

Künstliche Intelligenz in der Augenheilkunde

Chancen und Herausforderungen

U. Kellner

u.kellner@osg.de

Bedeutung des Sehens für Menschen

JAMA Ophthalmology | Brief Report

Evaluating Whether Sight Is the Most Valued Sense

Jamie Enoch, MSc; Leanne McDonald, MSc; Lee Jones, PhD; Pete R. Jones, PhD; David P. Crabb, PhD

Figure 1. Dot Plot Showing Rankings of the 8 Senses Under Investigation

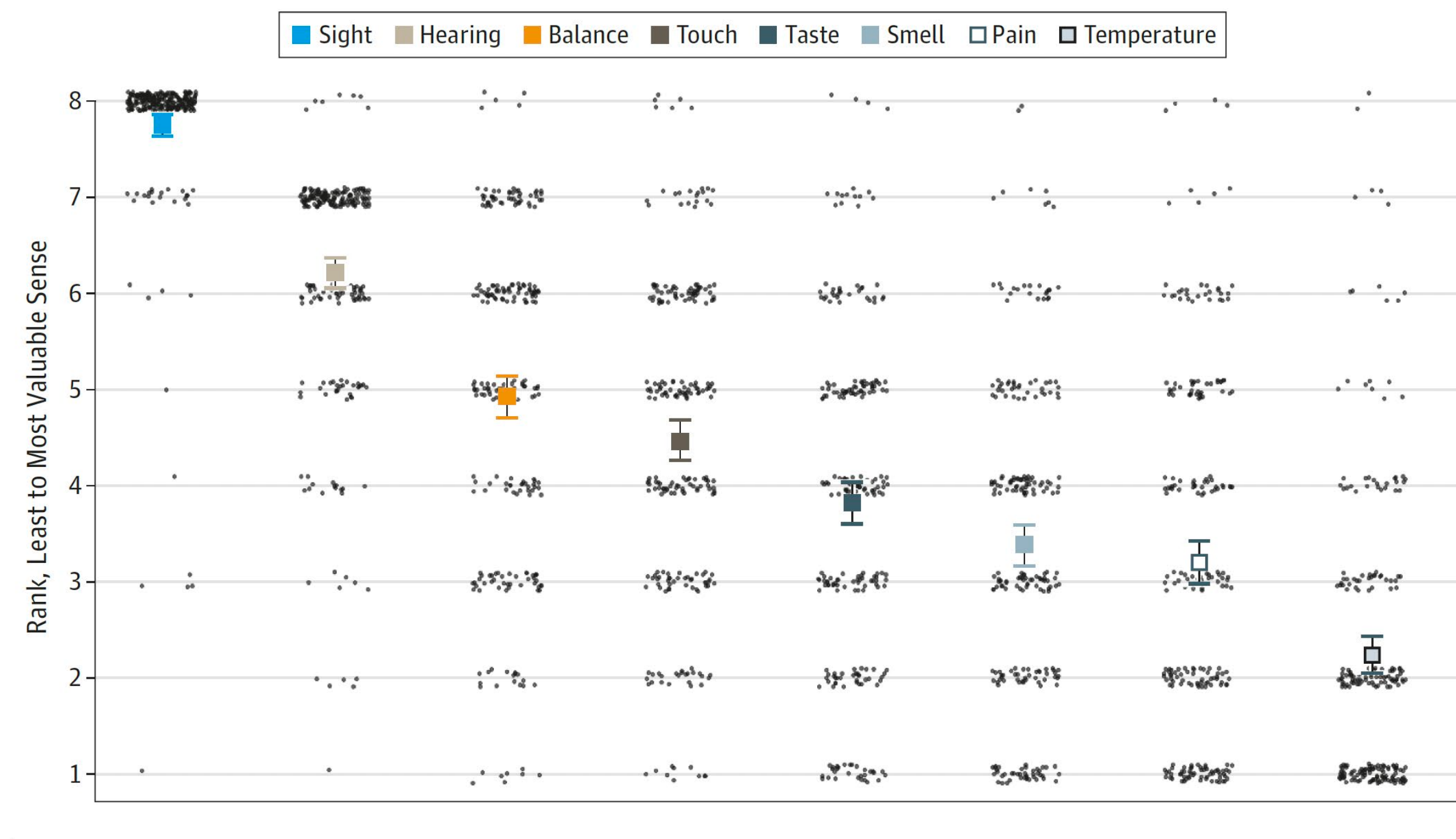
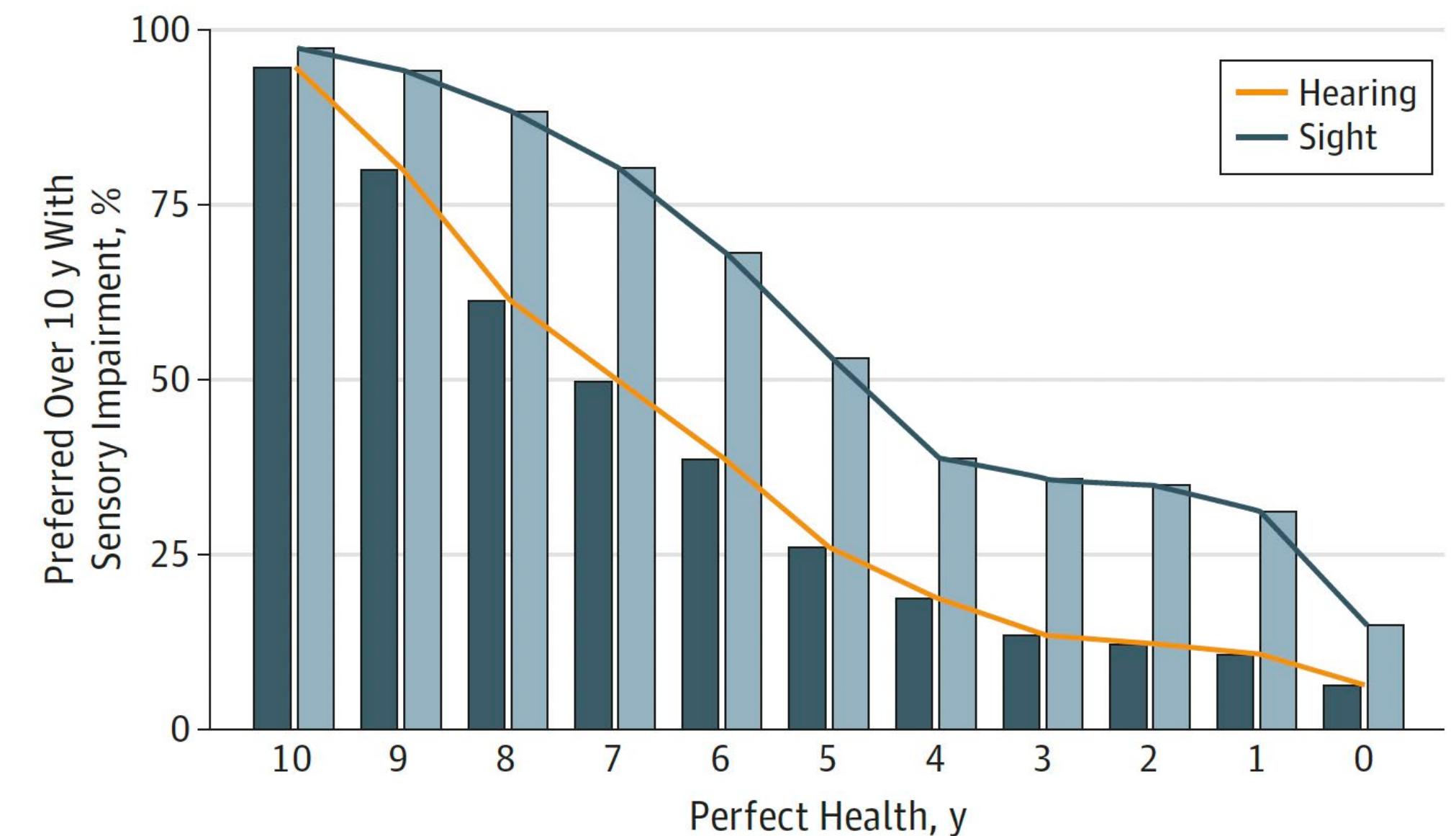


Figure 2. Responses to the Time Tradeoff (TTO) Exercise

A All participants



Alle Berufe, die sich mit der Verbesserung des Sehvermögens befassen, haben eine hohe Bedeutung für die Lebensqualität

Bedeutung der Augenheilkunde für die Gesellschaft

[Diabetes Care](#). 2018 Mar;41(3):478-484. doi: 10.2337/dc17-2031. Epub 2018 Jan 9.

Markedly Decreasing Incidence of Blindness in People With and Without Diabetes in Southern Germany.

[Claessen H](#)^{1,2,3}, [Kvitkina T](#)^{4,2,3}, [Narres M](#)^{4,2,3}, [Trautner C](#)⁵, [Zöllner I](#)⁶, [Bertram B](#)⁷, [Icks A](#)^{2,3}.

JAMA Ophthalmology | **Original Investigation**

Economic Value of Anti-Vascular Endothelial Growth Factor Treatment for Patients With Wet Age-Related Macular Degeneration in the United States

Karen Mulligan, PhD; Seth A. Seabury, PhD; Pravin U. Dugel, MD; Jill F. Blim, MS; Dana P. Goldman, PhD; Mark S. Humayun, MD, PhD

[N Z Med J](#). 2019 Aug 30;132(1501):73-78.

Expediting cataract surgery in New Zealand is cost-effective for falls prevention and improving vision-so what might be the next steps?

[Boyd M](#)¹, [Kho A](#)², [Wilson G](#)³, [Wilson N](#)⁴.

JOURNAL OF MEDICAL ECONOMICS
<https://doi.org/10.1080/13696998.2019.1646262>
Article 0075-RT.R1/1646262



ORIGINAL RESEARCH

OPEN ACCESS [Check for updates](#)

The cost burden of falls in people with glaucoma in National Health Service Hospital Trusts in the UK

Patrick McGinley^a, Ejaz Ansari^a, Harjit Sandhu^b and Tricia Dixon^c

^aMaidstone and Tunbridge Wells NHS Trust, Tunbridge Wells, UK; ^bGlaukos UK Ltd, London, UK; ^cJB Medical Ltd, Sudbury, UK

IVOM: Reduktion des Erblindungs-Risikos:
> 70%

Katarakt-OP: Reduktion von Stürzen: > 34%
Oberschenkelhalsbruch:
30% versterben innerhalb 1 J.

Glaukom: jeder 8. Sturz ist mitbedingt
durch ein Glaukom

***Hohe Patientenzahlen:
steigende Anforderung an zeitgerechte Versorgung, Diagnostik & Therapiesteuerung***

Intravitreale operative Medikamenteneingabe (IVOM)

Weltweit häufigster operativer Eingriff

Indikationen (häufigste):

Neovaskuläre altersabhängige Makuladegeneration (nAMD)

Diabetisches Makulaödem

Makulaödem bei retinalen Venenverschlüssen

Initiale Diagnosestellung:

Fluorescein-Angiografie & Optische Kohärenz-Tomografie (OCT)

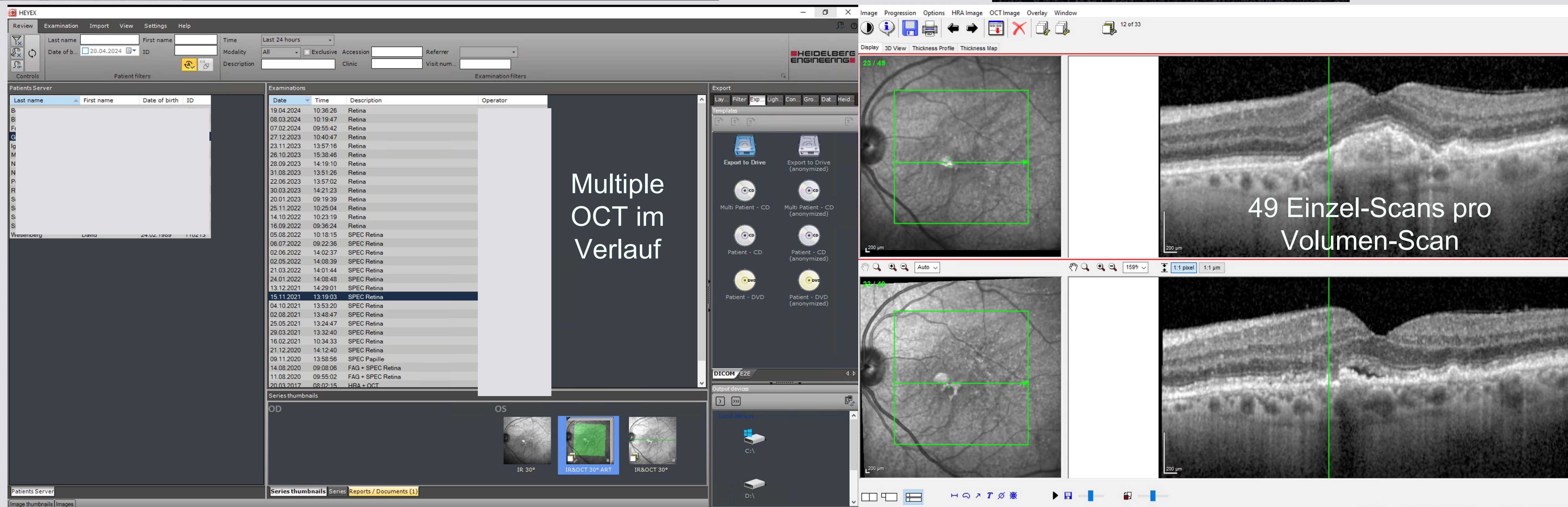
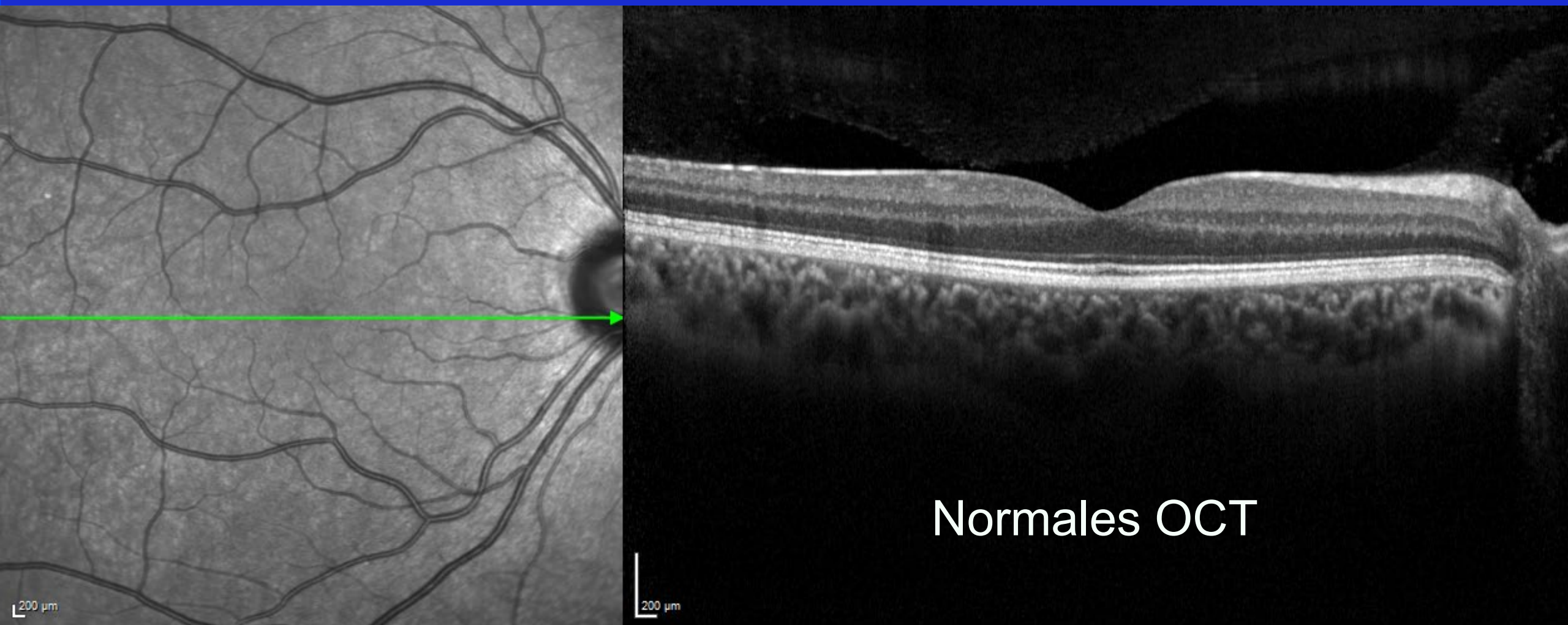
Verlaufskontrolle und Indikation zur Wiederbehandlung:

