

## Künstliche Intelligenz in der Kolposkopie, für das Gebärmutterhalskrebs-Screening

Sascha Romatzeck; DEKOM Engineering GmbH

Die Kolposkopie-geführte Biopsie ist entscheidend für die Erkennung von zervikalen intraepithelialen Neoplasien (CIN) und stellt den Hauptengpass dar, der die Screening-Leistung einschränkt. Beispiellose Fortschritte in der künstlichen Intelligenz (KI) ermöglichen die Synergie von Deep Learning und digitaler Kolposkopie, was Chancen für eine automatische bildbasierte Diagnose bietet. Zu den bestehenden Herausforderungen für die Anwendung der Kolposkopie gehören die starke Abhängigkeit von der subjektiven Erfahrung der Operateure, erhebliche Variabilitäten zwischen und innerhalb der Operateure, der Mangel an erfahrenen Untersuchern, an vollwertigen Kolposkopie-Trainingskursen und an einheitlichen Diagnosestandards und strengen Qualitätskontrollen, die von Untersuchern mit begrenzten diagnostischen Fähigkeiten nur schwer befolgt werden können, was zu einer uneinheitlichen Berichterstattung und Dokumentation der Kolposkopie-Eindrücke führt. Organisierte Kolposkopie-Trainingskurse sollten als ein effektiver Weg zur Verbesserung der diagnostischen Fähigkeiten von Untersuchern angesehen werden, aber die Umsetzung dieser Kurse in der Praxis ist nicht immer möglich, um die gesamte diagnostische Leistung in kurzer Zeit zu verbessern. Glücklicherweise hat KI das Potenzial, kolposkopische Engpässe zu beheben, was Untersuchern bei der Beurteilung der Kolposkopie-Bildgebung, der Erkennung von zugrunde liegenden CINs und der Führung von Biopsiestellen unterstützen könnte. Der automatisierte Arbeitsablauf der Kolposkopie-Untersuchung könnte ein neuartiges Modell der Gebärmutterhalskrebs-Früherkennung schaffen, potenziell falsch-negative und falsch-positive Ergebnisse reduzieren und die Genauigkeit der Kolposkopie-Diagnose und der Zervixbiopsie verbessern.

### Schlussfolgerung

Künstliche Intelligenz (KI) hat die Informationstechnologie verändert, indem sie datengesteuerte Lösungen für früher zeitintensive Probleme in großem Maßstab freigeschaltet hat. In den letzten Jahrzehnten haben Forscher erfolgreich gezeigt, wie KI unsere Fähigkeit verbessern kann, medizinische Aufgaben auszuführen, die von der Identifizierung einer diabetischen Retinopathie bis zur Diagnose von kutanen Malignitäten reichen. Mit dem wachsenden Verständnis und der Akzeptanz der KI in der medizinischen Gemeinschaft wächst auch unsere Vorstellung von den vielen Möglichkeiten, wie sie die Patientenversorgung verbessern, klinische Prozesse beschleunigen und die Belastung der medizinischen Fachkräfte verringern kann.

Eine praktische und genaue KI-geführte digitale Kolposkopie hat das Potenzial, die diagnostischen Fähigkeiten bei der Führung der Gebärmutterhalsbiopsie zu stärken, dadurch die Leistung des Gebärmutterhalskrebs-Screenings in LMICs zu verbessern und den Prozess der Eliminierung von Gebärmutterhalskrebs letztendlich zu beschleunigen.

## Die Technologie und künstliche Intelligenz (KI)

Künstliche Intelligenz ist maschinelle Intelligenz, die die kognitive Funktion des Menschen nachahmt. Die KI-Forschung begann in den 1950er Jahren mit den frühesten Anwendungen in Brettspielen, logischem Denken und einfacher Algebra.

Maschinelles Lernen ist eine Technik der künstlichen Intelligenz, bei der Computer Daten verwenden, um ihre Leistung in einer Aufgabe ohne ausdrückliche Anweisung zu verbessern. Beispiele für maschinelles Lernen sind eine Anwendung, die lernt, Spam-E-Mails zu identifizieren und zu verwerfen, oder ein Thermostat, der die Temperaturpräferenzen des Haushalts im Laufe der Zeit lernt. Maschinelles Lernen wird häufig in zwei Kategorien eingeteilt - überwacht und unbeaufsichtigtes Lernen. Beim überwachten Lernen wird eine Maschine mit Daten trainiert, die Paare von Ein- und Ausgängen enthalten. Die Maschine lernt eine Funktion zum Zuordnen der Eingaben zu Ausgaben, die dann auf neue Beispiele angewendet werden können. Die lineare und

