

Ophthalmologie 2024 · 121:826–834
<https://doi.org/10.1007/s00347-024-02109-2>
Eingegangen: 21. März 2024
Überarbeitet: 9. August 2024
Angenommen: 15. August 2024
Online publiziert: 14. September 2024
© The Author(s) 2024, korrigierte Publikation 2024



Digitale Telemedizin zur Überwachung chronischer Netzhauterkrankungen – ein klinisches Werkzeug für die Zukunft?

Jan Henrik Terheyden¹ · Matthias M. Mauschitz¹ · Maximilian W. M. Wintergerst^{1,2} · Petrus Chang¹ · Philipp Herrmann¹ · Raffael Liegl¹ · Thomas Ach¹ · Robert P. Finger³ · Frank G. Holz¹

¹ Universitäts-Augenklinik Bonn, Bonn, Deutschland

² Augenzentrum Grischun, Chur, Schweiz

³ Universitäts-Augenklinik Mannheim, Universität Heidelberg, Mannheim, Deutschland

Zusammenfassung

Hintergrund: Angesichts der prognostizierten Zunahme chronischer Netzhauterkrankungen und einer Unterversorgung der Bevölkerung könnte Telemedizin einen Beitrag leisten, Zugangsbarrieren zur Gesundheitsversorgung zu reduzieren und Behandlungsergebnisse zu verbessern.

Ziel der Arbeit: Literaturübersicht zur Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen.

Material und Methoden: Die medizinische Literatur wurde nach Arbeiten zur Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen durchsucht. Die Ergebnisse wurden in einer Übersichtsarbeit zusammengestellt.

Ergebnisse: Vier Hauptthemen in der Literatur sind: Validierungsstudien, Implementierungsstrategien, Akzeptanz-/Zielgruppenanalysen und gesundheitsökonomische Analysen. Systeme zur Fernüberwachung basieren auf Sehfunktionstests, Bildgebung oder Patientenberichten und wurden bislang insbesondere bei der altersabhängigen Makuladegeneration (AMD) und der diabetischen Augenerkrankung (DAE) untersucht. Studien deuten auf positive Effekte hinsichtlich einer Optimierung der Versorgung und ein günstiges Sicherheitsprofil hin, jedoch fehlen für die Mehrzahl der berichteten Werkzeuge randomisierte, kontrollierte Studien.

Diskussion: Fernüberwachung könnte eine Ergänzung zu bestehenden Versorgungsstrukturen bei Patienten mit chronischen Netzhauterkrankungen, insbesondere AMD und DAE, darstellen. Vielversprechende Systeme basieren etwa auf der Übersehschärfe oder der optischen Kohärenztomographie, während selbstberichtete Daten bislang wenig eingesetzt werden. Derzeit ist jedoch noch keine ausreichende Evidenz für eine Anwendung von Fernüberwachungssystemen bei chronischen Netzhauterkrankungen in Europa gegeben, und weitere Studien zur Validierung von Fernüberwachungssystemen sind notwendig.

Schlüsselwörter

Fernüberwachung · Digitalisierung · Makulaödem · Intravitreale Injektion · Patientensicherheit



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

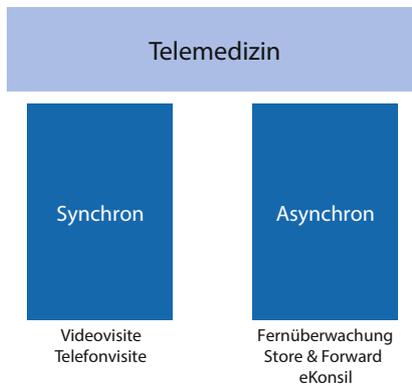


Abb. 1 ▲ Klassifizierung von Telemedizin-Systemen und beispielhafte Anwendungsfälle

Einleitung

Chronische Netzhauterkrankungen stellen weltweit in Ländern mit hohem Einkommen sowie in Deutschland eine Hauptursache von Erblindung und Sehbehinderung entlang des Altersspektrums dar [19, 20, 47]. Der Einsatz evidenzbasierter Diagnostik- und Therapiealgorithmen im klinischen Alltag bildet die Grundlage der Prävention dieser schwerwiegenden Konsequenzen. Die Verfügbarkeit entsprechender medizinischer Leistungen stellt im Zuge demographischer Entwicklungen und einer prognostizierten Zunahme chronischer Netzhauterkrankungen das deutsche und europäische Gesundheitssysteme vor große Herausforderungen [47]. Dabei besteht bereits aktuell eine Unterversorgung von Patienten mit Netzhauterkrankungen, beispielsweise bei der Therapie bei der neovaskulären altersabhängigen Makuladegeneration (AMD) oder dem diabetischen Makulaödem (DMÖ) mittels intravitrealer operativer Medikamenteneingaben (IVOM; [16]).

Telemedizinische Ansätze haben spätestens seit Aufhebung des Fernbehandlungsverbots und der COVID („coronavirus disease“)-19-Pandemie in der Gesundheitsversorgung deutlich an Relevanz gewonnen [12]. Während telemedizinische Verfahren traditionell insbesondere in unterversorgten Regionen mit geringer Besiedlung bzw. geringen finanziellen Ressourcen Anwendung fanden [21], werden sie zunehmend auch in den deutschen Versorgungskontext eingebunden, beispielsweise im Rahmen einer digitalen Fernüberwachung bei chronischen

Erkrankungen [38]. In der Kardiologie etwa wurde im Jahr 2021 die telemedizinische Überwachung der chronischen Herzinsuffizienz in den Leistungskatalog aufgenommen [39].

Im Kontext chronischer Netzhauterkrankungen könnten telemedizinische Verfahren auch in Deutschland zur Versorgung beitragen [60]. Wir haben daher Arbeiten in der medizinischen Literatur zum Thema Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen zusammengestellt.

Methoden

Mithilfe der Datenbank PubMed wurde am 19. Januar 2024 die medizinische Fachliteratur anhand folgender Stichworte in englischer Sprache durchsucht: *retina**, *macula**, *intravitreal*, *intra-vitreal* oder *ivom*, in Kombination mit den Suchbegriffen *remote*, *tele**, *home*, *digital*, *distance* (* bezeichnet einen Platzhalter für 0 bis zu beliebig vielen Zeichen). Telemedizinische Verfahren werden in asynchrone und synchrone Telemedizin unterteilt (■ **Abb. 1**; [1]). Die Fernüberwachung („*remote monitoring*“) subsummiert dabei Verfahren, die physiologische Prozesse regelmäßig überwachen und so eine Früherkennung von Komplikationen chronischer Erkrankungen ermöglichen, Patientendaten akkumulieren und hierdurch Einfluss auf den Behandlungspfad des Patienten nehmen [56]. Der Fokus dieser selektiven Übersichtsarbeit liegt auf Verfahren der Fernüberwachung bei bereits diagnostizierten chronischen Netzhauterkrankungen, die vorliegende Behandlungspfade nicht ersetzen, sondern ergänzen. Die Ergebnisse der Recherche wurden nach einer Bewertung durch den Erstautor mittels einer qualitativ orientierten Inhaltsanalyse kategorisiert und werden in diesem Beitrag narrativ wiedergegeben. Eingeschlossen wurden englisch- oder deutschsprachige Original- und Übersichtsarbeiten zum Thema Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen. Arbeiten, die sich primär Früherkennungsverfahren (Screenings), Fernbehandlungsverfahren und/oder Fernüberwachungsverfahren bei Gesundheitsdienstleistern (z. B. Augenärzten) widmen, haben wir von dieser Arbeit ausgeschlossen. Die Zustimmung einer

Ethikkommission war nicht notwendig, da die Ergebnisse ausschließlich aus bereits publizierten Arbeiten in der Literatur zusammengestellt wurden.