OCT

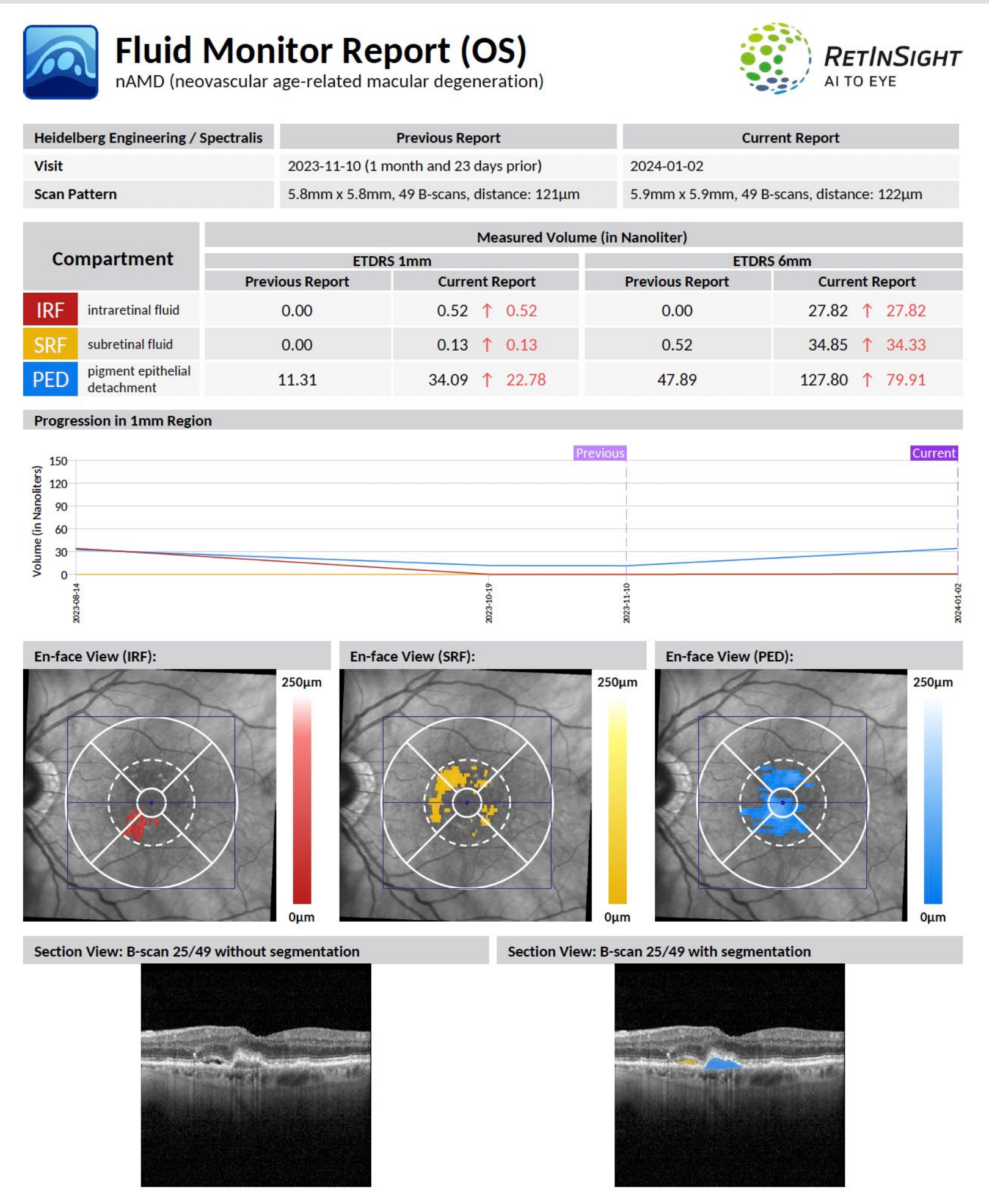
Frequenz:

Bei konsequenter Therapie innerhalb von 10 Jahren im Mittel 53 IVOM bei nAMD
davon: Visus $\geq 0,3$ in 67%, $\geq 0,5$ in 40%

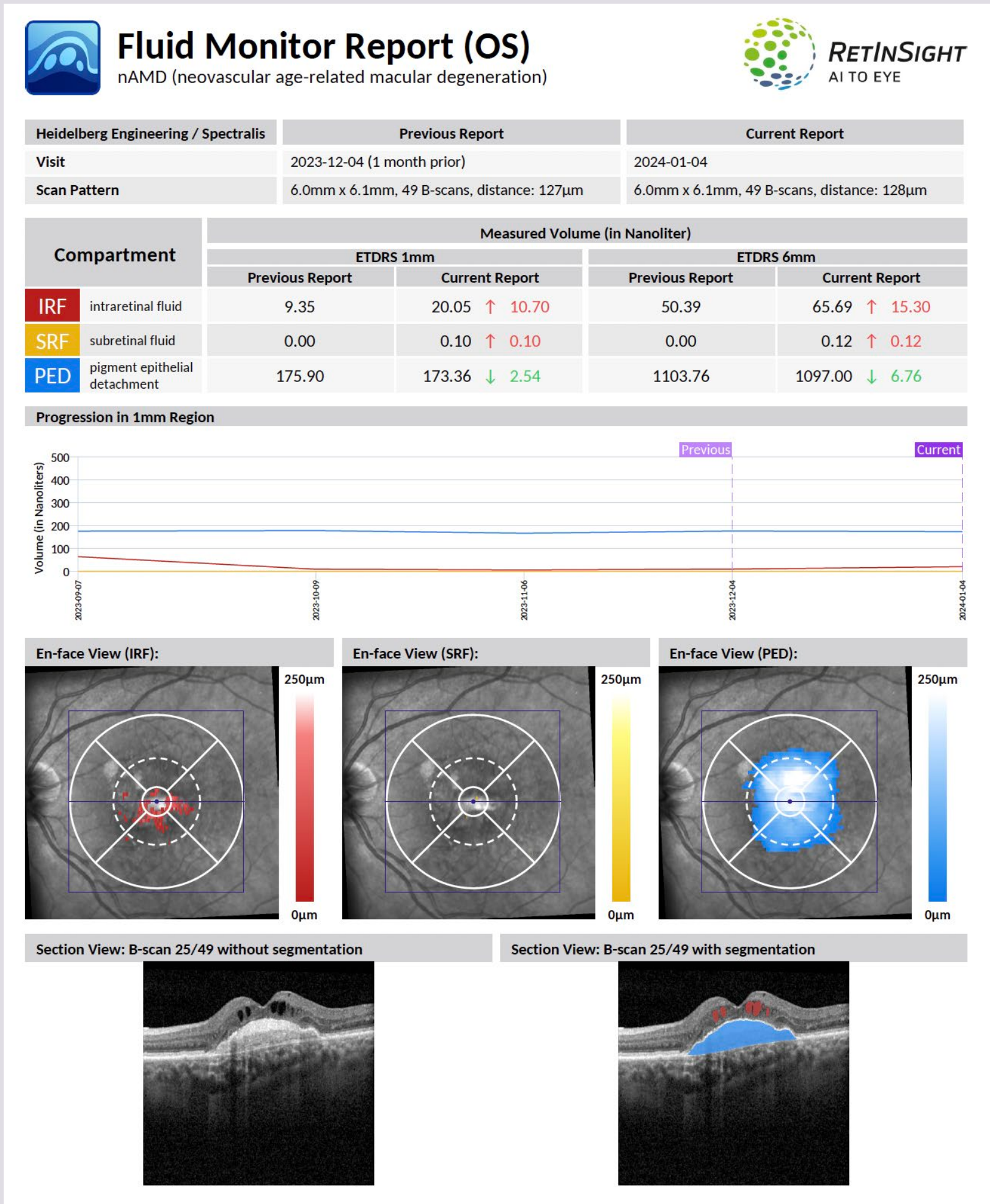
IVOM: OCT-Verlaufskontrolle



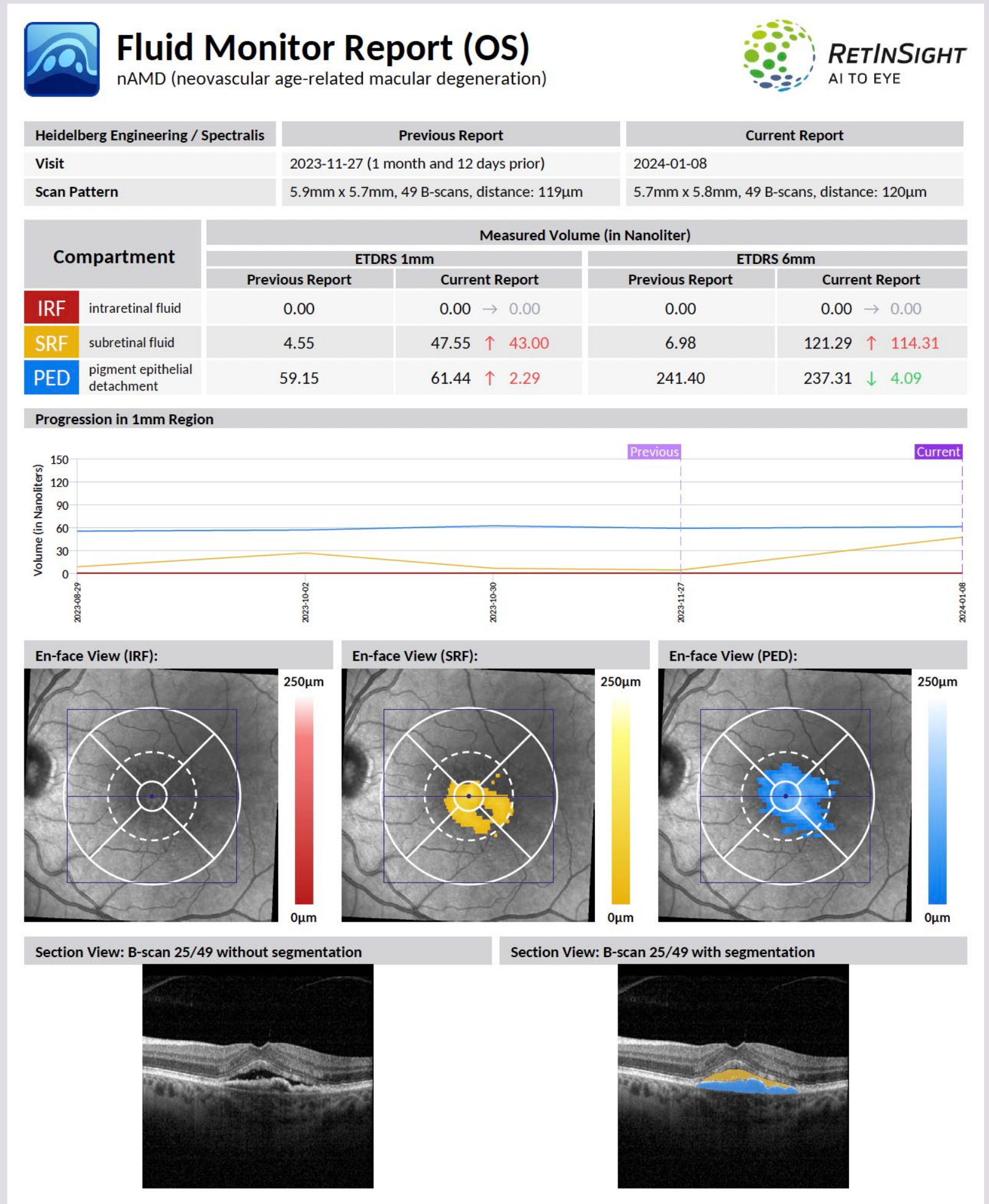
KI-basierte OCT-Beurteilung bei IVOM bei neovaskulärer AMD