logistische Regression, die häufig in der klinischen Forschung eingesetzt wird, sind Beispiele für überwacht maschinelles Lernen, da sie eine Regressionsfunktion erzeugen, die Eingaben mit Ausgaben basierend auf beobachteten Daten korreliert. Beim unbeaufsichtigten Lernen erhalten Maschinen Dateneingaben, die nicht explizit mit Beschriftungen oder Ausgaben gekoppelt sind. Die Maschine hat die Aufgabe, aus der Menge der Objekte ihre eigene Struktur und Muster zu finden. Ein Beispiel für unbeaufsichtigtes Lernen ist das Clustering, bei dem ein System Cluster ähnlicher Datenpunkte aus einem großen Datensatz erstellt.

Das Lernen von Merkmalen bezieht sich auf eine Reihe von Techniken innerhalb des maschinellen Lernens, bei denen Maschinen aufgefordert werden, Merkmale in Rohdaten automatisch zu identifizieren, im Gegensatz zu den Merkmalen, die explizit gekennzeichnet sind. Diese Technik ermöglicht es Maschinen, Merkmale zu lernen und Funktionen zwischen Ein- und Ausgängen abzuleiten, ohne dass die Merkmale im Voraus bereitgestellt werden. Eine Untergruppe des Merkmalslernens ist das Tiefenlernen, bei dem neuronale Netze genutzt werden, die dem biologischen Nervensystem von Tieren nachempfunden sind. Deep Learning ist in der klinischen Medizin besonders wertvoll, da medizinische Daten häufig aus unstrukturiertem Text, Bildern und Videos bestehen, die nicht einfach zu expliziten Merkmalen verarbeitet werden können.

Maschinelles Lernen und insbesondere Deep Learning wurde in großem Umfang bei Aufgaben wie Spielen, Wetter, Sicherheit und Medien eingesetzt.

Deep Learning hat sich auch bei der Durchführung klinischer Aufgaben als vielversprechend erwiesen.

## Die Herausforderungen

Die Kolposkopie ist weit verbreitet, um CINs zu erkennen und Biopsiestellen am Gebärmutterhals bei Frauen mit abnormaler Zytologie, Infektionen mit humanen Papillomaviren (HPV) und klinischen Symptomen bei Verdacht auf Gebärmutterhalskrebs zu bestimmen. Obwohl die Kolposkopie in der

Geschichte einen enormen Beitrag zur Prävention von Gebärmutterhalskrebs geleistet hat, bleibt die Gesamtleistung der Kolposkopie unbefriedigend. Die diagnostische Genauigkeit der zervikalen Biopsie zur Erkennung von CINs ist Berichten zufolge relativ niedrig und liegt zwischen 30 und 70 %. Es gibt sechs Herausforderungen, die zu der unbefriedigenden Genauigkeit der Kolposkopieuntersuchung führen können.

Erstens hängt die diagnostische Leistung der Kolposkopie stark von der subjektiven Erfahrung der Operateure ab, was erfordert, dass die Operateure die wahrgenommenen Veränderungen des Acetowhitening-Epithels (Dicke, Farbe, Unregelmäßigkeit des Randes, Glätte der Oberfläche, Zeitpunkt des Auftretens und Verblässens usw.) erkennen, verarbeiten und mit den bekannten Merkmalen/Kriterien vergleichen. Die Kolposkopie konzentriert sich nicht nur auf die zervikale Bildgebungstechnik, sondern beinhaltet auch die chemische Färbung der zervikalen Epithelzellen, die von der Qualität der Lösung, der Operation und den Beobachtungsmethoden beeinflusst wird; daher gibt es erhebliche inter- und intraoperative Variabilitäten in der Übereinstimmung von kolposkopischen Eindrücken und Pathologie, die von 52 bis 66% reichen.