Ergebnisse

Die medizinische Literatur zeigt eine deutliche Zunahme der Publikationen zur Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen ab dem ersten Jahr der Covid-19-Pandemie, 2020 [41]. Hauptsächlich werden bislang das Fernüberwachung bei AMD und/oder retinalen Komplikationen der DAE (diabetische Retinopathie, DRP; DMÖ) betrachtet [58]. Publierte Arbeiten lassen sich qualitativ den folgenden 4 Kategorien zuordnen, welche die folgenden Abschnitte gliedern:

- Validierungsstudien von Verfahren zur Fernüberwachung (Sehfunktionstests, Bildgebungsverfahren, Patientenberichte),
- Studien zu Implementierungsstrategien von Fernüberwachungsverfahren,
- Zielgruppenanalysen und Studien zur Akzeptanz von Fernüberwachungsverfahren sowie
- gesundheitsökonomische Analysen.

Verfahren zur Fernüberwachung

Zur Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen können grundsätzlich Sehfunktionstests, Bildgebungsverfahren und Patientenberichte eingesetzt werden (■ **Tab. 1**).

Sehfunktionstests

Sehfunktionstests wurden rezent insbesondere im Rahmen digitaler mobiler Gesundheitsanwendungen zur Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen eingesetzt [4], während vereinzelte Publikationen die Nutzung analoger Anwendungen beschreiben (papierbasierte Sehfunktionstests; [22, 48]). Einen Schwerpunkt bildet hierbei die Detektion einer Veränderung der Sehfunktion aufgrund eines Makulaödems. Mit den Verfahren werden häufig Übersehschärfe („*hyperacuity*“, zum Beispiel Noniussehschärfe) oder Kontrastsehvermögen erfasst [23, 43]. Der zentrale bestkorrigierte Visus wird für Frühstadien chronischer Netzhauterkrankungen, welche die Makula

Tab. 1 Exemplarische Übersicht von Messverfahren zur digitalen Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen		
Sehfunktionsstests	Bildgebungsverfahren	Patientenberichte
Sehschärfe Übersehschärfe Kontrastsehvermögen	Optische Kohärenztomographie Fundusfotografie	Fragebögen zur Sehfunktion im Alltag

betreffen, als wenig sensitiv betrachtet [7, 50]. Insbesondere die Übersehschärfe wird aufgrund ihrer Diskriminierungsfunktion zwischen retinalen Pathologien und Kontrollprobanden dagegen in verschiedenen Digitalanwendungen zur Fernüberwachung der Sehfunktion eingesetzt [4], teils als perimetrisches Verfahren [6]. Sie beruht auf der Feststellung der Ausrichtung von Stimuli gegeneinander und könnte besonders sensitiv für neuroretinale Pathologien sein [64]. Die analoge Fernüberwachung mittels Amslergitter zeigt variable Ergebnisse und gilt nicht als zuverlässiger Indikator im Rahmen einer Fernüberwachung, etwa bei der neovaskulären AMD [17].

Das am weitesten fortgeschrittene validierte Digitalsystem zur Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen auf Basis der Sehfunktion ist das Fernüberwachungssystem ForeseeHome® (Notal Vision Ltd., Tel Aviv, Israel; *Vorläufer*: Pre-View PHP; Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA, USA) zur Früherkennung einer Progression von intermediärer zu neovaskulärer AMD. Hierbei handelt es sich um ein Tischgerät von knapp 40 cm Höhe, etwa in der Form gängiger Lichtmikroskope. Die eingesetzte Technologie beruht auf einer perimetrischen Messung der Übersehschärfe [9, 43] und erreicht eine Sensitivität und Spezifität in der Erkennung einer Neovaskularisation von jeweils 85% für eine einzelne Untersuchung ($n=66$ Augen; [43]). Das ForeseeHome®-System wurde in einer multizentrischen, randomisierten, kontrollierten Studie (HOME Studie) untersucht ($n=1520$) und führte durch die verbesserte Früherkennung von Behandlungsbedürftigkeit zu einer signifikanten Reduktion der Visusabnahme gegenüber dem Vergleichsarm um im Median 4 Buchstaben über einen mittleren Zeitraum von 1,4 Jahren [9]. Eine retrospektive Auswertung von mehr als 3000 Augen ergab, dass 52% der aufgetretenen Neovaskularisationen mit dem Fernüberwachungssystem vor den Routineuntersuchungen in 5 Kli-

niken der Maximalversorgung festgestellt werden konnten. Der mittlere Nachbeobachtungszeitraum lag hier bei 3 Jahren [45].

Die App Alleye (Alleye, Oculocare, Schweiz) wurde für die mobile Erfassung der Übersehschärfe mittels einer App entwickelt [18, 23, 29, 57, 59]. Es hat eine CE(Conformité Européenne)-Zertifizierung sowie eine Autorisierung durch die US-amerikanische Zulassungsbehörde FDA (Food and Drug Administration) erhalten [26]. Die Spezifität wird mit 94% angegeben [18] und in einer Fall-Kontroll-Studie war bei Nutzung der App die Wahrscheinlichkeit für eine Visusverbesserung um 5 ETDRS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study)-Buchstaben oder mehr durch frühere Erkennung einer Behandlungsbedürftigkeit erhöht (43/172 [25%] ≥ 5 Buchstaben Visusgewinn im Interventionsarm, 65/342 [19%] im Kontrollarm; Odds Ratio 1,67 [95%-Konfidenzintervall: 1,01; 2,76]), während die Anzahl der Injektionsvisiten reduziert (mittlere Differenz $-0,99$ Visiten [$-1,59$; $-0,40$]) und die Follow-up-Intervalle verlängert waren (mittlere Differenz 69 Tage [2; 136]; [23]).

Der Home Vision Monitor® (HVM, Entwicklung des Moorfields Eye Hospital, London, UK; ursprünglich myVisionTrack®, Vital Art and Science Inc, Richardson, TX, USA) ist eine Smartphone-/Tablet-App, die ebenfalls die Übersehschärfe nutzt, um Änderungen der makulären Funktion, etwa bei einer neovaskulären AMD oder einem DMÖ, zu detektieren [40, 53, 63]. Eine Vorläuferversion von myVisionTrack® misst ergänzend die Kontrastsensitivität [31]. Die Sensitivität und Spezifität von HVM zur Detektion der Entwicklung einer neovaskulären AMD am zweiten Auge werden bei 79 und 54% angegeben [53]; eine andere Untersuchung berichtete eine Sensitivität von 89% und eine Spezifität von 79% zur Detektion einer neovaskulären AMD [62]. Die App hat von der amerikanischen Zulassungsbehörde FDA eine Autorisierung erhalten und ist CE-zertifiziert [40].

Zu weiteren kommerziell oder akademisch verfügbaren Instrumenten zur Fernüberwachung der Sehfunktion, die bislang Anwendung bei chronischen Netzhauterkrankungen gefunden haben, zählen Paxos Checkup™ (Verana Health, vormals DigiSight Technologies, San Francisco, CA, USA; [35]), OdySight® (Tilak healthcare, Paris, Frankreich; [36]), Melbourne Rapid Fields-macular [54], PopCSF [14], Multibit (Novartis, Basel, Schweiz, vormals Visumetrics; [65]), PsyPad [67], Visibly (Visibly, Chicago, IL, USA; [33]), MacuFix® [13], Macustat® [8] und TreC Oculistica [55]. Metamorphopsien können beispielsweise auf Basis der Übersehschärfe (bzw. -perimetrie) oder digitalen Äquivalenten des Amslergitters beurteilt werden (z. B. ForeseeHome®, Alleye, Home Vision Monitor®, MacuFix®). Zahlreiche weitere Anwendungen, die allgemein zur Fernüberwachung des Visus, etwa bei telemedizinischen Konsultationen (synchrone Telemedizin), relevant sind, und ebenfalls bei der Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen eine Rolle spielen können, haben wir hier nicht weiter aufgeführt.

