntie, het verbeteren van persoonlijke performance van een chirurg en het optimaliseren van het maken van keuzes en daaraan gekoppelde uitkomsten voor de patiënt en veiligheid van de procedure.’

Ontwikkeling van KI en de toepassing hiervan in de komende 10 jaar

Prof. dr. I.A.M.J. Broeders

“De Da Vinci robot is niet meer dan een extreem verfijnd elektromechanisch apparaat, waarbij de computer uitsluitend een rol speelt in het veilig toepassen van elektromechanische overbrenging van bewegingen. Het feit dat die patent verlopen zijn, biedt andere partijen de mogelijkheid die markt in te stappen. Maar het is ook zo dat de grote andere partijen pas de afgelopen jaren zijn gaan inzien dat robotchirurgie een blijver is. Partijen zien: wij moeten die markt in, tegelijkertijd krijgen ze nu de mogelijkheid. Ze kijken wel tegen een 20 jaar technische ontwikkelingsachterstand aan. Dat is een serieuze uitdaging om in te halen.”

“Een bandje pakken om operatieverslag in te spreken. Veel minder typen en administratie, veel meer met spraakherkenning gaan werken.”

De ontwikkeling van technologie in de gezondheidszorg

Dr. G.D.J. van Olden

“Voor ons is dat het aanpassen van implantaten; we hebben platen en schroeven die gemodificeerd worden. Het modifieren van nieuwe platen ben ik zelf ook mee bezig, van ja; we hebben een prachtige plaat maar hij kan nóg ietsje beter, dat doe je door het veel te gebruiken en denken van hé dit zou handig zijn. Of bij instrumenten die je kunt gebruiken, als er iets niet handig is aan bv. een tang, dan kan je daar nog iets aan verbeteren. Voor de rest is dat het een beetje voor de traumatologie, naast de 3D printer die al genoemd is en al experimenteel gebruikt wordt. Dat zal standaard worden; met behulp van CT de prints te maken. Beeldvorming zijn ze nu al mee bezig, de ene radioloog kan hele mooie plaatjes maken met de software die ze hebben, bijvoorbeeld op de knop drukken en zo hele mooie 3D plaatjes maken. Nog niet tastbaar geprint, maar wel al zichtbaar. Dat bestaat ook al, daar zit wel veel kwaliteitsverschil in. Er zijn echt mooie programma's en waarschijnlijk ook hele dure programma's voor. Dat zal zich in de komende jaren wel gaan ontwikkelen. Die programma's worden steeds betaalbaarder.”

Prof. dr. J.G. Grandjean

“Wat ik voor me zie is dat je een patiënt met een afwijking hebt, die is door CT of MRI gegaan, daar is beeldvorming van. Die moet behandeld worden. Wat je kan doen is dat jij als operateur niet meer bij de patiënt staat te behandelen, maar dat je met joystickjes heel fijn in een virtueel beeld aan het behandelen bent. Wat je in het virtuele beeld doet, gaat terug naar de robot, die weer aan de patiënt zit te sleutelen.”

“In Amerika gebruiken ze DaVinci en hebben ze een soort sensor aangemaakt, zodat ze kunnen palperen en er wat simpels uit kunnen halen. Zodat hij boven de juiste plek is en je een sneetje kunt maken op de juiste plek.”

“Bij mitralisklep operaties heb je echobeelden met een gevuld hart en dat beweegt en daar beweegt die klep in. Op het moment dat we gaan opereren leg je het hart stil en maak je het hart open. En dan heb je een soort slappe zak, waar klep weefsel in hangt. Dan ga je dat corrigeren, maar het dynamische resultaat weet je niet of het goed is of niet. Daarvoor moet het hart eerst gevuld worden en gaan kloppen. Waar we mee bezig zijn is een soort voorspellend model te maken. Zou het niet mooi zijn als je een individueel model van echo kan inladen in matlab en dan kan gaan sleutelen. Als ik dit doe en dat, dan kan je het hart de computer laten kloppen en is dit het resultaat.”