Zweitens steigt aufgrund des Mangels an erfahrenen Untersuchern die Arbeitsbelastung mit der Ausweitung der Gebärmutterhalskrebs-Screening-Programme, was die diagnostische Ungenauigkeit der Kolposkopie verschärft. Drittens sollte die Organisation von Kolposkopie-Trainingskursen als effektiver Weg angesehen werden, die diagnostischen Fähigkeiten von Untersuchern zu verbessern, aber die Umsetzung dieser Kurse in die Praxis ist möglicherweise nicht immer machbar, um die diagnostische Gesamtleistung in kurzer Zeit zu verbessern, und es kann schwierig sein, sie geografisch zu skalieren. Da außerdem erwartet wird, dass das Auftreten von Gebärmutterhalskrebs mit dem Eintritt von HPV-geimpften Frauen in die Screening-Population abnimmt, wird es für Nachwuchsuntersucher schwierig sein, viele Fälle von hochgradigen Gebärmutterhalsläsionen oder sogar Krebs in der klinischen Praxis zu sehen, was ihre Anhäufung von Fachwissen und Erfahrung einschränkt. Viertens: Obwohl einheitliche diagnostische Standards und strenge

Qualitätskontrollen für die Kolposkopie-Praxis von den relevanten offiziellen Organisationen herausgegeben werden, fällt es vielen Kolposkopie-Praktikern aufgrund der begrenzten diagnostischen Fähigkeiten und der fehlenden professionellen Ausbildung schwer, den standardisierten Empfehlungen für die Praxis der Kolposkopie-Untersuchung zu folgen, was zu einer diskrepanten Berichterstattung und Dokumentation der Kolposkopie-Eindrücke führt. Schließlich kann die diagnostische Leistung der Kolposkopie durch den Wechsel der Screening-Modalität von der Zytologie, dem Zytologie-HPV-Co-Test zum primären HPV-Screening negativ beeinflusst werden, da zervikale Läsionen im Zusammenhang mit HPV-Infektionen wahrscheinlich leichter und schwieriger zu erkennen sind als zytologische Anomalien. Generell ist die Diagnose von Zervixanomalien eine große Herausforderung für die Untersucher.

## Die Lösungen

Obwohl in den letzten Jahren überzeugende Erfolge bei der Prävention und Kontrolle von Gebärmutterhalskrebs erzielt wurden, gibt es immer noch viele Herausforderungen, die weitere innovative Lösungen erfordern. Die kleine Untergruppe der gescreenten Frauen mit einem möglichen hohen CIN-Risiko aus einer großen Population rechtfertigt die Überweisung zur Kolposkopie zur weiteren klinischen Beurteilung. Die variable diagnostische Leistung führt jedoch häufig dazu, dass eine erneute Kolposkopieuntersuchung vorgeschlagen oder als potenziell falsch-negativer Befund interpretiert wird, was eine erhebliche Belastung für die betroffenen Frauen darstellt.

Mit der zunehmenden Digitalisierung von Gesundheitssystemen und Krankenhäusern entwickelt sich auch die traditionelle binokulare Kolposkopie hin zur digitalen Kolposkopie, die es den Untersuchern ermöglicht, für diagnostische Analysen auf hochauflösende Bilder der Zervix zuzugreifen. Obwohl die digitale Kolposkopie die Genauigkeit der zervikalen Untersuchungen erhöht hat, bleibt sie in der klinischen Praxis aufgrund eines hohen Maßes an Variabilität zwischen und innerhalb des Untersuchern suboptimal. Jüngste Fortschritte in der KI können Lösungen bieten, um diese ungelösten

kolposkopischen Engpässe zu überwinden. Die KI-Methoden, wie z. B. die auf Deep Learning basierenden Algorithmen, können Merkmale von zervikalen Läsionen aus annotierten Kolposkopie-Bildern lernen, die dann in die digitale für die automatisierte Kolposkopie integriert werden können. Dieser Ansatz kann die diagnostische Subjektivität der traditionellen Kolposkopie angehen und die Objektivität und Leistung der Kolposkopie mit dynamischer digitaler Bildgebung verbessern. Ein weiterer Vorteil der KI ist, dass sie diagnostische Ergebnisse in Echtzeit melden könnte; daher könnte die Integration von KI-Algorithmen in Kolposkopiegeräten Untersuchern helfen, den klinischen Arbeitsablauf in einer beschäftigten Kolposkopie zu verbessern. Darüber hinaus könnte die Verfügbarkeit einer Cloud-basierten KI-Plattform aufgrund des Ungleichgewichts der medizinischen Ressourcen in städtischen und ländlichen Gebieten die Lücke in der Kolposkopie-Diagnose zwischen Tertiärkrankenhäusern und Krankenhäusern der Primärversorgung verringern. Es ist davon auszugehen, dass die Entwicklung und Anwendung der KI-gesteuerten digitalen Kolposkopie eine wichtige Rolle bei der Optimierung von Kolposkopiediensten und der Erweiterung der klinischen Bildgebung spielen und voraussichtlich die diagnostische Leistung der Kolposkopie durch die Erkennung von CINs und die Führung von Biopsiestellen verbessern wird. Gleichzeitig kann sie auch zu Ausbildungszwecken eingesetzt werden, d.h. als virtueller Assistent, um Kolposkopie-Neulinge so auszubilden, wie es erfahrene Untersucher während ihrer Ausbildung tun würden.