Insgesamt wird der Validierungsstatus der vorhandenen Systeme zur Fernüberwachung aktuell, insbesondere bezogen auf die Reliabilität und Validität der Messungen, noch als limitiert bewertet [4].

Bildgebungsverfahren

An Bildgebungsverfahren für Fernüberwachung wird insbesondere die optische Kohärenztomographie (OCT) eingesetzt, einen Schwerpunkt stellt hierbei die Erkennung eines Makulaödems dar („fluid monitoring“; [33]). Grundsätzlich lassen sich heimbasierte Systeme, im Ziel vergleichbar mit den im vorigen Abschnitt beschriebenen Anwendungen, von Verfahren bei externen Gesundheitsdienstleistern unterscheiden, wobei letztere für diese Übersicht nicht näher berücksichtigt wurden.

Das Notal-Home-OCT-System (NHOCT Scanly®, Notal Vision Ltd., Tel Aviv, Israel) kombiniert die OCT-Akquisition über „spectral domain technology“ mit einer KI(künstliche Intelligenz)-gestützten Auswertung des Bildmaterials auf einem cloudbasierten Server und wurde von der US-amerikanischen Zulassungsbehör-

de FDA positiv bewertet und rezent auf dem US-Markt zugelassen [34, 42, 49]. In den veröffentlichten Daten konnten mit diesem System in 88 % der Fälle erfolgreich Bilddaten erfasst werden, wobei diese Rate bei einem Visus $\leq 0,05$ deutlich abnahm [42]. Die Sensitivität und Spezifität für die Detektion intra- oder subretinaler Flüssigkeit betragen 98 und 96 % gegenüber dem Goldstandard des Gratings von Aufnahmen eines kommerziell erhältlichen OCT-Geräts [37]. Aktuell ist mit dem DRCR.net Protocol AO (Clinicaltrials.gov NCT05904028) ferner eine multizentrische Studie in Planung, welche bei der Behandlung der neovaskulären AMD randomisiert Fernüberwachung mit dem Treat-&Extend-Schema vergleicht [60]. Weitere heimbasierte Geräte stehen bislang als Prototypen zur Verfügung, darunter das in Deutschland entwickelte SELF-OCT, ein Gerät mit „full-field OCT technology“ (Visotec GmbH, Lübeck, Deutschland; [5]), das MIMO_02 OCT (MIMO AG, Bern, Schweiz; [44]) und ein US-amerikanischer Prototyp (OCT Health LLC, Sacramento, CA, USA; [51]). Eine detailliertere Zusammenstellung der Geräte wurde kürzlich in englischer Sprache publiziert [10].

Neben der Überwachung mittels OCT ist die Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen mittels Fundusfotografie ein global als vielversprechend bewertetes Verfahren [15]. Da es jedoch insbesondere für Früherkennungsprogramme (z. B. bei diabetischer Retinopathie und Frühgeborenenretinopathie) eine Rolle spielt, wird die Literatur an dieser Stelle nicht weiter beschrieben. Hingewiesen sei auf eine rezente Übersichtsarbeit zum Thema Fundusfotografie mittels Smartphone, die besonders aufgrund der Kosteneffizienz für „low/middle income countries“ von wachsender Bedeutung ist [30].

Patientenberichtete Endpunkte

Patientenberichtete Endpunkte („patient-reported outcome measures“, PROMs) finden in der Literatur zur Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen bislang kaum Anwendung [22, 63]. Eine Untersuchung hat einen telefonisch administrierten Fragebogen (4 Einzelfragen) als Fernüberwachungstool zur Detektion

einer neovaskulären AMD des zweiten Auges in Kombination mit einer heimbasierten Erfassung des Nahvisus eingesetzt [22]. Der Hintergrund dieser Untersuchung war, dass eine einseitig bestehende späte AMD einen wesentlichen Risikofaktor für eine AMD-Progression am zweiten Auge darstellt. Sensitivität und Spezifität der Einzelfragen betragen in der Studie jeweils bei 33 % und 91–97 %, basierend auf jedoch nur 3 Fällen mit einer Neovaskularisation. Eine weitere Untersuchung hat auf Basis von Patientenselbsteinschätzungen zur Notwendigkeit einer Injektion bei nAMD unter Therapie mit Ranibizumab eine Sensitivität von 61–88 % und eine Spezifität von 97–99 % erreicht; hier waren die Grundlage der Berechnung 100 Augen, von denen bei 2 Visiten jeweils 59 und 68 intravitreale Injektionen durchgeführt wurden [46].

Implementierungsstrategien

Real-world-Daten zeigen, dass Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen derzeit in einzelnen Zentren eine Rolle spielt, in der breiten Versorgung jedoch auch international bisher wenig angewandt wird [45, 59, 61]. Einige Arbeiten berichten von der Implementierung von Fernüberwachungsprogrammen während der COVID-19-Lockdowns im Jahr 2020 [3, 28, 59]. Im Singapore National Eye Centre etwa wurde binnen 2 Monaten ein System etabliert, bei dem auch die Anmeldung für die verwendete App (Fernüberwachung der Sehfunktion) elektronisch durchgeführt werden konnte [59]. Die Einladung der in Frage kommenden Patienten geschah mittels einer Textnachricht (SMS) und entsprechendem Weblink; die Teilnahmequote erreichte mittels dieser Methode allerdings nur 26 % (732/2774 Patienten), was eine potenzielle Verzerrung (Selektionsbias) bedingen könnte. Die Evaluierung der App-generierten Messwerte/Warnungen wurde mithilfe von Mitarbeitern eines Reading Centers am selben Zentrum sichergestellt [59]. Empfehlungen zur Implementierung von Fernüberwachungsverfahren bei Patienten mit chronischen Netzhauterkrankungen sind in der internationalen Literatur derzeit nicht zu identifizieren.

Zielgruppenanalysen

Die Adhärenz gegenüber digitalen Fernüberwachungstechnologien bei chronischen Netzhauterkrankungen wird in der vorhandenen Literatur auf vielfältige Weisen ausgewertet. In einer retrospektiven Auswertung von Nutzungsdaten des ForeseeHome®-Systems werden im Mittel 6 ± 3 eigens durchgeführte Untersuchungen pro Woche bei über 8000 Patienten berichtet [25]. In einer anderen Studie zum selben Gerät wird eine Nutzungsquote von 84 % während der gesamten Studiendauer (im Mittel 20 Monate) angegeben, wobei lediglich 74 % der eingeschlossenen Nutzer (bei vorhandener Baseline-Visite) eine von den Autoren als adäquat eingestufte Nutzungshäufigkeit (≥ 2 Selbsttests pro Woche) erreichten [68]. Mit anderen Geräten wird eine Adhärenz von 43–72 % angegeben [18, 54, 59]; qualitative Daten bei AMD-Patienten bestätigen die grundsätzliche Akzeptanz von Fernüberwachungsverfahren [52]. Die Bewertung durch die Patienten selbst fällt bei geringer Datenlage in der Literatur sowohl für eine Fernüberwachung mittels Funktionstests wie auch die heimbasierte OCT grundsätzlich positiv aus [37, 54]. Vorhandene Daten zu Nutzergruppen deuten darauf hin, dass auch ältere, technologieaffine Menschen für eine Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen geeignet sein könnten. So sind in einer Untersuchung zum Home Vision Monitor nicht das Alter, aber die Variablen Technologieaffinität, Ethnie und besserer Visus mit stärkerer Nutzung des Verfahrens assoziiert [40]. Andere Untersuchungen bewerten den Einfluss des Ausgangsvisus in umgekehrter Richtung [18, 59]. Eine Studie berichtet von einer Adhärenz von 99 % für wöchentliche Testungen in einer Kohorte aus Patienten, die zum Studienzeitpunkt in der Mehrheit das 75. Lebensjahr bereits erreicht hatten [32], und eine weitere Untersuchung sieht keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Alter und der Nutzung digitaler Fernüberwachungstechnologie [18]. Die Adhärenzdaten nach Behandlungsdiagnose sind in der Literatur widersprüchlich und betonen den Nutzen insbesondere bei DMÖ und AMD [40, 59]. Eine Untersuchung berichtet etwa eine

Adhärenz gegenüber der Alleye-App von 52 % bei DMÖ und 60 % bei neovaskulärer AMD, jedoch nur 20 % bei diabetischer Retinopathie und 34 % bei Patienten mit retinalen Venenverschlüssen [59]. In einer weiteren Untersuchung wird bei AMD-Patienten sogar eine Adhärenz von 79 % erreicht [40].