Verandering van de positie als specialist

Dr. M. van Veen

‘Wat ik minder verwacht te doen over 10 jaar is bijv. het weghalen van lymfeklieren. Voor vele kankersoorten zullen we niet meer het eerste aanspreekpunten worden, maar zal er eerst behandeld worden met therapie. Op dit punt is namelijk nog veel winst te halen.’

Prof. dr. J.G. Grandjean

‘Ik weet niet wat de specialist over 10 jaar niet meer hoeft te doen. Dingen veranderen in het vak. Er zijn allemaal toepassingen die je kunt doen, waar snelle beeldvorming voor nodig is. Op stilstaand beeld kunnen ze al heel veel. Volgende uitdaging om op bewegende delen in het lichaam.’

Dr. P.M. Verheijen en drs. C.D.P. Van ‘t Hullenaar

Over 10 jaar verwacht ik dat ik bepaalde operaties zoals leverresecties, lymfeklierresecties en mammachirurgie niet meer hoeft te voeren. Tegen die tijd zullen er andere technieken zijn die de operaties zullen vervangen. Veel operaties zullen meer endoscopische of hybride ingrepen worden.

Dr. G.D.J. van Olden

‘Die nieuwe dingen, die hoor je dan, maar dat zijn vaak hulpmiddelen. De operaties veranderen niet, maar hoe fijn is het om een hulpmiddel in je handen te krijgen? Platen die worden ook steeds mooier, passen steeds beter. 3e generatie platen momenteel. Je moet ermee leren werken, maar de rol zelf zal niet veranderen. Ook hetzelfde blijven doen over 10 jaar. De operaties blijven altijd hetzelfde; er zullen altijd mensen met liesbreuken zijn, altijd mensen met gebroken heupen. Dat stopt nooit.’

Prof. dr. I.A.M.J. Broeders

‘De rol in het diagnostisch proces veranderd wel, die wordt veel meer kennis coach dan kennis eigenaar. Mensen komen met veel meer kennis over hun aandoening naar je toe, bijna alles vinden ze zelf. In verloop van tijd zullen patiënten beter gevuld met kennis naar je toekomen. Je wordt veel meer een procesbegeleider, daar wordt het vak niet minder interessant van. Het is gewoon een evolutie in je rol. Dit is volstrekt onvermijdelijk; of ik het wil of niet, zo zal het gaan.’

‘Wij Europeanen denken anders dan Amerikanen, wordt daar ontwikkeld. Als het systeem de verkeerde diagnose stelt, wie is daar verantwoordelijk voor? Artsen: wat is onze taak? moeten wij het gaan controleren? wij hebben een grotere foutmarge. Deze processen: verantwoordelijkheid, logisch handelen. Die houden dat heel erg tegen.’

Opinie over dit onderzoek

Prof. dr. J.G. Grandjean

‘Op het moment dat het mogelijk is om structuren te gaan herkennen, dan kan de operatierobot zo geprogrammeerd worden dat de robot dan weet wat hij moet doen.’

Rol van TG'er

Dr. T. Verhagen

Voorname in het stuk klinische research bij technieken een hebben TG'ers een belangrijke rol, en aanjagers van nieuwe technieken, artsen willen niet toegeven dat KI het beter kan. Willen wel goeie zorg leveren en geholpen worden door IT, maar zijn er niet zoveel mee bezig. Voor de ontwikkeling komende jaren een belangrijke rol.

Prof. dr. J.G. Grandjean

“Ik heb vanaf begin al met tg’ers gewerkt. Heb er een aantal in dienst, dus ik moet zeggen het is een hele welkome aanvulling als clinicus. Zoals de dokter nu wordt opgeleid, snappen ze niet waar TG’ers mee bezig zijn. Sommige zullen het wel leuk vinden, maar kunnen niet iets met matlab. Het wordt een team dat elkaar aanvult en gezamenlijke verantwoordelijkheid heeft.”

Dr. P.M. Verheijen en drs. C.D.P. Van ‘t Hullenaar

De rol van TG’ers zal ook steeds belangrijker worden in het ziekenhuis.