Bei abnormalen Screening-Ergebnissen nach Zytologie oder HPV-Test werden Frauen in der Regel an die Kolposkopie-Klinik überwiesen, um eine AI-geführte digitale Kolposkopie zu evaluieren, einschließlich der Biopsie-Spots, und der Möglichkeiten von zervikalen Läsionen. Und die diagnostischen Ergebnisse werden später von der Pathologie bestätigt, um die Entscheidung über das klinische Management (entweder sofortige Behandlung oder Nachsorge) zu treffen. Während der Kolposkopie-Untersuchung werden fünf sequenzielle Kolposkopie-Bilder erfasst und an eine von zwei verfügbaren klinischen Anwendungen übertragen: (1) ein lokaler KI-Server, der für Gebiete mit schlechten Netzwerkbedingungen geeignet ist,

und (2) eine KI-Cloud, die für Gebiete mit gutem Internetzugang geeignet ist. Beide können eine Echtzeit-Antwort als zusätzliches Diagnosewerkzeug für Untersuchern liefern, nachdem sie ihre kolposkopischen Bilder auf den lokalen AI-Server oder die Cloud-Plattform hochgeladen haben. Es stellt auch ein nützliches Schulungswerkzeug für neue Untersuchern dar.

In den letzten Jahren haben wir eine rasante Entwicklung von Deep-Learning-Techniken zu erleben, die in der medizinischen Bildgebung weit verbreitet sind und beeindruckende Leistungen bei verschiedenen Aufgaben wie der Erkennung von Lungenknoten beim CT und der Klassifizierung von pathologischen Bildern erzielt haben. Derzeit werden große Fortschritte bei der Entwicklung der KI-gesteuerten digitalen Kolposkopie gemacht, um die Effizienz und Genauigkeit der klinischen Diagnose zu verbessern.

## Die Fortschritte bei der Anwendung von Computeralgorithmen auf Zervikalbildern

Trotz der vielversprechenden Leistung der KI bei der Kolposkopie-Bildgebung bleiben einige Herausforderungen und Hindernisse für die weitere Entwicklung und Anwendung bestehen.

Erstens werden mit der steigenden Nachfrage nach Kolposkopie-Bildgebung große Datensätze von Kolposkopie-Bildern von Krankenhäusern generiert. Diese Datensätze werden jedoch selten gut verwaltet, um sie zu beschriften, zu markieren, zu klassifizieren und die Qualität zu kontrollieren. Dies liegt an den unterschiedlichen Arten von Kolposkopie-Geräten, die für die Datenerfassung verwendet werden, und an der uneinheitlichen beschreibenden Terminologie in der Kolposkopie-Praxis, was es schwierig macht, die Daten für das Training und die Validierung der KI-gesteuerten digitalen Kolposkopie zu verwenden. Die Verwaltung der medizinischen Daten ist eine der größten Herausforderungen für die Entwicklung von KI-Modellen. Die ultimative Lösung ist die

Standardisierung der Kolposkopie-Ausrüstung und der Terminologie; dies ist allerdings in der Kürze der Zeit nicht sehr wahrscheinlich. Eine andere sinnvolle Strategie ist es, die KI-Algorithmen weiter zu verbessern, damit sie mit Bildern unterschiedlicher Herkunft und Qualität umgehen können.

Zweitens werden in der klinischen Praxis die dynamischen Veränderungen des Erscheinungsbildes des sich aufhellenden Epithels nach der Anwendung einer 3-5%igen Essigsäurelösung als wichtigste diagnostische Grundlage für Untersuchern angesehen. Die meisten existierenden Studien verwendeten jedoch nur statische Kolposkopie-Bilder und keine realen zervikalen Regionen zur Entwicklung von KI-Modellen, was zu Informationsverzerrungen bei der Merkmalsextraktion von zervikalen Läsionen führt. Dies könnte wiederum die diagnostische Genauigkeit der KI-Modelle beeinträchtigen. Auch die Frage, wie man die KI-Modelle in die vorhandenen Kolposkopie-Bildgebungsgeräte einbettet, wird zur Herausforderung für die KI-Analyse der dynamischen Bildgebung.