Gesundheitsökonomische Analysen

Eine Simulationsstudie zum Foresee-Home®-System bewertet die Fernüberwachung von AMD-Patienten mit einem Risiko zur Entwicklung einer Neovaskularisation als kosteneffektiv, sofern nicht bereits ein Auge von einer neovaskulären AMD betroffen ist [66]. Daten zu einem anderen System deuten ferner auf eine Verlängerung der Behandlungsintervalle und eine Reduktion der Visitenzahl bei stabilem funktionellem Ergebnis hin, die jedoch gesundheitsökonomisch nicht weiter in Kontext gesetzt wurden [23]. Entsprechende Analysen für Gesundheitssysteme in Europa fehlen bislang in der wissenschaftlichen Literatur. Aktuell (Stand September 2024) werden auf der Webseite des Herstellers monatliche Kosten von 77,90 US-Dollar für die Nutzung des ForeseeHome®-Systems auf Leihbasis angegeben (www.foreseehome.com). Handelspreise anderer Geräte sind aktuell nicht bekannt.

Diskussion

Aktuell finden zur Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen insbesondere digitale Medizinprodukte zur Messung der Sehfunktion und heimbasierten OCT im Kontext der IVOM-Therapie Beachtung. Anwendungen in der klinischen Routineversorgung sind bislang hauptsächlich Pilotprojekten an einzelnen Zentren vorbehalten, wobei *Real-world*-Daten aufzeigen, dass digitale Werkzeuge grundsätzlich eine Ergänzung oder Erweiterung etablierter IVOM-Therapieschemata darstellen könnten, etwa im Kontext neuer Wirkstoffe mit längerer Halbwertszeit [24]. Eine routinemäßige Verwendung entsprechender Anwendungen bei Patienten im europäischen Kontext kann auf Basis der Literatur jedoch derzeit nicht empfohlen werden, da es hierzu bislang an Evidenz

zu Nutzen, Sicherheit und Kosteneffizienz fehlt.

Bei Patienten mit Netzhauterkrankungen ist mit dem Amslergitter ein analoges Werkzeug zur Fernüberwachung bereits seit vielen Jahrzehnten bekannt. Untersuchungen zur Sensitivität von Amsler-Selbsttests stellen dessen Realnutzen jedoch in Frage [17]. Modernere Verfahren zur Fernüberwachung der Sehfunktion messen häufig die Übersehschärfe und versprechen eine bessere diagnostische Eignung, wobei weitere Validierungsschritte in unabhängigen Studien notwendig erscheinen, um die Reliabilität und Validität der Tests zu belegen [4]. Trotz einer großen Anzahl von Medizinprodukteherstellern haben nur relativ wenige Produkte eine CE-Zertifizierung erhalten, und ein noch geringer Anteil wurde in randomisierten, kontrollierten Studien überprüft, was eine Grundbedingung für die Nutzenbewertung in der evidenzbasierten Medizin darstellt [4]. Derzeit stellen regulatorische und finanzielle Bedingungen entscheidende Hürden für die Zulassung von Apps zur Fernüberwachung als Medizinprodukte dar. Von der Verwendung von in App-Stores verfügbaren, nichtautorisierten Anwendungen sollte grundsätzlich abgeraten werden. Die vorhandenen Daten zu Effektivität, Sicherheit und Nutzungsverhalten digitaler Fernüberwachungsverfahren erlauben jedoch die Einschätzung einiger der Verfahren als vielversprechende Instrumente für IVOM-Sprechstunden der Zukunft. Bei Kombination mit durch maschinelles Lernen trainierten Algorithmen (KI) wären zukünftig eine Steigerung der Sensitivität und damit des Nutzens entsprechender digitaler Anwendungen denkbar.

Heimbasierte OCT-Systeme existieren aktuell größtenteils als Prototypen; nur ein Gerät (NHOCT) hat diesen Status bislang bereits überschritten [34, 42, 49]. Ein möglicher Vorteil der OCT-Systeme gegenüber den Funktionstests bei Erkrankungen mit rezidivierendem Makulaödem könnte die höhere Sensitivität und Spezifität der Untersuchung darstellen, da die Interpretation mittels OCT-Bildgebungssystemen etwa eine Unterscheidung zwischen intra-, subretinaler und sub-RPE (retinales Pigmentepithel) Flüssigkeit ermöglicht [37]. Eine weitere Validierung ist auch für die Bildgebungssysteme erforderlich, be-

vor diese Verfahren Einzug in die Routineversorgung halten können. Ferner ist das Thema Kosteneffizienz bei einem OCT-System, welches in jedem Fall auf externe Hardware angewiesen ist, in Zukunft noch zu evaluieren.

Von Patienten selbst berichtete Daten, etwa zum Sehvermögen oder zu Auswirkungen der Erkrankung oder der aufgeführten Fernüberwachungssysteme auf das Leben der Patienten, sind bislang wenig in Studien zur Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen eingegangen. Einer verfügbaren Studie, die ein nicht validiertes Instrument aus 4 Einzelfragen einsetzt, mangelt es an statistischer Trennschärfe und die Ergebnisse fußen auf lediglich 3 Fällen einer Neovaskularisation [22], eine weitere Studie zeigt jedoch zum Amslergitter vergleichbare Sensitivitäten und Spezifitäten, was die weitere Evaluation von Befragungen als kostengünstige Fernüberwachungsmaßnahme attraktiv erscheinen lässt [46]. Eine Untersuchung der Einflussfaktoren auf die IVOM-Therapie in Deutschland mittels patientenberichteter Daten, unabhängig von der Nutzung in einer Fernüberwachung, findet derzeit in der ANDROMEDA-Studie statt [27]. Diese untersucht insbesondere die Nutzung der Patientenerfahrung während der IVOM-Therapie auf das Adhärenzverhalten im Kontext der neovaskulären AMD. Neben der Adressierung der visuellen Komponente lassen sich mithilfe selbstberichteter Daten auch andere Dimensionen erfassen und die Adhärenz gegenüber Pharmakotherapien beeinflussen [2].

In Zukunft wird die Zahl der intravitrealen Injektionen voraussichtlich noch weiter zunehmen [11]. Angesichts einer vermehrten Verfügbarkeit von Pharmaka mit längeren Wirkdauern [24] dürften sich dabei personalisierte Therapieschemata zunehmend etablieren. In diesem Kontext könnten Fernüberwachungsverfahren einen Katalysator darstellen, um die langfristige Therapieadhärenz und damit Behandlungsergebnisse in der Routineversorgung auf hohem Niveau sicherzustellen und gleichzeitig die Gesundheitsversorgung zu entlasten. In diesem Kontext ist in einem Versorgungskonzept auch die Kombination verschiedener Überwachungsmodalitäten denkbar.

Unsere Ergebnisse zeigen insbesondere Anwendungen für die Fernüberwachung bei der IVOM-Therapie chronischer Netzhauterkrankungen auf, die mit einem Makulaödem einhergehen. Vonseiten der Behandlungsvolumina spielen diese eine sehr bedeutende Rolle [11], gleichzeitig sind auch zahlreiche weitere Anwendungen etwa in der postoperativen Überwachung oder bei Mobilitätseingeschränkten Patienten denkbar, um Zugangsbarrieren zu Gesundheitsdienstleistungen zu reduzieren und zeitgleich das Gesundheitswesen nicht stärker zu belasten.