Prof. dr. I.A.M.J. Broeders

“In het huidige financieringsbeleid vooral in hele grote centra, met veel complexe taken. Een academisch ziekenhuis met een jaaromzet van 1.7 miljard met 850 bedden. Meander heeft ruim 300 miljoen met 600 bedden. Dat zegt iets over het verschil van die centra. Het meander is een plek waar recht voor z’n raap zorg verleend moet worden voor zo weinig mogelijk kosten. Dit is een lastig scenario om TG’ers in te bedden, hoogopgeleide mensen die meer dan een ton per jaar kosten. Dat geld ligt niet voor het oprapen. In academische ziekenhuizen met complexe werkomgevingen kunnen technisch geneeskundigen een hele duidelijke plek krijgen. Danwel als onderzoeker, danwel als begeleider / innovator. Maar dat zit hem vooral dus in de hele zwaar gefinancierde hoogcomplexe zorgcentra. In de recht voor de raap zorgcentra komt er plek voor TG’ers zodra jullie declaratie bevoegd worden. Dat is een stap die volgt op BIG registratie. Dan voornamelijk een plek op de vaatchirurgie, je moet je geld dan echt verdienen.”

Bijlage G: Onze toekomstvisies betreft KI

Jenneke de Jong:

"Mijn verwachting is dat KI een grotere rol in ons leven gaat spelen dan we nu verwachten. De ontwikkeling van KI gaat veel sneller dan de evolutionaire ontwikkeling van het menselijke brein. Dit betekent dat robots ons uiteindelijk zullen overstijgen op bijna alle gebieden. Robots zullen in de toekomst optimaal getraind en gespecialiseerd worden en extreem nauwkeurigere 'medisch specialisten' worden. Wel verwacht ik dat deze ontwikkeling van KI tot zelfstandig 'medisch specialist' nog lang op zich zal laten wachten. Een van de voornaamste redenen hiervoor zal het dilemma van de aansprakelijkheid zijn. De eerste gebieden waar KI zijn intrede gaat maken zullen dan ook de vakegebieden zijn waar KI de rol zal hebben van hulpmiddel van de specialist en er dus minder sprake zal zijn van het dilemma over bij wie de aansprakelijkheid ligt. Dit zullen bijvoorbeeld data management en de uitvoering van simpele taken zullen zijn. Wel zal de rol van de medisch specialist gedurende de jaren vorderen steeds meer neigen naar procesbewaker in plaats van hoofduitvoerder. Verder zal het wel even duren voordat mensen gewend zullen zijn aan het idee en open zullen staan voor behandeling door een robot. Vraag is natuurlijk aanbod en ik vraag me af hoe groot de vraag, van zowel patiënten als medisch specialisten, naar KI als 'zelfstandig specialist' nou echt is. Echter zullen mensen, als de jaren vorderen, steeds meer gewend raken aan technologie en KI aangezien het een steeds grotere rol zal innemen in niet alleen de gezondheidszorg, maar op alle vlakken van ons leven. En wie weet, misschien zullen we in de verre toekomst uiteindelijk zelfs zelf steeds iets meer robot worden. "

Dionne Nijland:

"Op dit moment zie ik KI in de toekomst vooral als hulpmiddel bij interventies. Voordat dit echt plaats gaat vinden gaat naar mijn verwachting nog wel 10 jaar duren. Wel verwacht ik dat het sneller zijn intrede gaat maken in de diagnostiek dan bij interventies. Wat KI in de diagnostiek momenteel het meest tegenhoudt, is bij wie de verantwoordelijkheid komt te liggen. Voordat KI zijn intrede gaat maken bij interventies moeten er namelijk nog veel meer stappen ondernomen worden. Dit komt doordat bij interventies meer dynamische real-time beelden worden gebruikt, terwijl het in de diagnostiek meer gaat om statische beeldvorming. Deze dynamische beelden moeten meteen verwerkt en teruggekoppeld worden, dat maakt het een stuk lastiger. In eerste instantie gaat KI als hulpmiddel gebruikt worden om structuren te herkennen tijdens lastige onderdelen van de operatie. Dit zorgt dan voor ondersteuning van de chirurg zodat de veiligheid van de operatie verbeterd kan worden."