Drittens fehlt den aktuellen KI-Modellen die Interpretation der diagnostischen Entscheidungen. Tatsächlich sind Interpretierbarkeit und Erklärbarkeit von KI-Modellen notwendig, um klinische Untersuchern zu unterstützen und relevante Empfehlungen zu geben, wie z. B. den Schweregrad der zervikalen Läsionen, Biopsiestellen und sogar spezifische diagnostische Hinweise. Dies wird es den Untersuchern erleichtern, diese KI-Modelle in der klinischen Praxis zu akzeptieren und könnte sogar zu einem Lehrmittel in Krankenhäusern oder medizinischen Fakultäten werden.

Nicht zuletzt ist die Verwendung von KI-Modellen zur Diagnose einer bestimmten seltenen Gebärmutterhalskrankheit oder komplexer Komplikationen immer noch unzuverlässig, da eine Reihe von Präsentationen in der klinischen Praxis selten sind, was in der Regel nicht für das Training und die Validierung von KI-Modellen ausreicht. Das Konzept der Entwicklung und Anwendung von KI-Modellen in der klinischen Praxis besteht also darin, Untersuchern bei der Verbesserung ihrer diagnostischen Fähigkeiten zu unterstützen, anstatt sie zu ersetzen. Die diagnostischen Ergebnisse des KI-Modells dienen nur als Referenz, und menschliche

Untersuchern sollten weiterhin für das Endergebnis verantwortlich sein.

## Datenqualitätskontrolle und Datensicherheit

Um eine effektive und robuste KI-gestützte digitale Kolposkopie zu entwickeln, müssen qualitativ hochwertige Kolposkopie-Bilder und qualitätskontrollierte Pathologie-Diagnosen als Trainings-Set ausgewählt werden, um die diagnostische Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Die Struktur der Lerndaten ist sehr komplex, insbesondere in LMICs mit einer extrem unausgewogenen medizinischen Ausstattung; dies führt zu umfangreichen Informationsinseln. Es ist notwendig, dass Datenexperten eng mit Untersuchern zusammenarbeiten, um die Rohdaten für die Bildannotation, Klassifizierung und Qualitätskontrolle zu bearbeiten. Da für die Entwicklung eines KI-Modells eine große Menge an Daten benötigt wird, ist das Risiko der Offenlegung des Datenschutzes und der gemeinsamen Nutzung von Daten ein wichtiges Thema. Notwendig ist, dass Datenmanagement und die Systemautorität zu verbessern, Daten zu desensibilisieren und einen umfassenden Datenschutzstandard zu implementieren, um das Risiko der Offenlegung von persönlichen Daten zu reduzieren.

## Zielpositionierung der KI-gesteuerten digitalen Kolposkopie

Die KI-geführte digitale Kolposkopie zielt darauf ab, den Untersuchern zu unterstützen, anstatt ihn zu ersetzen. Außerdem sollten sich Untersuchern nicht auf die KI-gestützte digitale Kolposkopie verlassen, insbesondere nicht bei jungen Untersuchern. Andernfalls besteht für Nachwuchs-Untersucher das Risiko, dass sie ersetzt werden. In der Zwischenzeit sollten Untersuchern ihre Fähigkeiten anhand des KI-gestützten Modells kontinuierlich verbessern und die Probleme in der KI-Interpretation finden, anstatt einfach die KI-gestützte Technologie anzuwenden. Zugegeben, die Kombination von Untersuchern und KI-Modell könnte die diagnostischen Fähigkeiten der Kolposkopie verbessern, das klinische