Die derzeitige Literatur zeigt jedoch noch deutliche Limitationen der wissenschaftlichen Validierung bestehender Systeme auf. Randomisierte, kontrollierte Studien stellen den Grundpfeiler evidenzbasierter Therapieentscheidungen da, an denen auch digitale Diagnostiksysteme gemessen werden, unter anderem von den Kostenträgern. Die HOME-Studie ist derzeit die einzige randomisierte, kontrollierte Studie zur Fernüberwachung chronischer Netzhauterkrankungen [4]. Bevor eine digitale, telemedizinische Diagnostik bei chronischen Netzhauterkrankungen eingesetzt werden kann, besteht die zwingende Notwendigkeit der Durchführung dieser aufwendigen, teuren Studien. Damit einher geht die ebenfalls notwendige Durchführung gesundheitsystemspezifischer Kostenanalysen, um die Möglichkeit der Integration telemedizinischer Versorgungskonzepte in bestehende Vertragskonstrukte zu untersuchen.

Zusammenfassend stecken nach unseren Ergebnissen die Verfahren zur Fernüberwachung bei chronischen Netzhauterkrankungen noch in den Anfängen. Vielversprechende Ansätze existieren insbesondere bei Lösungen zu Funktionstests und Bildgebungsverfahren. Patientenberichtete Endpunkte finden in der aktuellen Literatur bislang wenig Beachtung und sollten zukünftig im Sinne einer patientenzentrierten Versorgung im dargestellten Nutzungskontext weiter untersucht werden. Die wissenschaftliche Evidenz für den Einsatz solcher Verfahren ist derzeit nicht ausreichend für einen Einsatz in der Routineversorgung.

Limitationen

Die wesentliche Stärke der Arbeit liegt in der breit gefächerten Übersicht und Einführung in das Thema, welches bislang wenig Aufmerksamkeit erhält; auf weiterführende Literatur wurde an den entsprechenden Stellen hingewiesen. Die primäre Limitation dieser Literaturübersicht ist ihr narrativer Charakter, jedoch wurde mit der im Methodenteil aufgeführten Stichwortkombination die grundlegende Systematik dokumentiert.

Fazit für die Praxis

- Eine Fernüberwachung bei chronischen Netzhauterkrankungen wird insbesondere im Rahmen der neovaskulären altersabhängigen Makuladegeneration und der diabetischen Augenerkrankung diskutiert.
- Bislang eingesetzte Verfahren beinhalten durch Patienten selbst durchgeführte Sehfunktionstests mittels externer Geräte oder Apps, Bildgebung mittels mobiler optischer Kohärenztomographie und Patientenberichte mittels Fragebögen.
- Die aktuelle Datenlage ermöglicht noch keine endgültige Bewertung der Verfahren in puncto Nutzen, Sicherheit und Kosteneffizienz.

Korrespondenzadresse

Jan Henrik Terheyden
Universitäts-Augenklinik Bonn
Venusberg-Campus 1, 53127 Bonn,
Deutschland
jan.terheyden@ukbonn.de

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J.H. Terheyden: Novartis (Honoraria), Okko (Beratung), Heidelberg Engineering (Forschungsförderung), Optos (Forschungsförderung), Zeiss (Forschungsförderung), CenterVue/iCare (Forschungsförderung). M.M. Mauschitz: Biogen GmbH (Berater). M.W. M. Wintergerst: ASKIN & CO GmbH (Honoraria/Reisekostenerstattung), Bayer AG (Honoraria/Reisekostenerstattung), Berlin-Chemie AG (Honoraria/Reisekostenerstattung, Forschungsförderung), CenterVue SpA (Forschungsförderung), Carl Zeiss Meditec (Forschungsförderung), D-Eye Srl (Forschungsförderung), DigiSight Technologies (Honoraria/Reisekostenerstattung, Forschungsförderung), Eyenuk, Inc. (Forschungsförderung), Eyepress Fachmedien GmbH (Honoraria), glaucare GmbH (Gesellschafter, Berater), Heine Optotechnik GmbH (Bera-

ter, Honoraria/Reisekostenerstattung, Forschungsförderung), Heidelberg Engineering (Honoraria/Reisekostenerstattung, Forschungsförderung), Novartis Pharma GmbH (Honoraria/Reisekostenerstattung, Forschungsförderung), Optos (Forschungsförderung), Pro Generika e. V. (Honoraria), Science Consulting in Diabetes GmbH (Honoraria), P. Chang: Apellis (Beratung), Roche (Beratung), Novartis (Beratung), Heidelberg Engineering (Forschungsförderung), Kateiro GmbH (Beratung). P. Herrmann: Novartis (Forschungsförderung, Beratung), Janssen (Beratung). R. Liegl: AbbVie, Novartis, Bayer, DORC, Stadapharm. T. Ach: Apellis (Beratung), Roche (Beratung), Novartis (Beratung), Novartis (Forschungsförderung), Bayer (Beratung), Nidek (Forschungsförderung), Heidelberg Engineering (Forschungsförderung). R.P. Finger: Alimera, Apellis, Bayer, Boehringer-Ingelheim, Novartis, ODOS, Oxford Innovation, ProGenerika, Roche/Genentech, Biogen, Icare, Heidelberg Engineering, Carl Zeiss Meditec. F.G. Holz: Apellis (Forschungsförderung, Beratung), Roche/Genentech (Forschungsförderung, Beratung), Bayer (Forschungsförderung, Beratung), Gyroscope (Forschungsförderung, Beratung), ivericBio (Forschungsförderung, Beratung), Novartis (Forschungsförderung, Beratung), Allergan (Forschungsförderung, Beratung), Heidelberg Engineering (Forschungsförderung, Beratung), Geuder (Forschungsförderung, Beratung), Optos (Forschungsförderung, Beratung), Alexion (Beratung), Annexion (Beratung), Alzheon (Beratung), Astellas (Beratung), Boehringer-Ingelheim (Beratung), 4D Molecular Therapeutics (Beratung), Lin Complement Therapeutics (Beratung), BioScience (Beratung), Nightstar (Forschungsförderung), CenterVue/iCare (Forschungsförderung), Acucela (Forschungsförderung).

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Allely EB (1995) Synchronous and asynchronous telemedicine. *J Med Syst* 19(3):207–212. <https://doi.org/10.1007/BF02257174>
2. Arumalla N, Chan CKD, Gibson M, Man YL, Adas MA, Norton S, Galloway JB, Garrood T