Ilja Westra:

"De technologie zal zich altijd blijven ontwikkelen, KI zo ook. Veel aspecten zullen door de jaren heen steeds meer geautomatiseerd worden, zoals administratieve handelingen en het gebruik van beeldvorming bij image guided surgery. Het vak geneeskunde en de specialisaties zullen altijd blijven bestaan, maar het zou wel goed kunnen dat er een verandering plaats gaat vinden in de taken van de artsen. Er zullen steeds meer delen van de diagnose, behandeling en nazorg overgenomen worden door robotica of KI. Het eerste voorbeeld hiervan is de beoordeling van scans door geautomatiseerde programma's. Op het moment dat er concrete afspraken gevormd zijn over de verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid in het geval van door technologie gemaakte fouten, zal de toepassing ervan in een stroomversnelling belanden. Dit zal echter nog meer dan 10 jaar kunnen duren. Verder is de limiet van technologie ook niet oneindig. Er komt een punt waarop de ontwikkelingscurve af zal vlakken en echte revoluties zeldzamer worden.

Ik denk wel dat er een punt zal zijn waarop bepaalde handelingen op de operatiekamer volledig door robotica uitgevoerd wordt, zoals hechten of incisies maken, maar een complete operatie zal niet gebeuren. Daar is het menselijk lichaam te complex en variërend voor, om robots hier goed voor te kunnen trainen. Het is een te grote stap om te verwachten dat een robot het vermogen heeft om met dezelfde capaciteit en precisie de structuren en situatie in de patiënt waar te nemen

en op basis hiervan exact te weten wat er moet gebeuren, op welke manier en dit te vertalen naar hoe de instrumenten dan precies moeten worden aangestuurd."

Lisa Zwetsloot:

"Op dit moment is er nog weinig acceptatie van KI op chirurgisch gebied. KI vindt zijn oorsprong in robotica, filosofie en statistiek wat orthogonaal staat op huidige chirurgie. Gezien KI bestaat uit algoritmes, is het van belang dat de chirurg aan de basis zal gaan staan van deze algoritmes. Tot op heden zie ik dit nog niet gebeuren. Vanuit mijn perspectief zijn chirurgen content met de huidige stand van zaken. De patiënt helpen staat hoog in het vaandel in de gezondheidszorg en als bewezen is dat KI hier een goede toevoeging zal zijn, zal het worden overwogen. Daarnaast is er nog te weinig data beschikbaar om computers te trainen zodat deze ze complexe handelingen kunnen uitvoeren bij interventies. Wel zal het snel als hulpmiddel gaan bieden, gezien computers beter en sneller zijn op bijna alle vlakken. Ook denk ik dat er binnen 50 jaar geen autonome robot komt in de zorg. Als je nagaat hoe complex een handeling is als iemand op een stoel zetten of iemand naar de wc brengen. Bovendien komt ook nog het sociaal emotioneel aspect. Mensen zullen moeilijker tegen een robot vertellen waar ze last van hebben dan tegen iemand die doorvraagt en hun emotie begrijpt. Toch komt er steeds meer acceptatie, vooral op diagnostisch gebied. Maar ik denk dat het nog lang gaat duren voordat deze acceptatie daar is op interventiegebied, zeker ook over de verantwoordelijkheid van algoritmes en veiligheid van automatische analyses die worden uitgevoerd."

Bijlage H: Berekeningen

Berekening van de standaarddeviatie van de achtergrondruis:

Nea=noise equivalent aperture

stdev=standaarddeviatie achtergrondruis

$$Nea = 4\pi 4^2 = 201,06 \quad (A)$$

$$stdev = 0,05 \sqrt{4\pi 4^2} = 0,71 \quad (B)$$

Berekening in Excel van het percentage personen dat op een frame een vorm herkende:

F=framenummer

FH= framenummer van herkenning

Tstart= starttijd opkomen vorm

FHC= framenummer van herkenning gecorrigeerd voor tijd tot tevoorschijn komen vorm.

Per=percentage personen dat op een frame een vorm herkende

Countif=Functie in Excel die het aantal cellen telt die aan een criteria voldoen

n=aantal personen

$$FHC = FH - Tstart \quad (C)$$

$$Per = (\text{countif}(\text{kolomFHC}, \text{kolomF})/n)100 \quad (D)$$