Im Verlauf Abnahme der IRF, erst Abnahme, dann wieder Zunahme der PED



Im Verlauf Abnahme der IRF, zuletzt wieder Zunahme der IRF

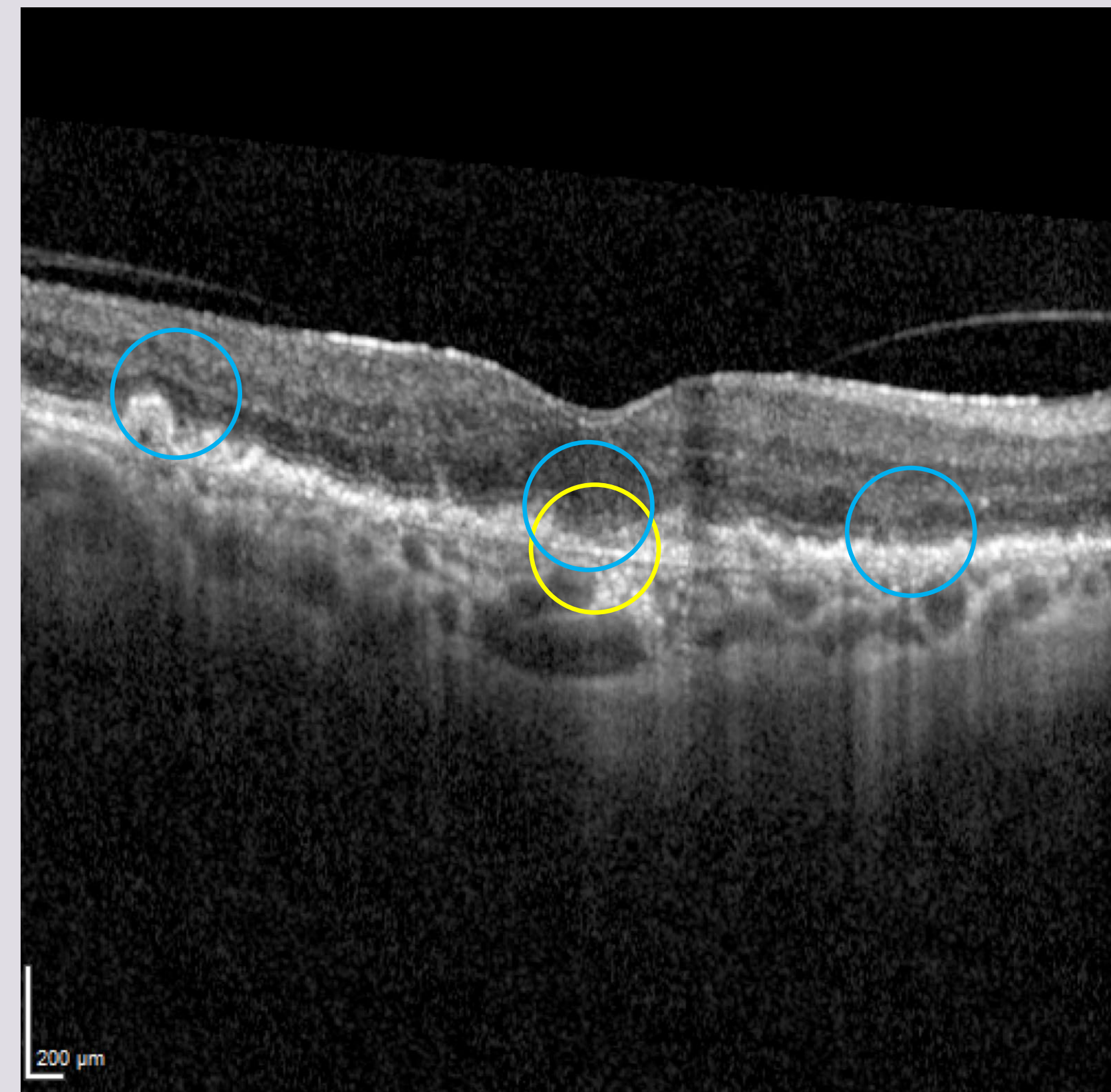
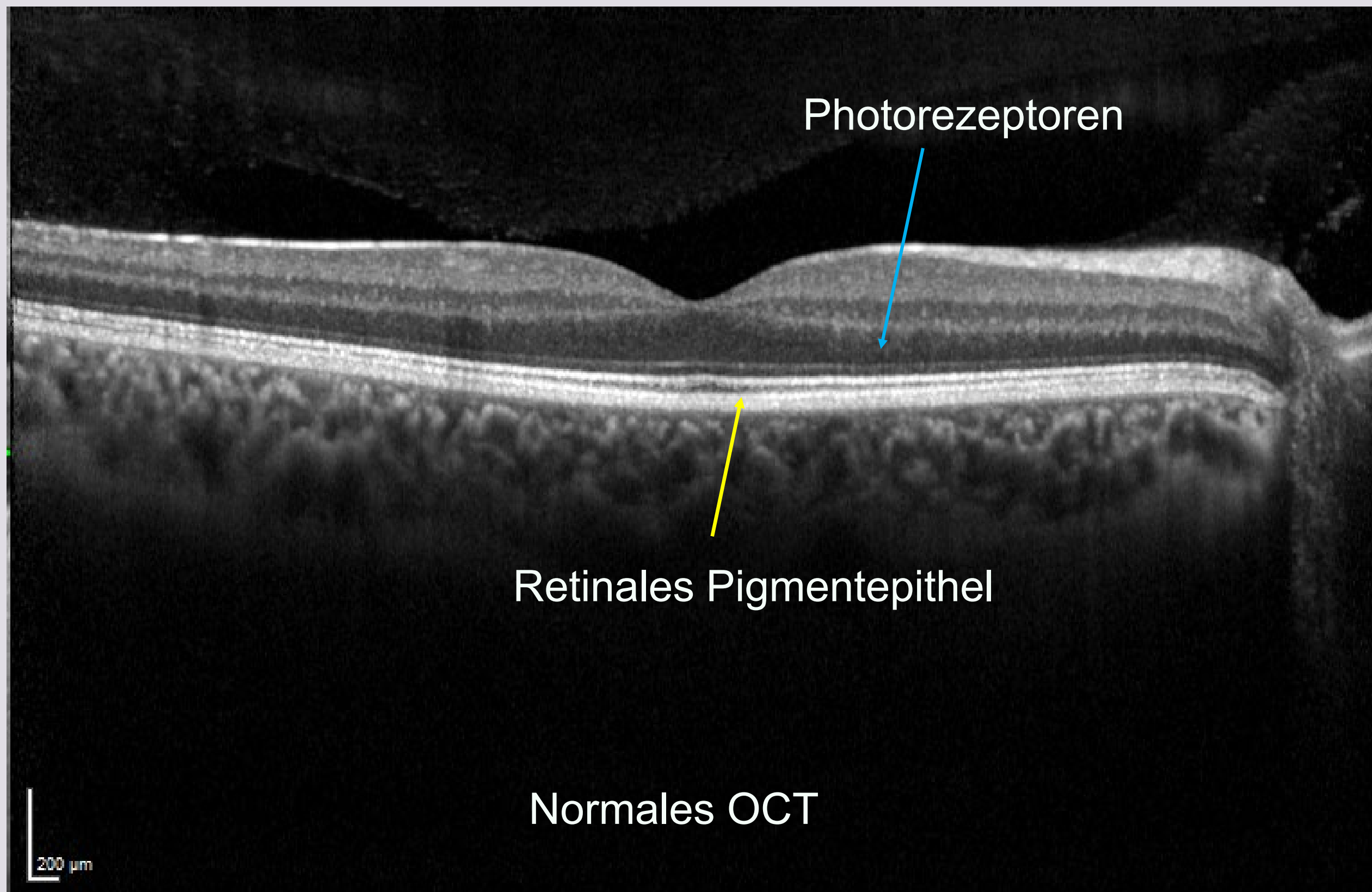


Zunahme SRF nach krankheitsbedingt verlängertem IVOM-Intervall

Quantifizierung und Langzeitverlauf über viele IVOMs verbessern die Basis für klinische Entscheidungen

Geographische Atrophie (GA, Spätform der „trockenen“ AMD)

Zuerst Verlust von Photorezeptoren
anschließend Verlust von retinalem Pigmentepithel (RPE)

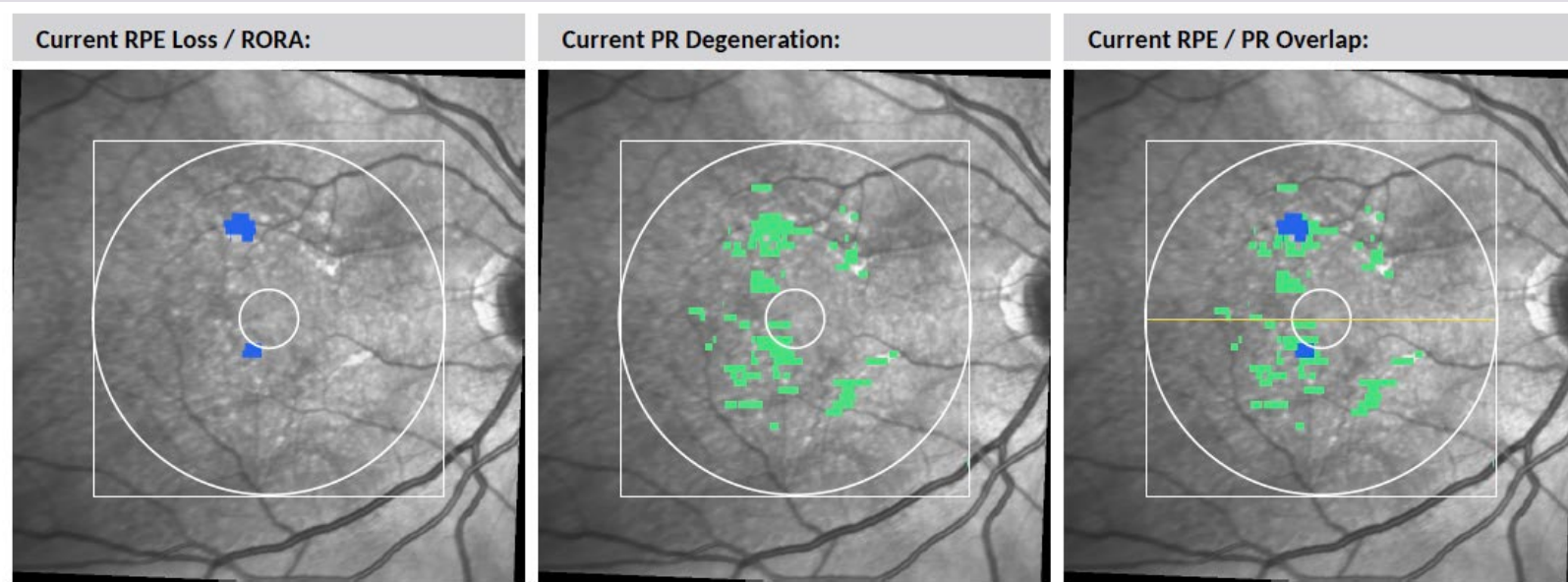


Consensus Definition for Atrophy Associated with Age-Related Macular Degeneration on OCT

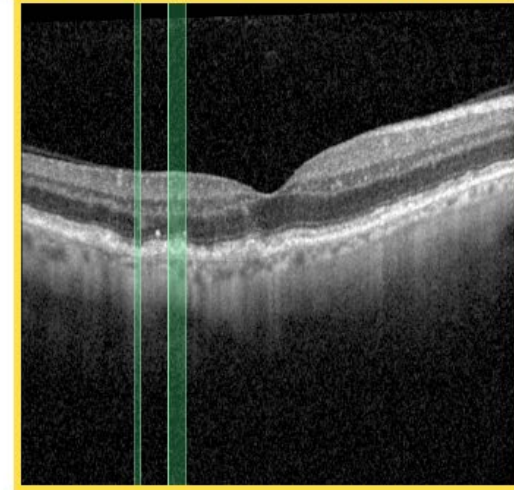
Classification of Atrophy Report 3

Srinivas R. Sadda, MD,¹ Robyn Guymer, MBBS, PhD,² Frank G. Holz, MD,³ Steffen Schmitz-Valckenberg, MD,⁴ Christine A. Curcio, PhD,⁵ Alan C. Bird, MD,⁶ Barbara A. Blodi, MD,⁶ Ferdinando Botto, MD, FEBO,⁷ Usha Chakravarthy, MD, PhD,⁸ Emily Y. Chew, MD,⁹ Karl Csaky, MD,¹⁰ Ronald P. Davis, MD,¹¹ Monika Fleckenstein, MD,¹² K. Bailey Freund, MD,¹³ Juan Granados, MD,¹⁴ Carol B. Hoyng, MD, PhD,¹⁵ Glenn J. Jaffe, MD,¹⁶ Sandra Liskopulos, MD,¹⁷ Joni M. Mones, MD, PhD,¹⁸ Daniel Pasterkamp, MD,¹⁹ Philip J. Rosenfeld, MD, PhD,²⁰ David Sarraf, MD,²¹ Richard F. Spade, MD,²² Ramin Tadayoni, MD, PhD,²³ Adnan Tufail, MD, FRCOphth,²⁴ Sebastian Wolf, MD, PhD,²⁵ Giovanni Staurenghi, MD, FARVO²⁶