Urteilsvermögen erweitern und schließlich den Mangel an erfahrenen Kolposkopie-Praktikern kompensieren. Obwohl das KI-Modell in einigen Aspekten eine korrekte bildbasierte subjektive Diagnose stellen kann, berücksichtigen Kolposkopiker oft andere Faktoren, die mit Gebärmutterhalskrebs in Zusammenhang stehen (z. B. Alter, Ergebnisse des Primärscreenings, selbstberichtete Symptome oder klinische Merkmale von vermuteten Gebärmutterhalskrebs-erkrankungen) und sind besser in der Lage, Informationen zu integrieren, um Entscheidungen zu treffen, als Maschinen. Derzeit spielen KI-Produkte eine unterstützende Rolle in der Medizin, z. B. bei der Krebsvorsorge, der Diagnose, der Erkennung von medizinischen Bildern, der Rehabilitation von Krankheiten und der Behandlung. Aber mit der Zeit wird sich die Anwendung weiter ausweiten, da die KI-Modelle angepasst werden, um multimodale Datensätze zu integrieren und zu verdauen. Darüber hinaus bleibt die Funktionspositionierung für die Entwicklung und Anwendung der KI-gesteuerten digitalen Kolposkopie unklar. Gegenwärtig gibt es zwei Hauptmöglichkeiten der Zielentwicklung, die zur Klassifizierung von Kolposkopie-Bildern verwendet wurden. Einige Forscher ziehen es vor, das Ergebnis auf der Grundlage des kolposkopischen Eindrucks von hochgradig oder schlechter Schwelle für die Behandlung zu definieren. Andere basieren das Ergebnis auf dem Schwellenwert für niedriggradige, um die zervikale Biopsie zu leiten und die Zahl der verpassten CIN2+-Diagnosen so weit wie möglich zu reduzieren, was der aktuelle kolposkopische Engpass ist, der die Screening-Leistung einschränkt. Gebraucht wird eine praxisnahe KI-gestützte digitale Kolposkopie, die den Untersucher dabei unterstützt, die zervikale Biopsie präzise zu führen, um die diagnostische Leistung zu verbessern.

Die KI-gesteuerte digitale Kolposkopie kann durch den Aufbau eines interdisziplinären Teams aus Epidemiologen, Untersuchern, Pathologen, KI-Ingenieuren und Produktentwicklern entwickelt und angewendet werden. Die Epidemiologen sollten im gesamten Prozess das Studiendesign steuern, Entscheidungshilfen geben und Forschung und Entwicklung vorantreiben. Wenn Untersuchern die Probleme des aktuellen KI-gestützten Modells in der klinischen Anwendung finden, kann die häufige

Kommunikation zwischen Forschern und KI-Ingenieuren die Entwicklung der KI-gestützten digitalen Kolposkopie fördern. Diese multidisziplinäre Integration verschiedener professioneller Talente wird die enge Zusammenarbeit zwischen Universitäten, Krebsforschungsinstituten, Krankenhäusern und medizinischen Unternehmen fördern, um eine neue Disziplin zu etablieren. Schließlich wird diese innovative Disziplin mehr fortgeschrittene Talente anziehen, um Innovationen auf dem Gebiet der KI zu implementieren, die Entwicklung interdisziplinärer Themen voranzutreiben und die Umwandlung von KI-Algorithmen in klinische Anwendungen zu fördern.

## Entwicklung von KI-Vorschriften und Gesetzen

Derzeit gibt es unzureichende Gesetze und Verordnungen auf nationaler Ebene, um die Entwicklung und Anwendung medizinischer KI-Technologie, Mechanismen zur gemeinsamen Nutzung von Verantwortlichkeiten und die Überwachung von Daten und Datenschutz zu regeln. Die Defizite bergen das Risiko einer unklaren Verantwortung bei KI-Anwendungen, was Innovation und industrielle Entwicklung medizinischer KI behindert. Daher ist es notwendig, eine angemessene rechtliche Regulierung und ethische Anleitung für medizinische künstliche Intelligenz unter den Aspekten der Klärung der Rechtssubjekte, der klaren Aufteilung der rechtlichen Verantwortlichkeiten, des Schutzes der

Daten und der Privatsphäre und der Etablierung sozialer Normen und ethischer Standards für die bessere Anwendung von medizinischen KI-Produkten zur Förderung der menschlichen Gesundheit zu schaffen.

## Fazit

Die Kolposkopie befindet sich auf dem Weg in das digitale Zeitalter mit erheblichen Auswirkungen auf die Entwicklung von KI. Die Kombination von digitaler Kolposkopie und KI könnte aufregende Veränderungen in der Prävention von Gebärmutterhalskrebs bringen, auch wenn noch viele technische, ethische und rechtliche Fragen zu lösen sind. KI-gesteuerte digitale Kolposkopie könnte Untersucher dabei unterstützen, ihre diagnostische Leistung zu verbessern, klinische Arbeitsabläufe zu optimieren und den Druck auf Untersucher und Krankenhäuser zu mindern. Der Aufbau einer Cloud-Plattform-basierten KI-gesteuerten digitalen Kolposkopie könnte ein neuartiges Modell für das Gebärmutterhalskrebs-Screening schaffen und einen gleichberechtigten Zugang zu diagnostischen Werkzeugen für Gebärmutterhalskrebs in allen Regionen ermöglichen.