- (2023) The Clinical Impact of Electronic Patient-Reported Outcome Measures in the Remote Monitoring of Inflammatory Arthritis: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arthritis Rheumatol* 75(11):1892–1903. <https://doi.org/10.1002/art.42559>
3. Aweidah H, Safadi K, Jotkowitz A, Chowers I, Levy J (2020) Hybrid Telehealth Medical Retina Clinic Due to Provider Exposure and Quarantine During COVID-19 Pandemic. *Clin Ophthalmol* 14:3421–3426. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S276276>
 4. Balaskas K, Drawnel F, Khanani AM, Knox PC, Mavromaras G, Wang Y-Z (2023) Home vision monitoring in patients with maculopathy: current and future options for digital technologies. *Eye (Lond)* 37(15):3108–3120. <https://doi.org/10.1038/s41433-023-02479-y>
 5. Burchard C, Moltmann M, Tode J, Ehlken C, Sudkamp H, Theisen-Kunde D, König I, Hüttmann G, Roeder J (2021) Self-examination low-cost full-field OCT (SELF-OCT) for patients with various macular diseases. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 259(6):1503–1511. <https://doi.org/10.1007/s00417-020-05035-6>
 6. Busquets MA, Sabbagh O (2021) Current status of home monitoring technology for age-related macular degeneration. *Curr Opin Ophthalmol* 32(3):240–246. <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000756>
 7. Chandramohan A, Stinnett SS, Petrowski JT, Schuman SG, Toth CA, Cousins SW, Lad EM (2016) Visual Function Measures in Early and Intermediate Age-Related Macular Degeneration. *Retina* 36(5):1021–1031. <https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000001002>
 8. Chen E, Mills M, Gallagher T, Ianchulev S, Habash R, Gentile RC (2022) Remote patient monitoring of central retinal function with MACUSTAT®: A multi-modal macular function scan. *Digit Health* 8:20552076221132105. <https://doi.org/10.1177/20552076221132105>
 9. Chew EY, Clemons TE, Bressler SB, Elman MJ, Danis RP, Domalpally A, Heier JS, Kim JE, Garfinkel R (2014) Randomized trial of a home monitoring system for early detection of choroidal neovascularization home monitoring of the Eye (HOME) study. *Ophthalmology* 121(2):535–544. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2013.10.027>
 10. Chopra R, Wagner SK, Keane PA (2020s) Optical coherence tomography in the 2020s—outside the eye clinic. *Eye (Lond)* 35(1):236–243. <https://doi.org/10.1038/s41433-020-01263-6>
 11. Chopra R, Preston GC, Keenan TDL, Mulholland P, Patel PJ, Balaskas K, Hamilton RD, Keane PA (2022) Intravitreal injections: past trends and future projections within a UK tertiary hospital. *Eye (Lond)* 36(7):1373–1378. <https://doi.org/10.1038/s41433-021-01646-3>
 12. Choritz L, Hoffmann M, Thieme H (2021) Telemedizinische Ansätze in der Augenheilkunde in Zeiten von COVID-19. *Ophthalmologie* 118(9):885–892. <https://doi.org/10.1007/s00347-021-01470-w>
 13. Claessens D, Ichhpujani P, Singh RB (2022) MacuFix® versus Amsler grid for metamorphopsia categorization for macular diseases. *Int Ophthalmol* 42(1):229–238. <https://doi.org/10.1007/s10792-021-02017-3>
 14. Crossland MD, Dekker TM, Dahlmann-Noor A, Jones PR (2024) Can children measure their own vision? A comparison of three new contrast sensitivity tests. *Ophthalmic Physiol Opt* 44(1):5–16. <https://doi.org/10.1111/opo.13230>
 15. DeBuc DC (2016) The Role of Retinal Imaging and Portable Screening Devices in Tele-ophthalmology Applications for Diabetic Retinopathy Management. *Curr Diab Rep* 16(12):132. <https://doi.org/10.1007/s11892-016-0827-2>
 16. Ehlken C, Ziemssen F, Eter N, Lanzl I, Kaymak H, Lommatzsch A, Schuster AK (2020) Systematic review: non-adherence and non-persistence in intravitreal treatment. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 258(10):2077–2090. <https://doi.org/10.1007/s00417-020-04798-2>
 17. Faes L, Bodmer NS, Bachmann LM, Thiel MA, Schmid MK (2014) Diagnostic accuracy of the Amsler grid and the preferential hyperacuity perimetry in the screening of patients with age-related macular degeneration: systematic review and meta-analysis. *Eye (Lond)* 28(7):788–796. <https://doi.org/10.1038/eye.2014.104>
 18. Faes L, Islam M, Bachmann LM, Lienhard KR, Schmid MK, Sim DA (2021) False alarms and the positive predictive value of smartphone-based hyperacuity home monitoring for the progression of macular disease: a prospective cohort study. *Eye (Lond)* 35(11):3035–3040. <https://doi.org/10.1038/s41433-020-01356-2>
 19. Finger RP, Bertram B, Wolfram C, Holz FG (2012) Blindness and Visual Impairment in Germany: A Slight Fall in Prevalence. *Dtsch Arztebl Int* 109(27–28):484–489. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2012.0484>
 20. Flaxman SR, Bourne RRA, Resnikoff S, Ackland P, Braithwaite T, Cicinelli MV, Das A, Jonas JB, Keeffe J, Kempen JH, Leasher J, Limburg H, Naidoo K, Pesudovs K, Silvester A, Stevens GA, Tahhan N, Wong TY, Taylor HR (2017) Global causes of blindness and distance vision impairment 1990–2020: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Glob Health* 5(12):e1221–e1234. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(17\)30393-5](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(17)30393-5)
 21. Franciosi EB, Tan AJ, Kassamali B, Leonard N, Zhou G, Krueger S, Rashighi M, LaChance A (2021) The Impact of Telehealth Implementation on Underserved Populations and No-Show Rates by Medical Specialty During the COVID-19 Pandemic. *Telemed J E Health* 27(8):874–880. <https://doi.org/10.1089/tmj.2020.0525>
 22. Fusi-Rubiano W, Webb R, Narendran N, Yang YC (2021) Identifying early symptoms of choroidal neovascularisation in second eyes of patients with unilateral wet age related macular degeneration using a telephone evaluation method. *Eye (Lond)* 35(11):3028–3034. <https://doi.org/10.1038/s41433-020-01364-2>
 23. Gross N, Bachmann LM, Islam M, Faes L, Schmid MK, Thiel MA, Schimel A, Sim DA (2021) Visual outcomes and treatment adherence of patients with macular pathology using a mobile hyperacuity home-monitoring app: a matched-pair analysis. *BMJ Open* 11(12):e56940. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-056940>
 24. Heier JS, Khanani AM, Quezada Ruiz C, Basu K, Ferrone PJ, Brittain C, Figueroa MS, Lin H, Holz FG, Patel V, Lai TYY, Silverman D, Regillo C, Swaminathan B, Viola F, Cheung CMG, Wong TY (2022) Efficacy, durability, and safety of intravitreal faricimab up to every 16 weeks for neovascular age-related macular degeneration (TENAYA and LUCERNE): two randomised, double-masked, phase 3, non-inferiority trials. *Lancet* 399(10326):729–740. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)00010-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)00010-1)
 25. Ho AC, Heier JS, Holekamp NM, Garfinkel RA, Ladd B, Awh CC, Singh RP, Sanborn GE, Jacobs JH, Elman MJ, Loewenstein A, Eichenbaum DA (2021) Real-World Performance of a Self-Operated Home Monitoring System for Early Detection of Neovascular Age-Related Macular Degeneration. *J Clin Med*. <https://doi.org/10.3390/jcm10071355>
 26. Hoffmann L, Müller S, Bachmann LM, Claessens D, Hatz K (2023) Prospective Study Comparing Quantitative Self-Monitoring Metamorphopsia Measurement Tools in Myopic Choroidal Neovascularization (mCNV). *Clin Ophthalmol* 17:1347–1355. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S395989>
 27. Holz FG, Johnson KT, Bauer-Steinhilber U, Rech C, Machewitz T, Müller S, Finger RP (2020) ANDROMEDA – Eine Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Adhärenz von Patienten mit neovaskulärer altersabhängiger Makuladegeneration mithilfe des neu konzipierten Patientenfragebogens LAF-IVT. *Ophthalmologie* 117(8):765–774. <https://doi.org/10.1007/s00347-019-01005-4>
 28. Huther A, Roh S, Ramsey DJ (2023) Telehealth improves follow-up and monitoring of age-related macular degeneration during the COVID-19 pandemic. *Int Ophthalmol* 43(12):5031–5043. <https://doi.org/10.1007/s10792-023-02906-9>
 29. Islam M, Sansome S, Das R, Lukic M, Teo CKY, Tan G, Balaskas K, Thomas PBM, Bachmann LM, Schimel AM, Sim DA (2021) Smartphone-based remote monitoring of vision in macular disease enables early detection of worsening pathology and need for intravitreal therapy. *BMJ Health Care Inf*. <https://doi.org/10.1136/bmjhci-2020-100310>
 30. Jansen LG, Schultz T, Holz FG, Finger RP, Wintergerst MWM (2022) Smartphone-basierte Fundusfotografie: Anwendungen und Adapter. *Ophthalmologie* 119(2):112–126. <https://doi.org/10.1007/s00347-021-01536-9>
 31. Joseph A, Bullimore M, Drawnel F, Miranda M, Morgan Z, Wang Y-Z (2024) Remote Monitoring of Visual Function in Patients with Maculopathy: The Aphelion Study. *Ophthalmol Ther* 13(1):409–422. <https://doi.org/10.1007/s40123-023-00854-2>
 32. Kaiser PK, Wang Y-Z, He Y-G, Weisberger A, Wolf S, Smith CH (2013) Feasibility of a novel remote daily monitoring system for age-related macular degeneration using mobile handheld devices: results of a pilot study. *Retina* 33(9):1863–1870. <https://doi.org/10.1097/IAE.0b013e3182899258>
 33. Keenan TDL, Loewenstein A (2023) Artificial intelligence for home monitoring devices. *Curr Opin Ophthalmol* 34(5):441–448. <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000981>
 34. Keenan TDL, Goldstein M, Goldenberg D, Zur D, Shulman S, Loewenstein A (2021) Prospective, Longitudinal Pilot Study: Daily Self-Imaging with Patient-Operated Home OCT in Neovascular Age-Related Macular Degeneration. *Ophthalmol Sci* 1(2):100034. <https://doi.org/10.1016/j.xops.2021.100034>
 35. Khurana RN, Hoang C, Khanani AM, Steklov N, Singerman LJ (2021) A Smart Mobile Application to Monitor Visual Function in Diabetic Retinopathy and Age-Related Macular Degeneration: The CLEAR Study. *Am J Ophthalmol* 227:222–230. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2021.03.033>
 36. Kielwasser G, Kodjikian L, Dot C, Burillon C, Denis P, Mathis T (2022) Real-Life Value of the Odysight® Application in At-Home Screening for Exudative Recurrence of Macular Edema. *J Clin Med*. <https://doi.org/10.3390/jcm11175010>
 37. Kim JE, Tomkins-Netzer O, Elman MJ, Lally DR, Goldstein M, Goldenberg D, Shulman S, Benyamini G, Loewenstein A (2022) Evaluation of a self-imaging SD-OCT system designed for remote home monitoring. *BMC Ophthalmol* 22(1):261. <https://doi.org/10.1186/s12886-022-02458-z>