KI-basierte OCT-Beurteilung GA: Progression über 5 Jahre

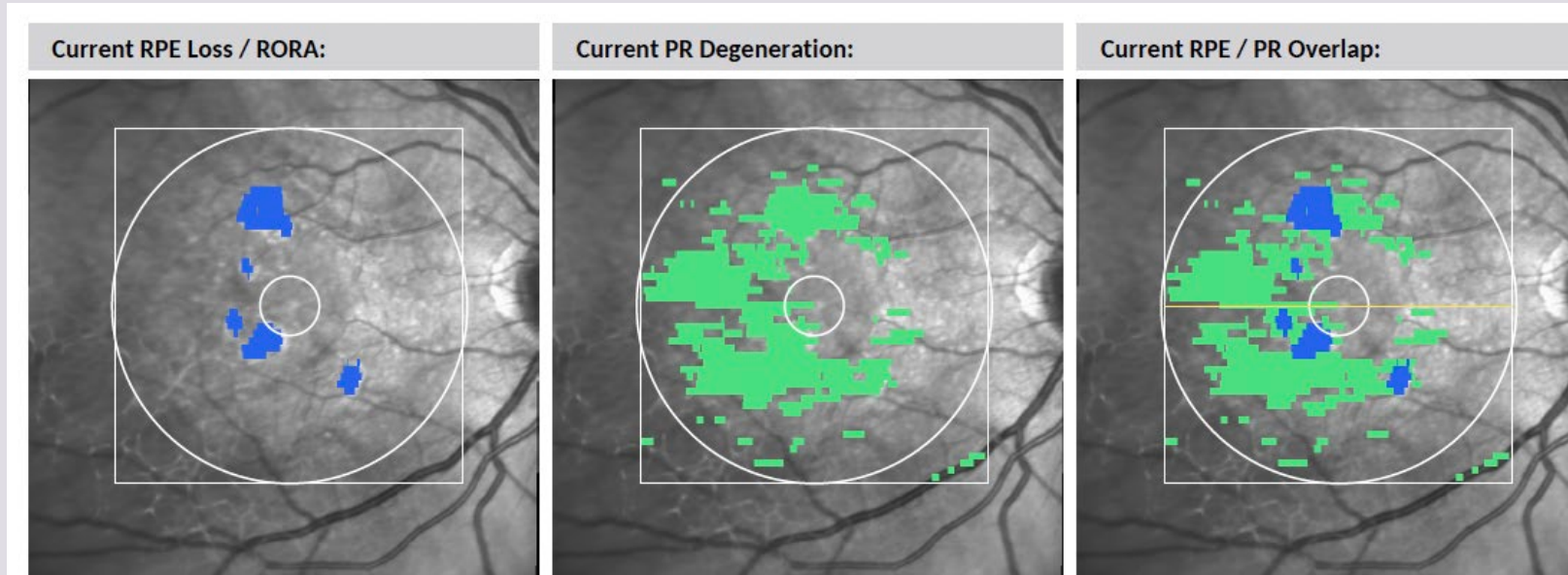


Section View: B-scan 25/49 with Segmentation

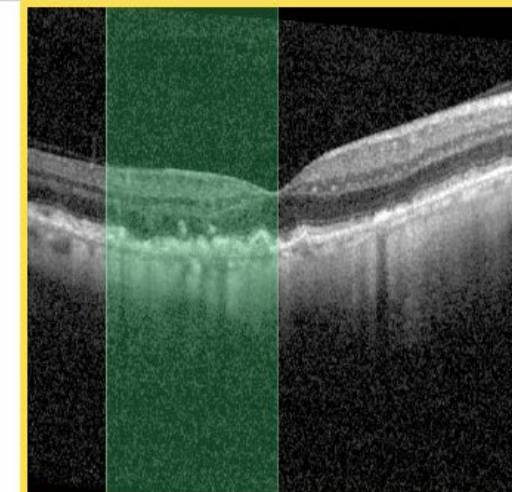


**Progressionsrisiko
identifizieren**

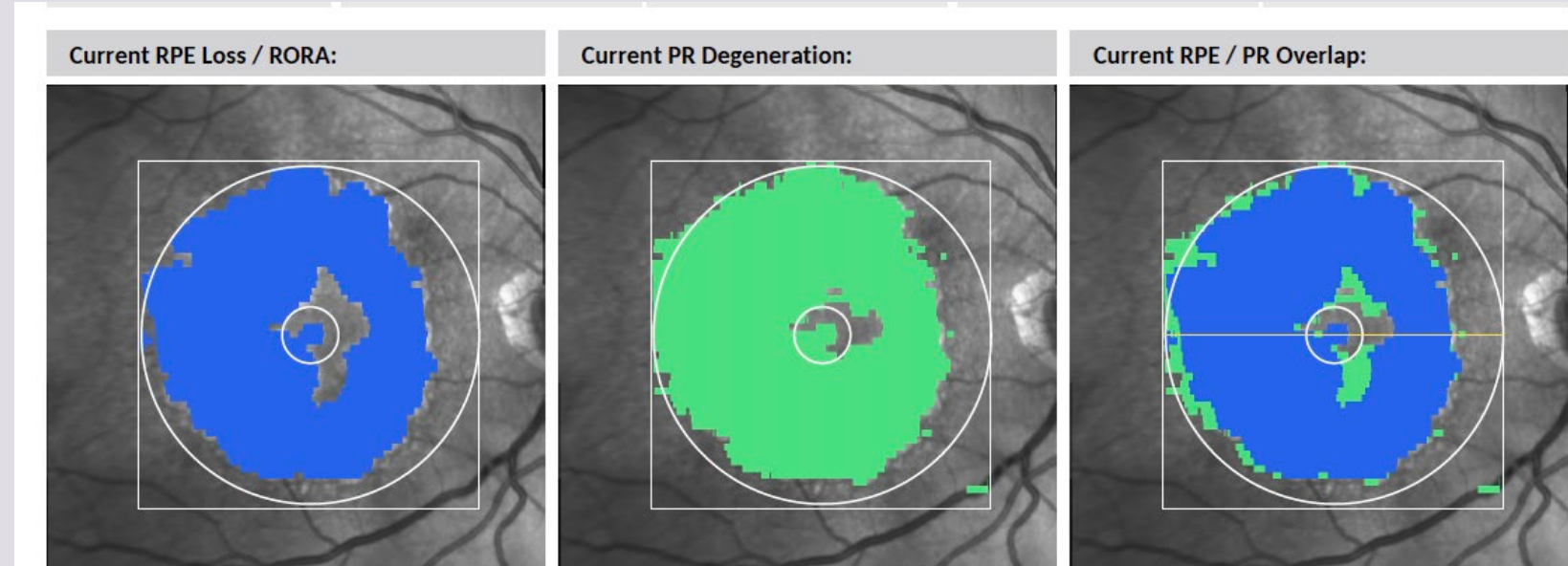
2018_09: 0,6



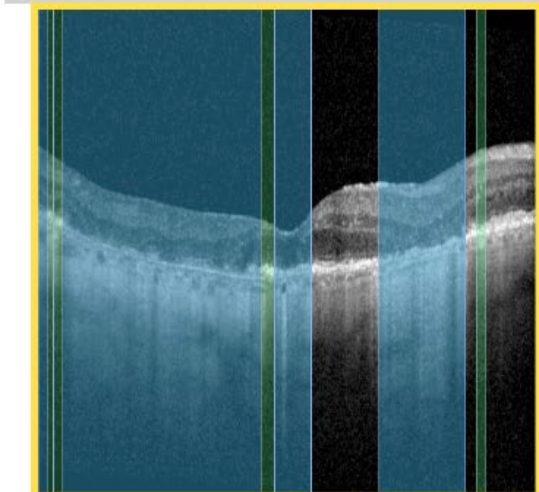
Section View: B-scan 25/49 with Segmentation



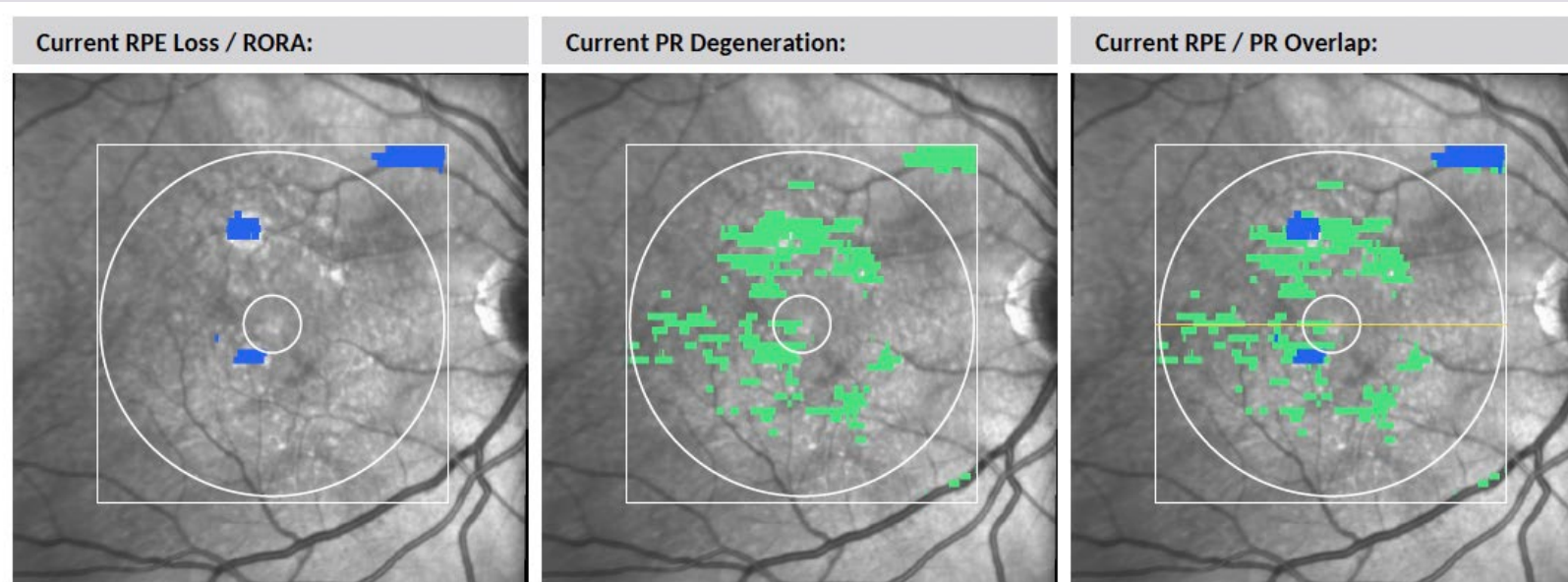
2019_06: 0,5



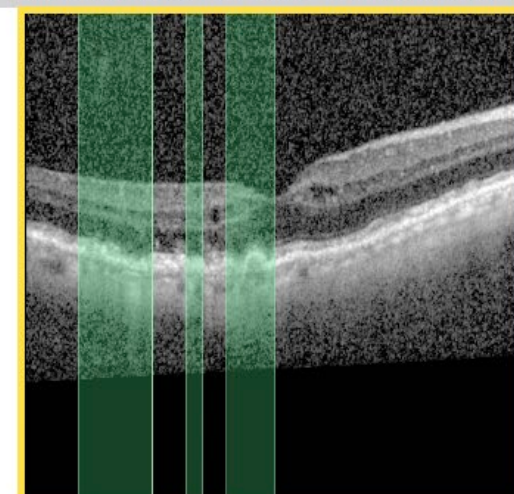
Section View: B-scan 25/49 with Segmentation



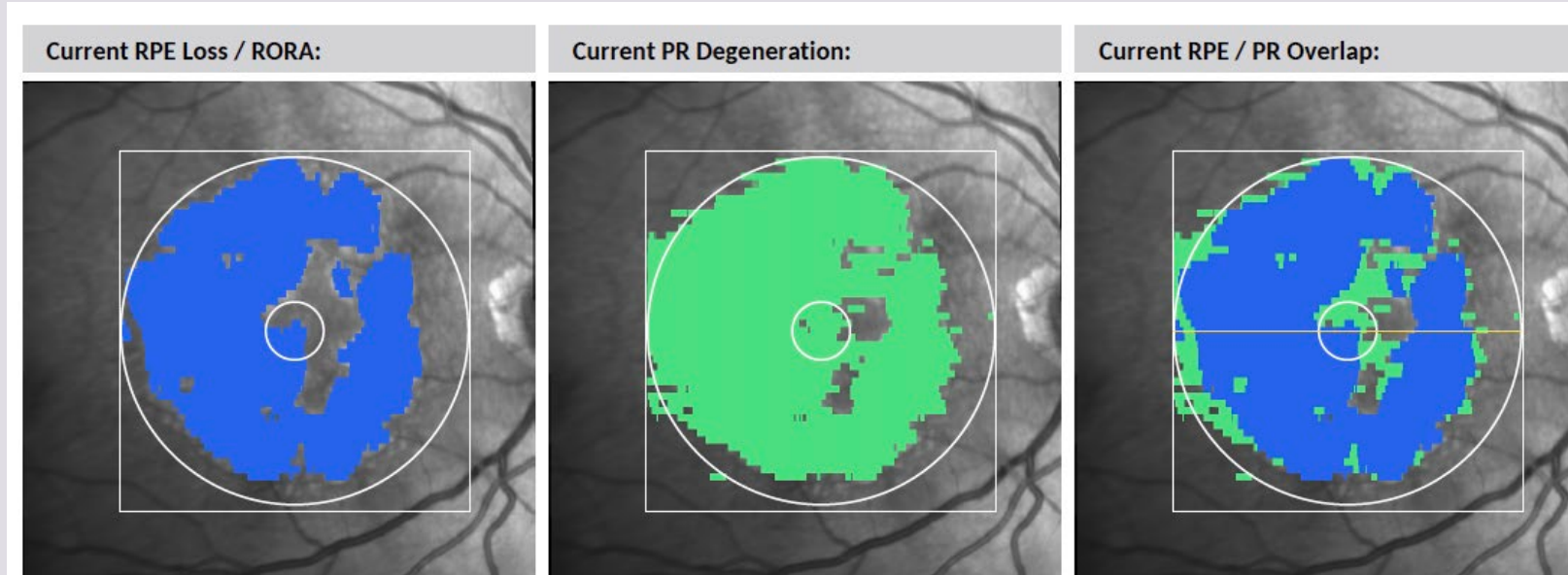
2023_1: 0,05



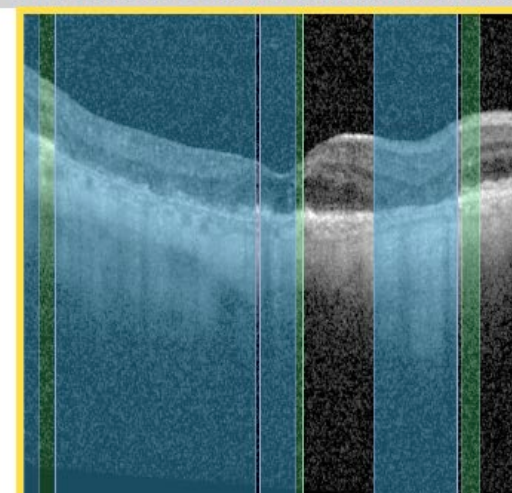
Section View: B-scan 25/49 with Segmentation



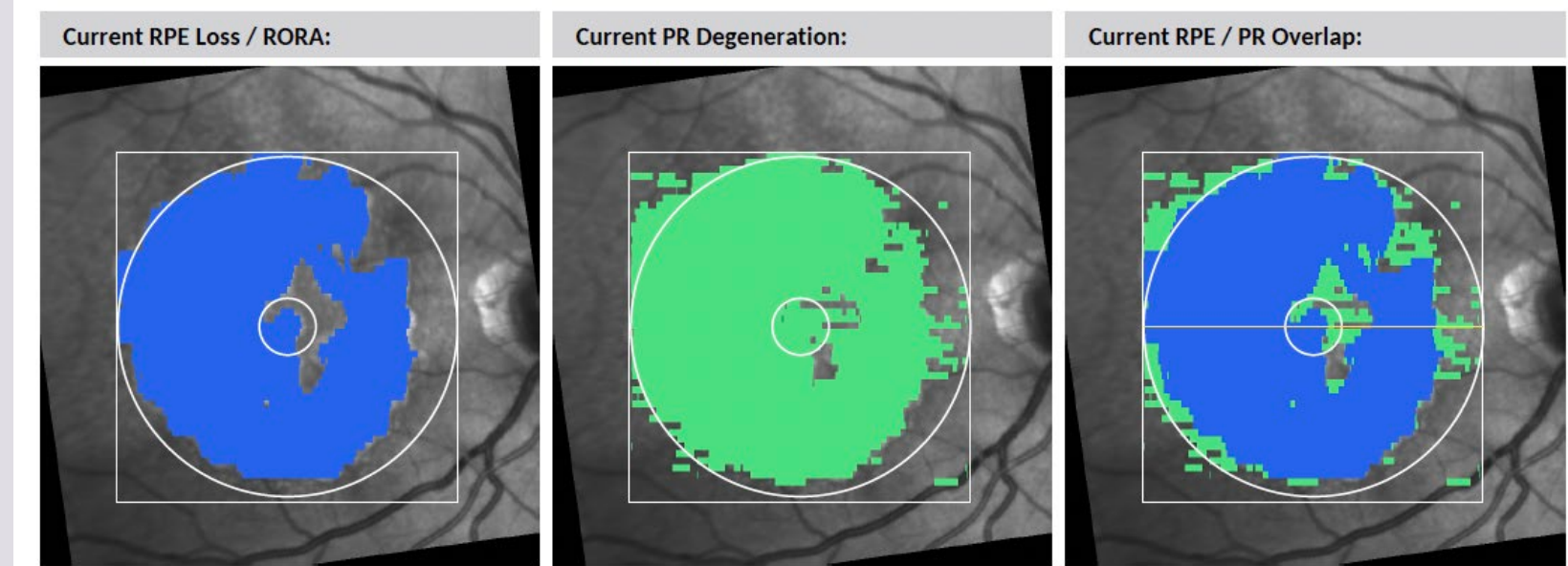
2019_01: 0,5



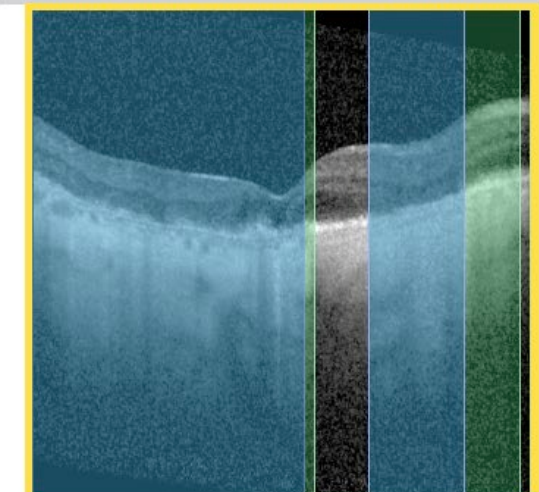
Section View: B-scan 25/49 with Segmentation



2022_11: 0,05



Section View: B-scan 25/49 with Segmentation



2023_11: 0,04

Zwei CE-zertifizierte KI-Anwendungen zur Diagnose-Unterstützung

KI-Lösungen erweitern und standardisieren durch die Quantifizierung von Strukturveränderungen
die Bewertung von OCT-Befunden

Die detaillierte Vermessung und vergleichende Datenauswertung im Verlauf ergeben innerhalb von Minuten Informationen, die Ärzte in keiner anderen Weise erfassen können und verbessern die Basis für eine Therapieentscheidung erheblich

Voraussetzung für die Nutzung von KI-Lösungen sind:

Qualifizierte Aufnahmen in standardisierter Aufnahmetechnik

Ein Verständnis für die Möglichkeiten und Grenzen der KI

Die Weiterentwicklung der KI verlangt einen kontinuierlichen Austausch zwischen erfahrenen Anwendern und KI-Entwicklern

Derzeit nur mit dem OCT eines spezifischen Herstellers verfügbar

Was ist eigentlich KI?

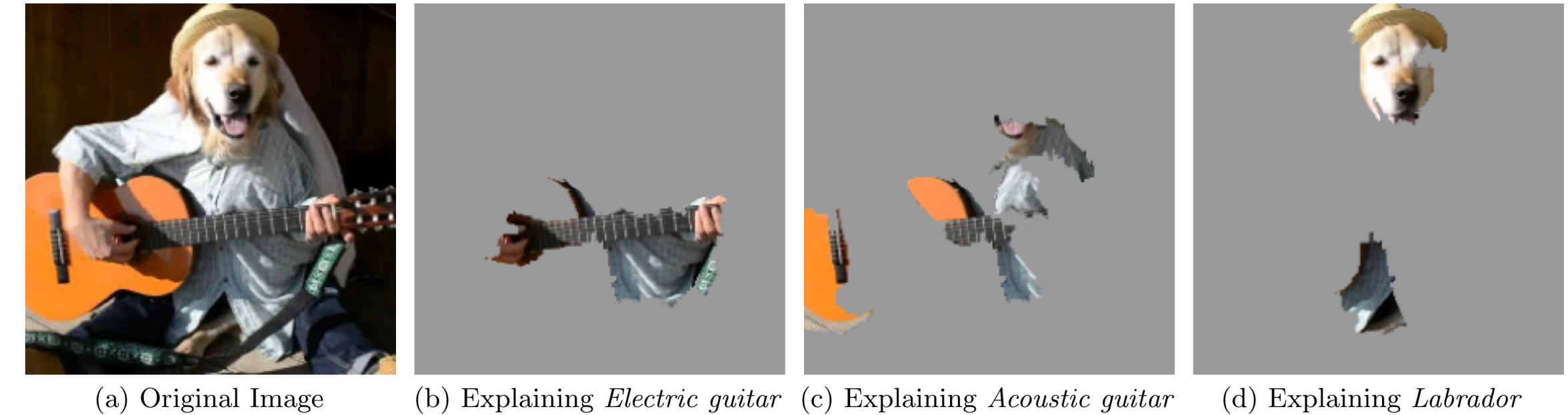
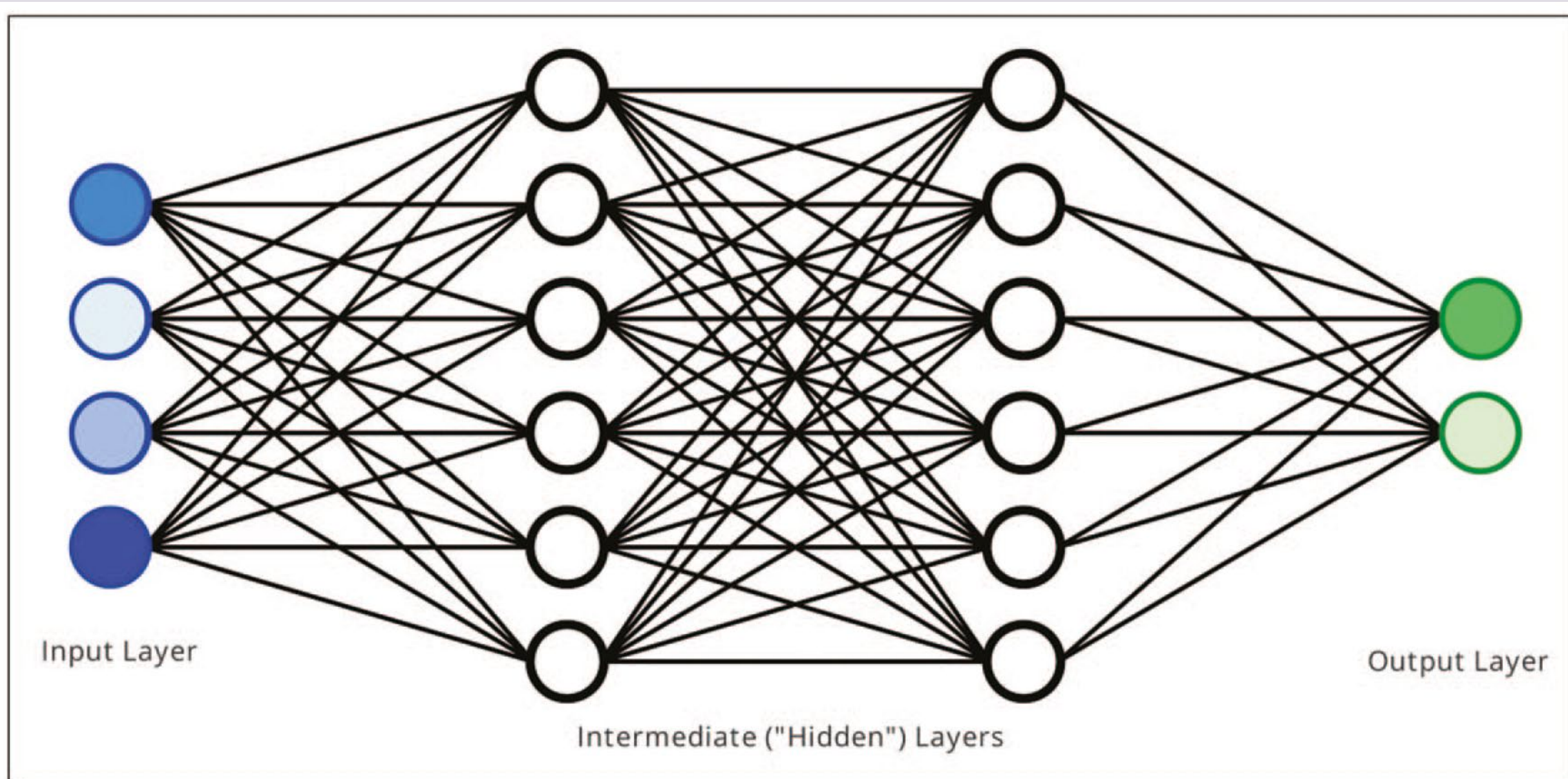
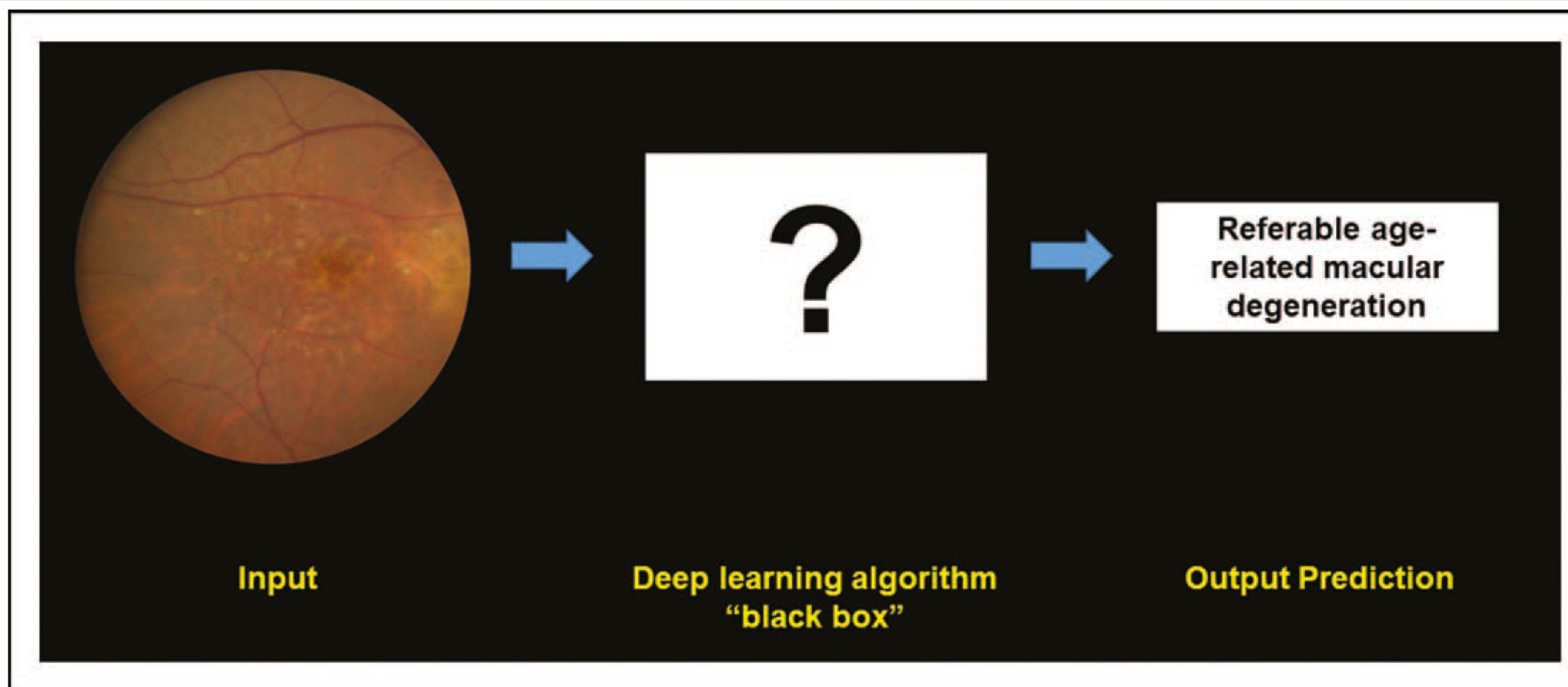


Figure 4: Explaining an image classification prediction made by Google's Inception neural network. The top 3 classes predicted are "Electric Guitar" ($p = 0.32$), "Acoustic guitar" ($p = 0.24$) and "Labrador" ($p = 0.21$)



“Why Should I Trust You?” Explaining the Predictions of Any Classifier

2017

Marco Tulio Ribeiro
University of Washington
Seattle, WA 98105, USA
marcotcr@cs.uw.edu

Sameer Singh
University of Washington
Seattle, WA 98105, USA
sameer@cs.uw.edu

Carlos Guestrin
University of Washington
Seattle, WA 98105, USA
guestrin@cs.uw.edu

Denn wir wissen nicht was Menschen tun

Denn wir wissen nicht was KI tut

KI: Anforderungen

Es gibt nicht eine „KI“, sondern multiple Anwendungen für begrenzte Fragestellungen

KI extrem abhängig vom Datenmaterial für das Training: Offenlegung erforderlich

Nachvollziehbarkeit einer KI-Entscheidung muss gegeben sein

Definition der Krankheitsschwelle („referrable disease“) ist wesentlich und kann in verschiedenen Gesundheitssystemen unterschiedlich sein

Validierung der Daten in verschiedenen Ethnien, ggf. mit verschiedenen Gerätetechniken und in verschiedenen Gesundheitssystemen im klinischen Alltag erforderlich

Begrenzte Datenbasis bei seltenen Augenerkrankungen und Augenerkrankungen, die ohne Bildgebung erfasst werden

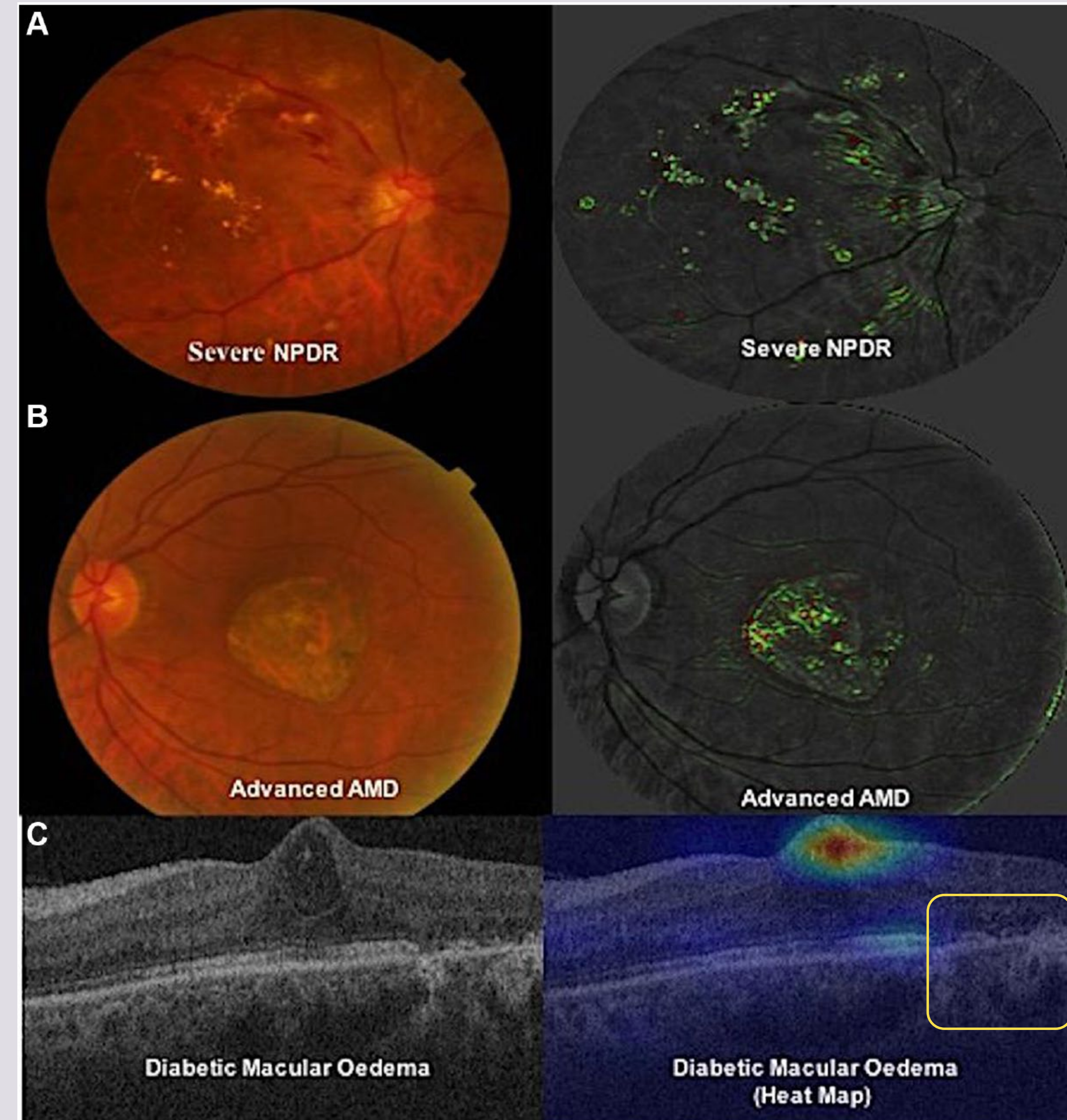
KI: Training & Nachvollziehbarkeit

Nachvollziehbarkeit

Eine Heat-Map identifiziert Läsionen, die Grundlage für eine KI-Entscheidung sind

Training

Diese KI ist auf Diabetisches Makulaödem trainiert, erkennt daher im gleichen Scan nicht Veränderungen in Zusammenhang mit einer AMD = KI-Auswertungen sind immer abhängig vom Training der KI