38. Knörr V, Dini L, Gunkel S, Hoffmann J, Mause L, Ohnhäuser T, Stöcker A, Scholten N (2022) Use of telemedicine in the outpatient sector during the COVID-19 pandemic: a cross-sectional survey of German physicians. *BMC Prim Care*. <https://doi.org/10.1186/s12875-022-01699-7>
39. Köhler F, Köhler M, Spethmann S (2023) Telemedizin in der Kardiologie Klinische Kardiologie. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S 1–22
40. Korot E, Pontikos N, Drawnel FM, Jaber A, Fu DJ, Zhang G, Miranda MA, Liefers B, Ginton S, Wagner SK, Struyven R, Kilduff C, Moshfeghi DM, Keane PA, Sim DA, Thomas PBM, Balaskas K (2022) Enablers and Barriers to Deployment of Smartphone-Based Home Vision Monitoring in Clinical Practice Settings. *JAMA Ophthalmol* 140(2):153–160. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2021.5269>
41. J-PO LLH, Ting DSJ, Jeon S, Chan RVP, Kim JE, Sim DA, Thomas PBM, Lin H, Chen Y, Sakomoto T, Loewenstein A, Lam DSC, Pasquale LR, Wong TY, Lam LA, Ting DSW (2021) Digital technology, telemedicine and artificial intelligence in ophthalmology: A global perspective. *Prog Retin Eye Res* 82:100900. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2020.100900>
42. Liu Y, Holekamp NM, Heier JS (2022) Prospective, Longitudinal Study: Daily Self-Imaging with Home OCT for Neovascular Age-Related Macular Degeneration. *Ophthalmol Retin* 6(7):575–585. <https://doi.org/10.1016/j.oret.2022.02.011>
43. Loewenstein A, Ferencz JR, Lang Y, Yeshurun I, Pollack A, Siegal R, Lifshitz T, Karp J, Roth D, Bronner G, Brown J, Mansour S, Friedman S, Michels M, Johnston R, Rapp M, Havalio M, Rafaeli O, Manor Y (2010) Toward earlier detection of choroidal neovascularization secondary to age-related macular degeneration: multicenter evaluation of a preferential hyperacuity perimeter designed as a home device. *Retina* 30(7):1058–1064. <https://doi.org/10.1097/IAE.0b013e3181d1a75e>
44. Maloca P, Hasler PW, Barthelmes D, Arnold P, Matthias M, Scholl HPN, Gerding H, Garweg J, Heeren T, Balaskas K, de Carvalho JER, Egan C, Tufail A, Zweifel SA (2018) Safety and Feasibility of a Novel Sparse Optical Coherence Tomography Device for Patient-Delivered Retina Home Monitoring. *Transl Vis Sci Technol* 7(4):8. <https://doi.org/10.1167/tvst.7.4.8>
45. Mathai M, Reddy S, Elman MJ, Garfinkel RA, Ladd B, Wagner AL, Sanborn GE, Jacobs JH, Busquets MA, Chew EY (2022) Analysis of the Long-term Visual Outcomes of ForeseeHome Remote Telemonitoring: The ALOFT Study. *Ophthalmol Retin* 6(10):922–929. <https://doi.org/10.1016/j.oret.2022.04.016>
46. Mathew R, Sivaprasad S (2012) Environmental Amsler test as a monitoring tool for retreatment with ranibizumab for neovascular age-related macular degeneration. *Eye (Lond)* 26(3):389–393. <https://doi.org/10.1038/eye.2011.326>
47. Mauschwitz MM, Li JQ, Larsen PP, Köberlein-Neu J, Holz FG, Breteler MMB, Finger RP (2019) Epidemiologie hochgradiger Sehbehinderungen und Blindheit älterer Menschen in Deutschland. *Ophthalmologe* 116(2):201–212. <https://doi.org/10.1007/s00347-019-0853-y>
48. McKibbin M, Baker L, Baxter P, Czoski-Murray C, Setty R (2015) The accuracy of home monitoring to detect disease activity during maintenance therapy for neovascular ARMD. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 253(9):1479–1483. <https://doi.org/10.1007/s00417-014-2839-4>

Digital remote monitoring of chronic retinal conditions—A clinical future tool?

Background: In view of the predicted increase in incidence and prevalence of chronic retinal diseases and undersupply of care in the population, telemedicine could contribute to reducing access barriers to healthcare and improving the results of treatment.

Objective: A literature review on remote monitoring of chronic retinal diseases was carried out.

Material and methods: The medical literature was searched for publications on remote monitoring of chronic retinal diseases. The results were compiled in a narrative overview.

Results: The four main topics in the literature are: validation studies, implementation strategies, acceptance/target group analyses and health economic analyses. Remote monitoring systems are based on visual function tests, imaging or patient reports and have been particularly investigated in age-related macular degeneration (AMD) and diabetic eye disease (DED). Studies indicate positive effects regarding an optimization of clinical care and a favorable safety profile but randomized controlled trials are lacking for the majority of monitoring tools.

Conclusion: Remote monitoring could complement existing care structures for patients with chronic retinal diseases, especially AMD and DED. Promising systems are based on hyperacuity or optical coherence tomography, while patient-reported data are not commonly used; however, there is currently insufficient evidence justifying the use of remote monitoring systems in chronic retinal diseases in Europe and more research on the validation of remote monitoring systems is needed.