KI: Fehlklassifikation

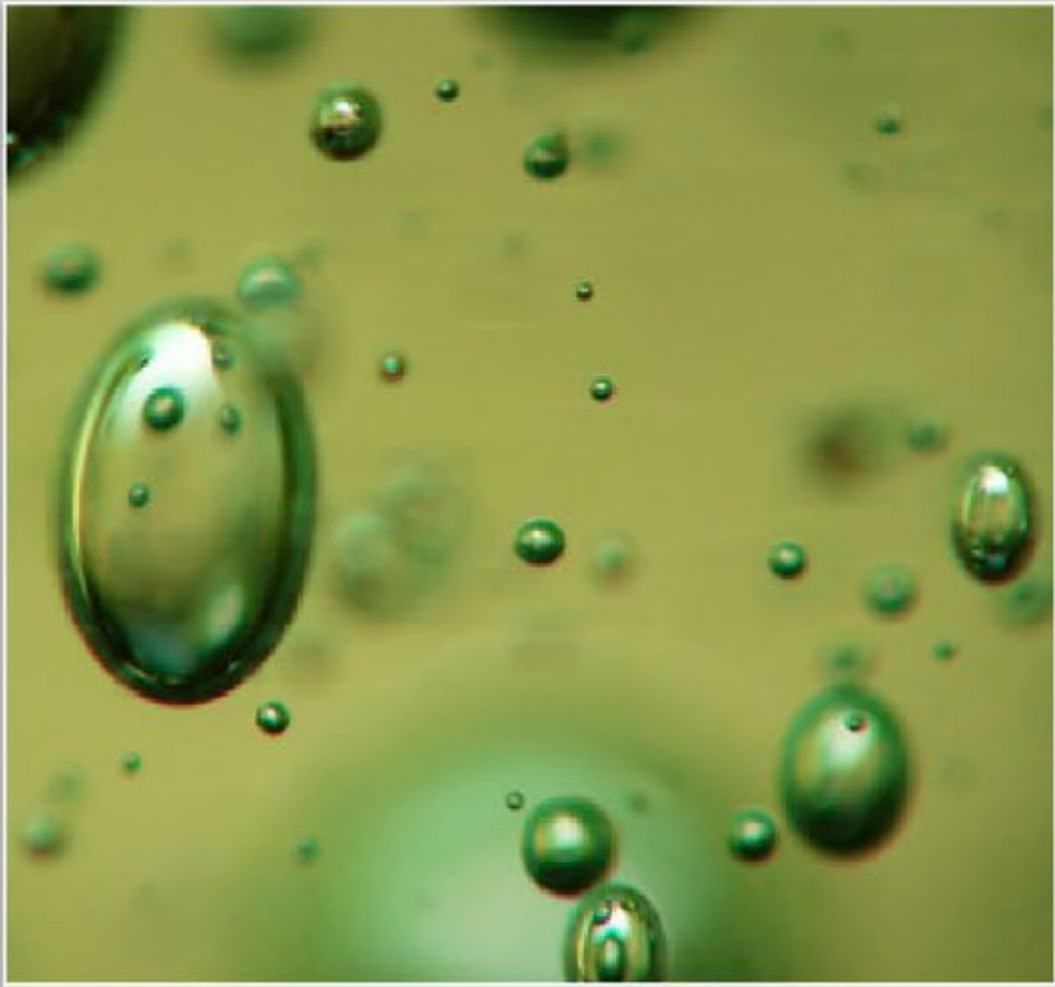
Journal of Vision (2023) 23(4):4, 1–15

1

When will AI misclassify? Intuiting failures on natural images

Makaela Nartker*	Department of Psychological & Brain Sciences, Johns Hopkins University, Baltimore, MD, USA	✉
Zhenglong Zhou*	Department of Psychology, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA, USA	✉
Chaz Firestone	Department of Psychological & Brain Sciences, Johns Hopkins University, Baltimore, MD, USA	✉

A Blasen



B Schmetterling

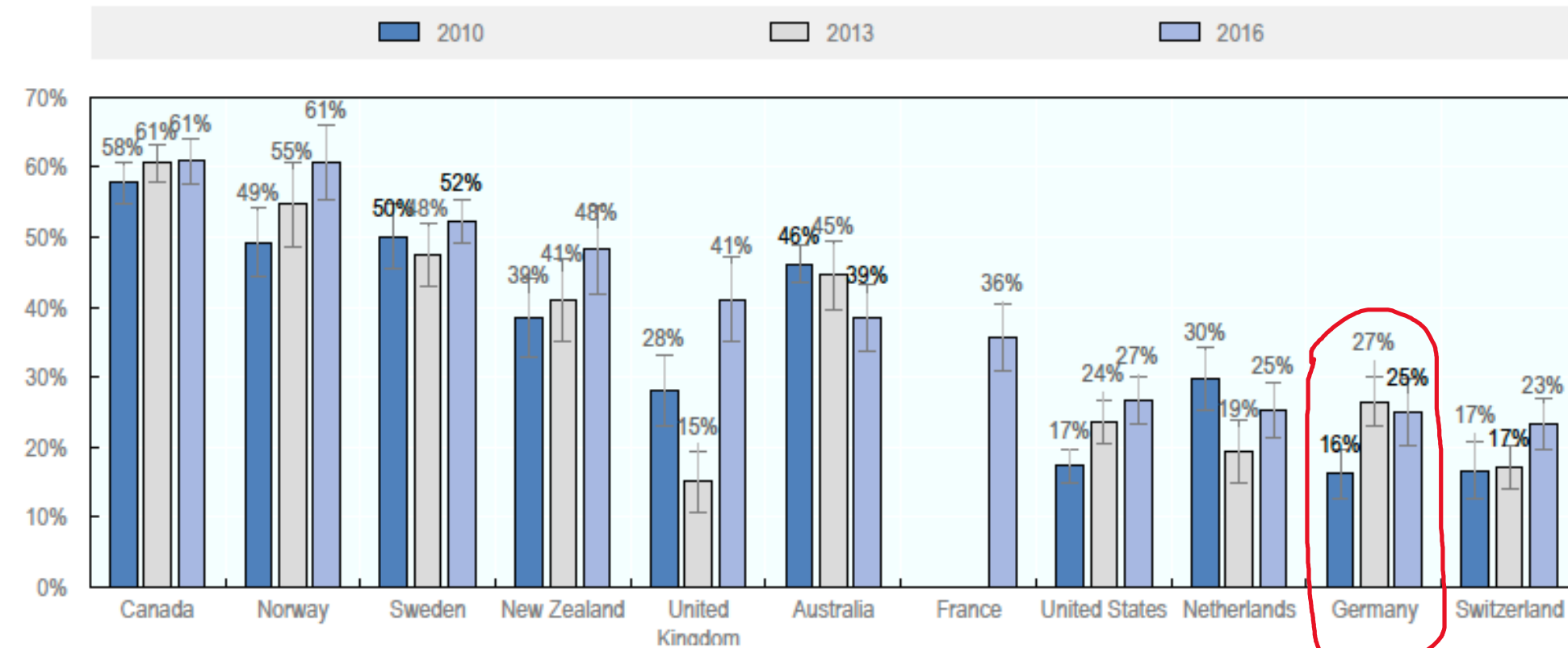


C Schulbus



Wir sind nicht allein auf dieser Welt

Figure 2.2. The share of people waiting one month or more for a specialist appointment is two-times greater in some countries than in others

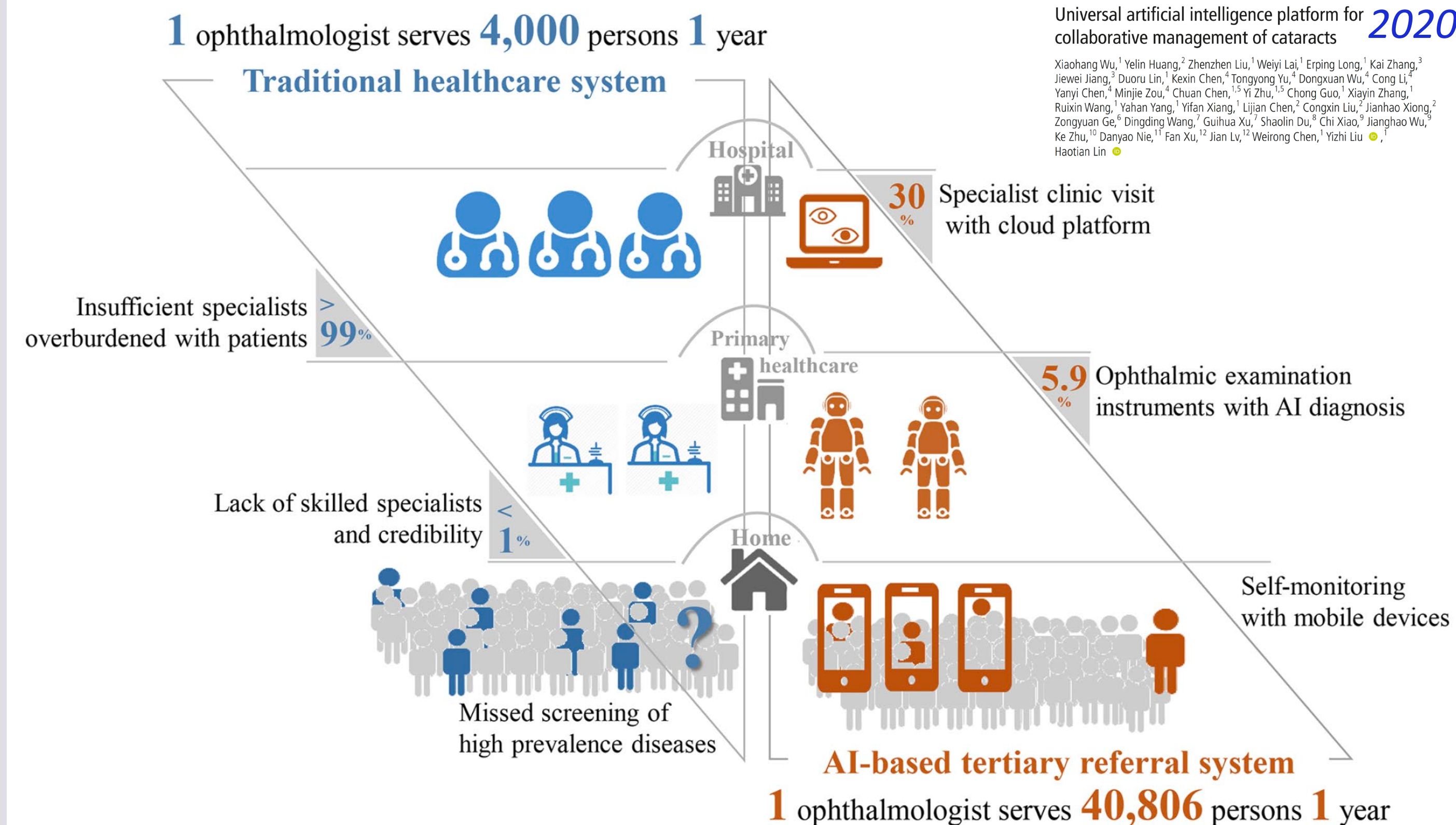


Note: 95% confidence intervals are shown by H.

Source: OECD calculations based on 2013 and 2016 Commonwealth Fund International Health Policy Surveys.

Nur Industrie-Länder:

Der Zugang zu Spezialisten in Deutschland ist schnell



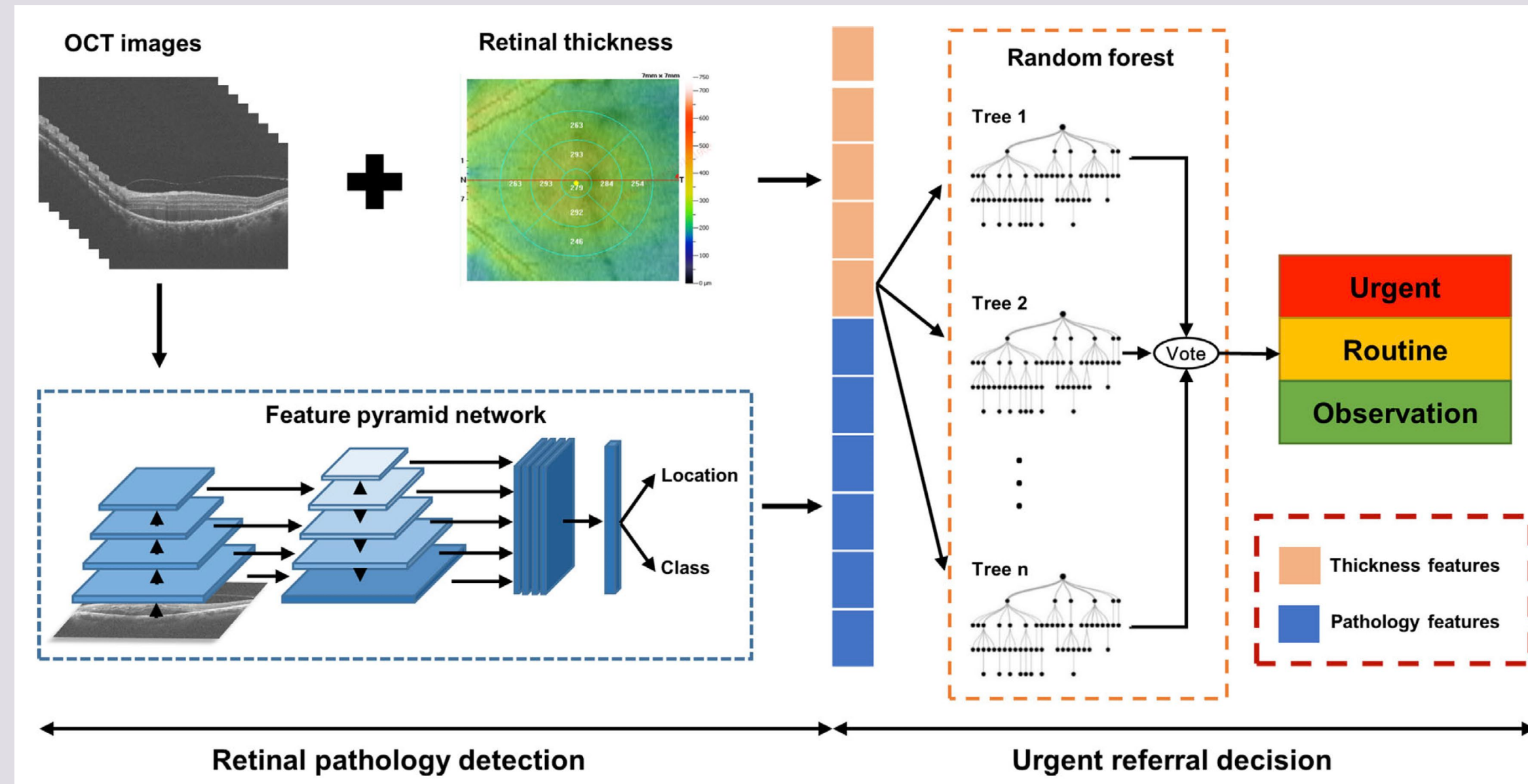
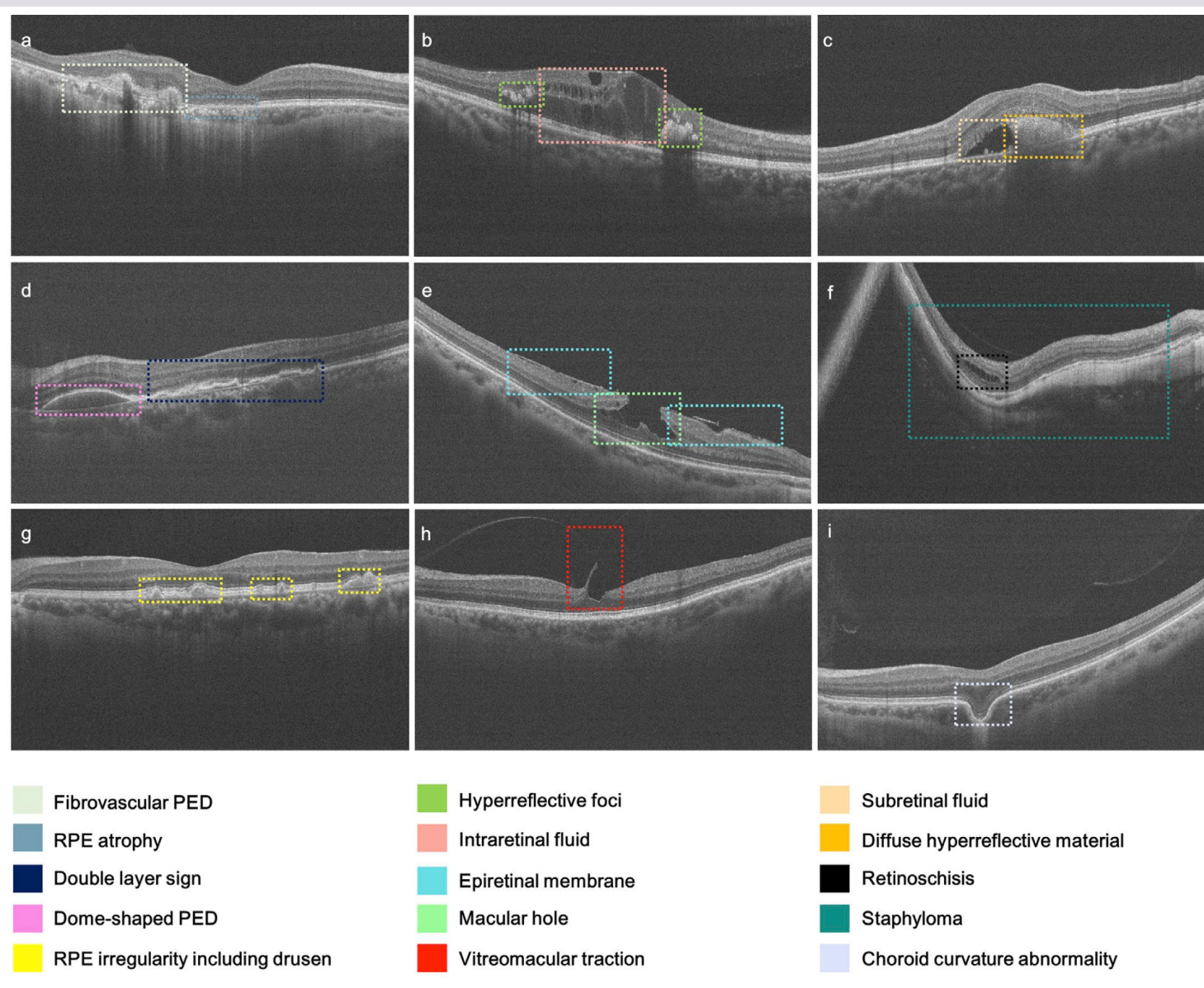
KI-Perspektiven abhängig vom Gesundheitssystem:

Zuweisung vom Augenarzt an spezialisiertes Zentrum

Zuweisung vom Optometristen an spezialisierten Augenarzt

Keine Zuweisung da kein Optometrist/Augenarzt erreichbar

Gut geplante/getestete KI funktioniert



EENT-Test

OCT (images only) Predicted referral

	Observation	Routine	Urgent
Gold standard referral			
Observation	378	3	0
Routine	11	229	9
Urgent	0	14	312

OCT (images and retinal thickness) Predicted referral

	Observation	Routine	Urgent
Gold standard referral			
Observation	374	7	0
Routine	5	240	4
Urgent	0	2	324

TENTH-Test

OCT (images only) Predicted referral

	Observation	Routine	Urgent
Gold standard referral			
Observation	294	2	0
Routine	10	185	6
Urgent	0	12	245

OCT (images and retinal thickness) Predicted referral

	Observation	Routine	Urgent
Gold standard referral			
Observation	291	5	0
Routine	3	194	4
Urgent	0	3	254

tvst
Special Issue
2020

An Intelligent Optical Coherence Tomography-based System for Pathological Retinal Cases Identification and Urgent Referrals

Lilong Wang¹, Guanzheng Wang¹, Meng Zhang², Dongyi Fan¹, Xiaoqiang Liu³, Yan Guo¹, Rui Wang¹, Bin Lv¹, Chuanfeng Lv¹, Jay Wei⁴, Xinghuai Sun², Guotong Xie¹, and Min Wang²

Bewertung von OCT-Pathologie & Netzhautdicke

Evaluierung in zwei Krankenhäusern (Beijing & Shanghai)

Voraussetzung:
Menschen haben Zugang zu einem OCT

Translational Relevance: This intelligent system has great value and practicability in communities where exist increasing cases of retinal disease and a lack of ophthalmologists.

Nachvollziehbarkeit der KI-Entscheidung

KI: Screening-Strategien

Screening in Notfall-Settings, in unterversorgten Regionen, mit unterschiedlich verfügbaren Technologien, zur Früherkennung häufiger, das Sehen langfristig bedrohender Erkrankungen

Smartphone



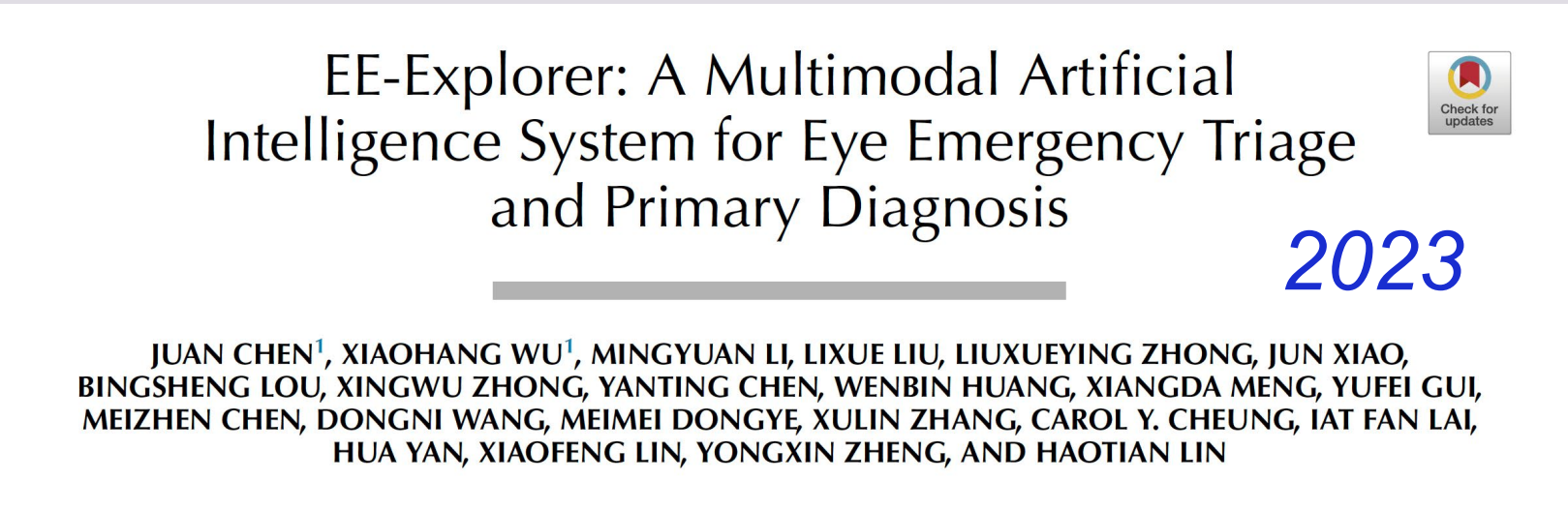
Review article

Review of smartphone funduscopy for diabetic retinopathy screening

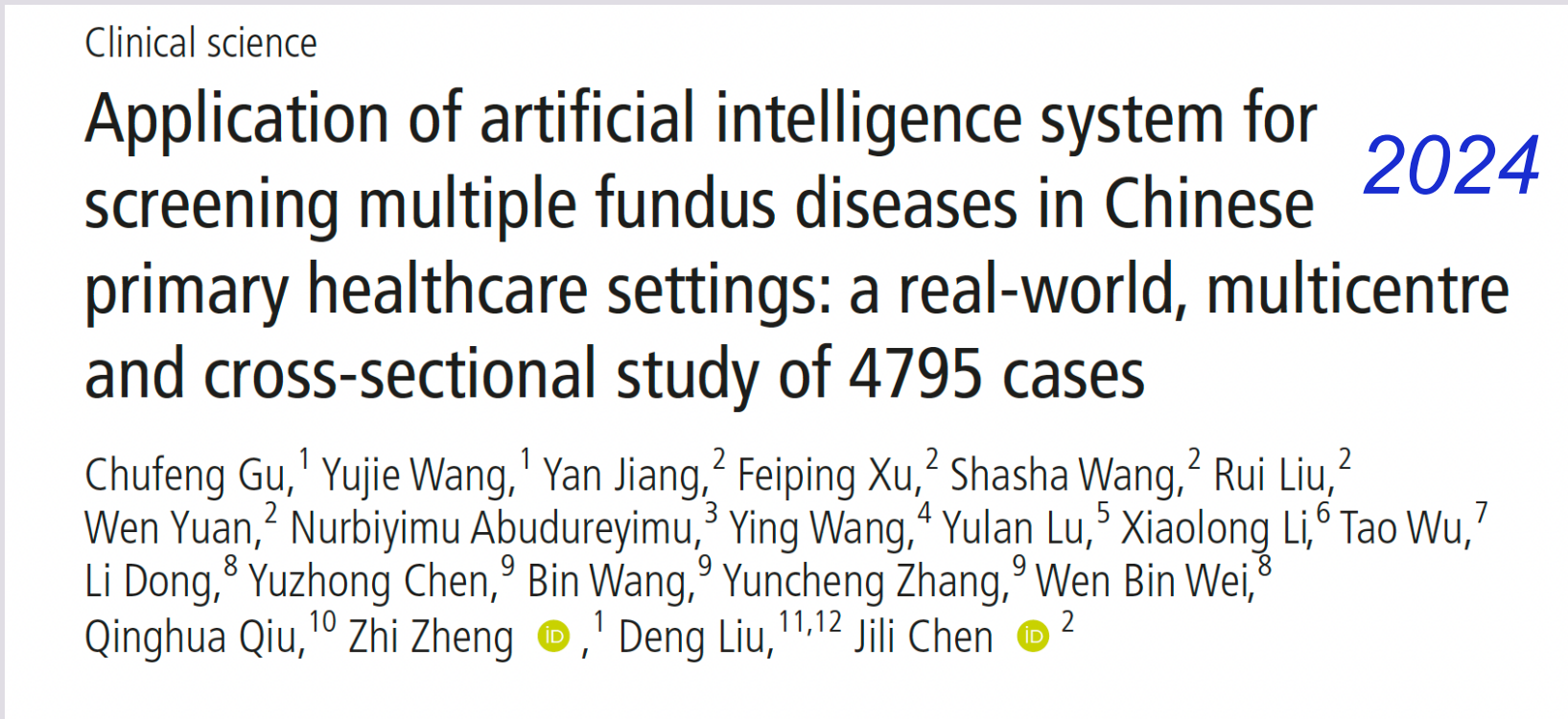
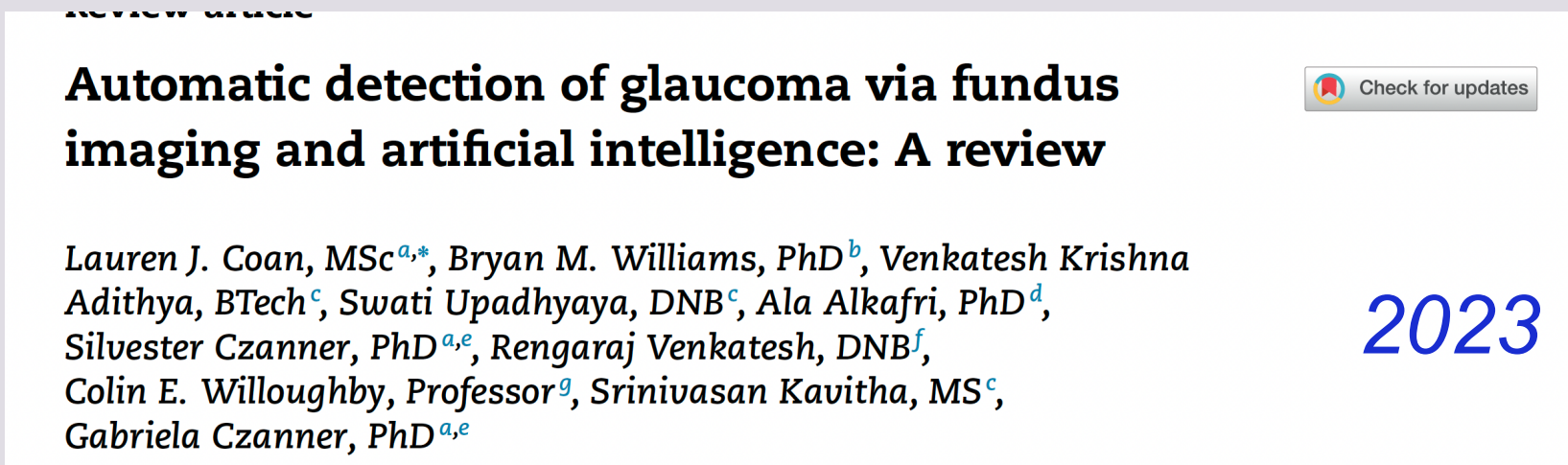
Neil Vaughan, PhD, RFREng, FHEA, MSc, BSc ^{a, b, c, d, *}