Keywords

Remote monitoring · Digitalization · Macular edema · Intravitreal injection · Patient safety

49. Nahen K, Benyamini G, Loewenstein A (2020) Evaluierung eines SD-OCT-Systems zur selbstgesteuerten Bildgebung und Fernüberwachung von Patienten mit neovaskulärer altersbedingter Makuladegeneration. *Klin Monbl Augenheilkd* 237(12):1410–1418. <https://doi.org/10.1055/a-1271-6834>
50. Nittala MG, Gella L, Raman R, Sharma T (2012) Measuring retinal sensitivity with the microperimeter in patients with diabetes. *Retina* 32(7):1302–1309. <https://doi.org/10.1097/IAE.0b013e3182365a24>
51. Oakley JD, Verdooner S, Russakoff DB, Brucker AJ, Seaman J, Sahni J, Bianchi CD, Cozzi M, Rogers J, Staurengi G (2023) Quantitative Assessment Of Automated Optical Coherence Tomography Image Analysis Using A Home-Based Device For Self-Monitoring Neovascular Age-Related Macular Degeneration. *Retina* 43(3):433–443. <https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000003677>
52. O'Connor SR, Treanor C, Ward E, Wickens RA, O'Connell A, Culliford LA, Rogers CA, Gidman EA, Peto T, Knox PC, Burton BJL, Lotery AJ, Sivaprasad S, Reeves BC, Hogg RE, Donnelly M, Monarch SG (2022) Patient Acceptability of Home Monitoring for Neovascular Age-Related Macular Degeneration Reactivation: A Qualitative Study. *Int J Environ Res Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013714>
53. Pitrelli Vazquez N, Harding SP, Heimann H, Czanner G, Knox PC (2018) Radial shape discrimination testing for new-onset neovascular age-related macular degeneration in at-risk eyes. *PLoS ONE* 13(11):e0207342. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207342>
54. Prea SM, Kong GYX, Guymer RH, Sivarajah P, Baglin EK, Vingrys AJ (2022) The Short-Term

- Compliance and Concordance to in Clinic Testing for Tablet-Based Home Monitoring in Age-Related Macular Degeneration. *Am J Ophthalmol* 235:280–290. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2021.09.003>
55. Racano E, Malfatti G, Pertile R, Delle Site R, Romanelli F, Nicolini A (2023) A novel smartphone App to support the clinical practice of pediatric ophthalmology and strabismus: the validation of visual acuity tests. *Eur J Pediatr* 182(9):4007–4013. <https://doi.org/10.1007/s00431-023-05058-1>
56. Rojahn K, Laplante S, Sloan D J, Main C, Ibrahim A, Wild J, Sturt N, Areteou T, Johnson KI (2016) Remote Monitoring of Chronic Diseases: A Landscape Assessment of Policies in Four European Countries. *PLoS ONE* 11(5):e155738. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155738>
57. Schmid MK, Thiel MA, Lienhard K, Schlingemann RO, Faes L, Bachmann LM (2019) Reliability and diagnostic performance of a novel mobile app for hyperacuity self-monitoring in patients with age-related macular degeneration. *Eye (Lond)* 33(10):1584–1589. <https://doi.org/10.1038/s41433-019-0455-6>
58. Skrzypceki J, Stańska K, Grabska-Liberek I (2019) Patient-oriented mobile applications in ophthalmology. *Clin Exp Optom* 102(2):180–183. <https://doi.org/10.1111/coo.12830>
59. Teo KYC, Bachmann LM, Sim D, Lee SY, Tan A, Wong TY, Cheung CMG, Tan WGS (2021) Patterns and Characteristics of a Clinical Implementation of a Self-Monitoring Program for Retina Diseases during the COVID-19 Pandemic. *Ophthalmol Retin* 5(12):1245–1253. <https://doi.org/10.1016/j.oret.2021.02.005>

60. Than J, Sim PY, Muttuvelu D, Ferraz D, Koh V, Kang S, Huemer J (2023) Teleophthalmology and retina: a review of current tools, pathways and services. *Int J Retin Vitreous* 9(1):76. <https://doi.org/10.1186/s40942-023-00502-8>
61. Walsh L, Hong SC, Chalakkal RJ, Ogbuehi KC (2021) A Systematic Review of Current Teleophthalmology Services in New Zealand Compared to the Four Comparable Countries of the United Kingdom, Australia, United States of America (USA) and Canada. *Clin Ophthalmol* 15:4015–4027. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S294428>
62. Wang Y-Z, He Y-G, Mitzel G, Zhang S, Bartlett M (2013) Handheld shape discrimination hyperacuity test on a mobile device for remote monitoring of visual function in maculopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 54(8):5497–5505. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-12037>
63. Ward E, Wickens RA, O’Connell A, Culliford LA, Rogers CA, Gidman EA, Peto T, Knox PC, Burton BJL, Lotery AJ, Sivaprasad S, Donnelly M, Treanor C, Hogg RE, Reeves BC (2021) Monitoring for neovascular age-related macular degeneration (AMD) reactivation at home: the MONARCH study. *Eye (Lond)* 35(2):592–600. <https://doi.org/10.1038/s41433-020-0910-4>
64. Westheimer G (1975) Editorial: Visual acuity and hyperacuity. *Invest Ophthalmol* 14(8):570–572
65. Winther C, Frisén L (2015) Self-Testing of Vision in Age-Related Macula Degeneration: A Longitudinal Pilot Study Using a Smartphone-Based Rarebit Test. *J Ophthalmol* 2015:285463. <https://doi.org/10.1155/2015/285463>
66. Wittenborn JS, Clemons T, Regillo C, Rayess N, Liffmann Kruger D, Rein D (2017) Economic Evaluation of a Home-Based Age-Related Macular Degeneration Monitoring System. *JAMA Ophthalmol* 135(5):452–459. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2017.0255>
67. Wu Z, Guymier RH, Jung CJ, Goh JK, Ayton LN, Luu CD, Lawson DJ, Turpin A, McKendrick AM (2015) Measurement of Retinal Sensitivity on Tablet Devices in Age-Related Macular Degeneration. *Transl Vis Sci Technol* 4(3):13. <https://doi.org/10.1167/tvst.4.3.13>
68. Yu HJ, Kiernan DF, Eichenbaum D, Sheth VS, Wykoff CC (2021) Home Monitoring of Age-Related Macular Degeneration: Utility of the ForeseeHome Device for Detection of Neovascularization. *Ophthalmol Retin* 5(4):348–356. <https://doi.org/10.1016/j.oret.2020.08.003>

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.

Aktuelle Buchempfehlungen aus dem Springer-Verlag



GOÄ 2024 Kommentar, IGeL-Abrechnung

Gebührenordnung für Ärztinnen und Ärzte
 Peter M. Hermanns, Enrico Schwartz, Katharina von Pannwitz (Hrsg.)
 XXVII, 902 Seiten
 18., vollst. üb. Aufl. 2024
 Springer-Verlag
 978-3-662-68242-5 (ISBN)
 79,99 €



UV-GOÄ 2024 Kommentar

Mit den neuen Preisen vom 1.10.2023
 Peter M. Hermanns, Enrico Schwartz, Katharina von Pannwitz (Hrsg.)
 XIX, 773 Seiten
 23., vollst. üb. Aufl. 2024
 Springer-Verlag
 978-3-662-68231-9 (ISBN)
 74,99 €



EBM 2024 Kommentar

Peter M. Hermanns, Katharina von Pannwitz (Hrsg.)
 XXIV, 1011 Seiten
 13., vollständig überarbeitete Auflage 2024
 Springer-Verlag
 978-3-662-68657-7 (ISBN)
 84,99 €



EBM 2024 Kommentar Kinderheilkunde

Kompakt: mit Punktangaben, Eurobeträgen, Ausschlüssen, GOÄ-Hinweisen, Referenz
 Peter M. Hermanns, Katharina von Pannwitz (Hrsg.)
 XVIII, 376 Seiten
 5., vollständig überarbeitete Auflage 2024
 Springer-Verlag
 978-3-662-68661-4 (ISBN)
 54,99 €