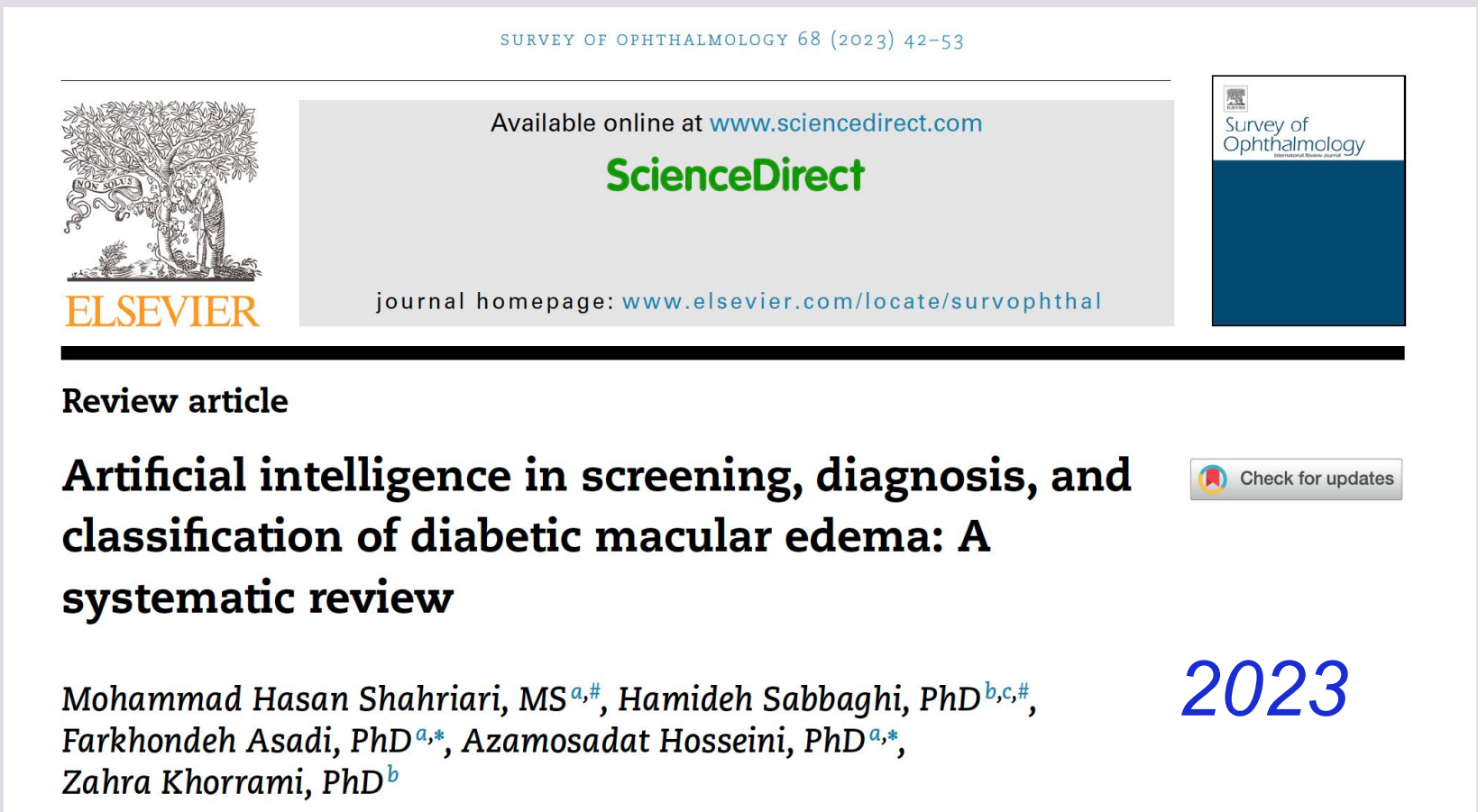
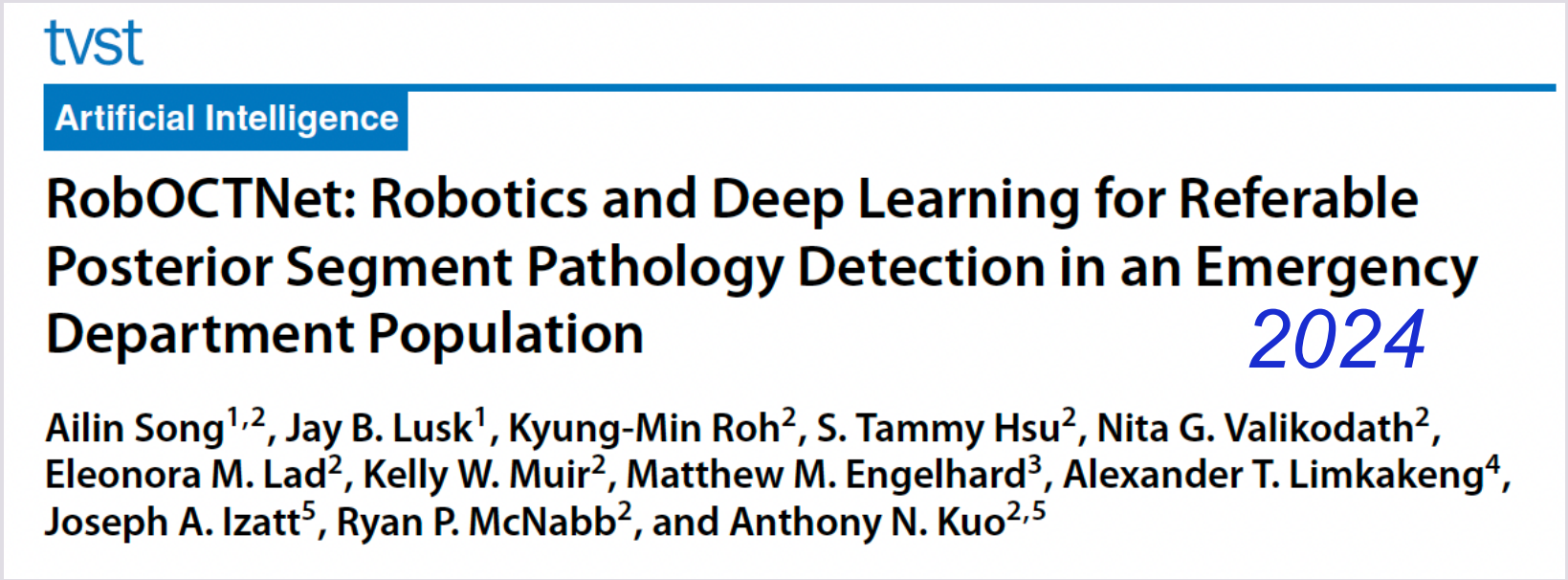
Smartphone & Spaltlampe



Fundusfotografie



OCT



KI: Progression

Progressionsbeurteilung zur Identifikation von Hoch-Risiko-Patienten Vorhersage von Funktionsverlusten basierend auf strukturellen Veränderungen

 **diagnostics** 2023 

Systematic Review

The Predictive Capabilities of Artificial Intelligence-Based OCT Analysis for Age-Related Macular Degeneration Progression—A Systematic Review

George Adrian Muntean ^{1,*}, Anca Marginean ², Adrian Groza ², Ioana Damian ¹, Sara Alexia Roman ³, Mădălina Claudia Hapca ¹, Maximilian Vlad Muntean ⁴ and Simona Delia Nicoară ¹

JAMA Ophthalmology | **Original Investigation**

Automated Machine Learning for Predicting Diabetic Retinopathy Progression From Ultra-Widefield Retinal Images

2024

Paolo S. Silva, MD; Dean Zhang; Cris Martin P. Jacoba, MD; Ward Fickweiler, MD, BM; Drew Lewis, BS; Jeremy Leitmeyer, BS; Katie Curran, PhD; Recivall P. Salongcay, MD, MPM; Duy Doan, BS; Mohamed Ashraf, MD, PhD; Jerry D. Cavallerano, OD, PhD; Jennifer K. Sun, MD, MPH; Tunde Peto, MD, PhD; Lloyd Paul Aiello, MD, PhD

JAMA Ophthalmology | **Original Investigation**

Estimation of Visual Function Using Deep Learning From Ultra-Widefield Fundus Images of Eyes With Retinitis Pigmentosa

2023

Daisuke Nagasato, MD, PhD; Takahiro Sogawa, MD; Mao Tanabe, MD; Hitoshi Tabuchi, MD, PhD, EMBA; Shogo Numa, MD, PhD; Akio Oishi, MD, PhD; Hanako Ohashi Ikeda, MD, PhD; Akitaka Tsujikawa, MD, PhD; Tadao Maeda, MD, PhD; Masayo Takahashi, MD, PhD; Nana Ito, MD, PhD; Gen Miura, MD, PhD; Terumi Shinohara, MD; Mariko Egawa, MD, PhD; Yoshinori Mitamura, MD, PhD

KI: Ärztliche Ausbildung

KI für das Training von Ärzten



Clinical science

Using artificial intelligence to improve human performance: efficient retinal disease detection training with synthetic images

2024

Hitoshi Tabuchi ,^{1,2} Justin Engelmann ,³ Fumiatsu Maeda,⁴ Ryo Nishikawa,² Toshihiko Nagasawa,² Tomofusa Yamauchi,² Mao Tanabe,² Masahiro Akada,² Keita Kihara,² Yasuyuki Nakae,² Yoshiaki Kiuchi ,⁵ Miguel O Bernabeu^{3,6}

KI vs. Ärzte

Wer ist besser?

PLOS DIGITAL HEALTH

RESEARCH ARTICLE

Large language models approach expert-level clinical knowledge and reasoning in ophthalmology: A head-to-head cross-sectional study

Arun James Thirunavukarasu^{1,2*}, Shathar Mahmood¹, Andrew Malem³, William Paul Foster^{1,4}, Rohan Sanghera¹, Refaat Hassan¹, Sean Zhou⁵, Shiao Wei Wong⁶, Yee Ling Wong⁶, Yu Jeat Chong⁷, Abdullah Shakeel¹, Yin-Hsi Chang⁸, Benjamin Kye Jyn Tan⁹, Nikhil Jain¹⁰, Ting Fang Tan¹¹, Saaeha Rauz^{7,12}, Daniel Shu Wei Ting^{11,13,14}, Darren Shu Jeng Ting^{7,12,15*}

Clinical science

Ensemble of deep convolutional neural networks is more accurate and reliable than board-certified ophthalmologists at detecting multiple diseases in retinal fundus photographs

Prashant U Pandey¹, Brian G Ballios^{2,3,4}, Panos G Christakis^{2,4}, Alexander J Kaplan², David J Mathew^{2,3,4}, Stephan Ong Tone^{2,5}, Michael J Wan², Jonathan A Micieli^{2,4,6}, Jovi C Y Wong²

2024

2024

Prüfungsfragen korrekt beantworten und Probleme auf Bildern zu erkennen sind (noch) keine medizinische Behandlung

KI-Anwendungen werden die zukünftige Patientenversorgung wesentlich verändern

Verantwortlichkeit für Fehlentscheidungen

Figure. Examples of Potential Legal Outcomes Related to AI Use in Clinical Practice

Scenario	AI recommendation	AI accuracy	Physician action	Patient outcome	Legal outcome (probable)
1	Standard of care	Correct	Follows	Good	No injury and no liability
2			Rejects	Bad	Injury and liability
3		Incorrect (standard of care is incorrect)	Follows	Bad	Injury but no liability
4			Rejects	Good	No injury and no liability
5	Nonstandard care	Correct (standard of care is incorrect)	Follows	Good	No injury and no liability
6			Rejects	Bad	Injury but no liability
7		Incorrect	Follows	Bad	Injury and liability
8			Rejects	Good	No injury and no liability

VIEWPOINT

W. Nicholson Price II, JD, PhD
University of Michigan Law School, Ann Arbor.

Potential Liability for Physicians Using Artificial Intelligence

Artificial intelligence (AI) is quickly making inroads into medical practice, especially in forms that rely on machine learning, with a mix of hope and hype.¹ Multiple AI-based products have now been approved or cleared

2020

Such a recommendation would be consistent with one of the goals of some AI, to personalize care.

Next, the physician could either follow or reject the AI recommendation (column 4). In this example, the phy-

Augenärzte, Augenoptiker, Optometristen und KI können Fehlentscheidungen treffen

Mehr Fehlentscheidungen
durch Ärzte/Augenoptiker/Optometristen,
durch KI oder
durch Mangel an Spezialisten oder Zugang zur Versorgung?

KI: Bedrohung des ärztlichen Berufs?

tvst

Special Issue

2020

Will AI Replace Ophthalmologists?

Edward Korot¹, Siegfried K. Wagner¹, Livia Faes^{1,2}, Xiaoxuan Liu^{3,4}, Josef Huemer¹, Daniel Ferraz¹, Pearse A. Keane¹, and Konstantinos Balaskas^{1,5}



Risiko des Wissensverlusts

Kontrolle der KI

wichtig für das Überleben des Berufs

VIEWPOINT

AI IN MEDICINE

2024

AI's Threat to the Medical Profession

Agnes B. Fogo, MD

The Authors Guild and 17 authors recently filed a suit to prevent AI from replacing them.

We should realize that if this is allowed to move on, the near future will be characterized by rapidly decreasing knowledge about the pathogenesis underlying disease development. Once we come to a stage where output is defined in the black box that is fed by input, and this black box contains constructs that are no longer consistent with previously defined entities, most of today's knowledge on disease mechanisms will be forgotten and we will be ruled by systems that only focus on intervention strategies that will provide the best possible outcome.

This era will show a decrease in intellectual debates among colleagues, a sign of the time that computer scientists have already warned us about. While authors of literature are fighting for regulations to control the usage of AI in art, physicians should contemplate how to take advantage of the potential benefits from AI in medicine without losing control over their profession. With the issue of a landmark Executive Order⁸ in the US to ensure that America leads the way in managing the risks of AI and the EU becoming the first continent to set clear rules⁹ for the use of AI, physicians should realize that keeping AI within boundaries is essential for the survival of their profession and for meaningful progress in diagnosis and understanding of disease mechanisms.

Wissenverlust gehört zur Medizin, weil

eine bessere Technik eine ursprünglich funktionierende überflüssig macht:

Röntgendarstellung der Orbita => CT/MRT

Photodynamische Therapie => Intravitreale Medikamenteneingabe

*eine bessere Technik für die meisten, aber nicht alle Anwendungen existiert,
so dass die notwendige Fähigkeit in der Anwendung der Technik
nur noch schwer zu erlernen ist:*

Plombenchirurgie (z.B. Oradialyse, kleines Foramen bei jungen phaken Patienten)

Photodynamische Therapie (z.B. Aderhauthämangiom)

durch externe Umstände (verbesserter Arbeitsschutz) Erkrankungen seltener werden:

Chirurgie okulärer Verletzungen bei Arbeitsunfällen

Verzicht auf möglichen Wissensgewinn, weil wir unfähig sind

den aktuellen Stand des Wissens hochfrequent und in zeiteffizienter Weise im täglichen Alltag anzuwenden

multiple Parameter der Bildgebung zu integrieren, mit einer zunehmend wachsenden Datenbasis abzugleichen und prädiktive Biomarker zu identifizieren

multiple Parameter der Diagnostik (Anamnese, Bildgebung, Funktion, Blutwerte, ...) bei verschiedenen Erkrankungen zu integrieren und mit einer zunehmend wachsenden Datenbasis abzugleichen

Bedrohung durch neue Entwicklungen?

Als das Auto entwickelt wurde,
war die Bedrohung der Berufsbilder von Hufschmiedern und Sattlern irrelevant,
ebenso wie die Auswirkungen auf die Umwelt

Als das iPad entwickelt wurde,
war nicht klar, was dies für die Rehabilitation und Lebensqualität sehbehinderter
Menschen bedeutet

Vor- und Nachteile neuer Technologien haben vielfältige Aspekte

***Eine neue Technologie wird sich durchsetzen, wenn sie
ausreichend Vorteile zu einem akzeptablen Preis bietet***

Patientenperspektive

Versorgung auf qualitativ hohem Niveau

Zeitnah

Ortsnah

Wer heilt hat Recht:

***Den Patienten ist es egal, ob es Augenärzte, Augenoptiker, Optometristen
oder die KI erledigt***

***Die Bedeutung der Augenärzte in 75 Jahren wird davon abhängen, ob es gelingt,
neue Techniken zum Nutzen der Patienten in die Versorgung zu integrieren***

Muss ich mich mit KI beschäftigen?

Eine neue wissenschaftliche Wahrheit pflegt sich nicht in der Weise durchzusetzen, dass ihre Gegner überzeugt werden und sich als belehrt erklären, sondern vielmehr dadurch, dass ihre Gegner allmählich aussterben und dass die heranwachsende Generation von vornherein mit der Wahrheit vertraut gemacht ist

Planck M 1858 -1947

