Eberhard Karls Universität Tübingen
SQ Methodik wissenschaftliches Arbeiten
Kompetenzzentrum Medizindidaktik

Dozentin: Lene Herrigel
Sommersemester 2022

Kapselendoskopie

– positive Aspekte, Limitationen und Weiterentwicklungen

Projektarbeit

Vorgelegt von:

4. Fachsemester

Eingereicht am: 23. Mai 2022

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ..... **i**

Abkürzungsverzeichnis ..... **i**

Abstract **1**

1 Einleitung **2**

2 Methoden **3**

3 Ergebnisse **4**

3.1 Positive Aspekte der Kapselendoskopie 4

3.2 Limitationen der Kapselendoskopie 5

3.2.1 Klinische Limitationen 5

3.2.2 Technische Limitationen 6

3.3 Weiterentwicklung der klassischen Kapselendoskopie in Klinik und Forschung 7

4 Diskussion **9**

Literaturverzeichnis ..... **I**

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Schematischer Aufbau einer Endoskopiekapsel 2

Abkürzungsverzeichnis

GIT	Gastrointestinaltrakt
KE	Kapselendoskopie
MC	Morbus Crohn
MKE	Magnetkapselendoskopie
UKE	Ultraschallkapselendoskopie

Abstract

Einleitung Für die Diagnose pathologischer Veränderungen im Gastrointestinaltrakts (GIT) eignet sich die Kapselendoskopie (KE) sehr gut. Hierbei schlucken Patinnen und Patienten eine Kapsel mit integrierter Kamera, um den GIT darzustellen. Dieses Verfahren ist minimalinvasiv, patientinnen- und patientenfreundlich und risikoarm.

Methoden Es wurde Literatur zum Ursprung, zu aktuellen Themen und zu Weiterentwicklungen der KE ausgewertet.

Ergebnisse Die positiven Aspekte der KE umfassen eine vollständige, nichtinvasive Bildgebung im GIT und eine Verbesserung der Patientinnen- und Patientenfreundlichkeit. Die KE hat sich als effektive Methode zur Diagnostik von Morbus Crohn (MC) erwiesen. Allerdings muss der GIT vorbereitet und von Nahrungsresten gesäubert werden. Die Abhängigkeit von der Motilität des GIT kann zu verschiedenen Problemen führen. Zudem ist keine Untersuchung der Submukosa möglich. Es wird an Weiterentwicklungen gearbeitet, welche die Limitationen zum Teil beheben. So wurde die Magnetkapselendoskopie (MKE) entwickelt, bei der eine kontrollierte Steuerung der Kapsel möglich ist. Ultraschallkapselendoskopie (UKE) erlaubt die Untersuchung tieferer Wandschichten des GIT über die Submukosa hinaus. An Kapseln mit Biopsiefunktion wird geforscht.

Diskussion Studien haben ergeben, dass die Qualität der etablierten KE sehr hoch ist. Nichtsdestotrotz bestehen nach wie vor Einschränkungen, die seit dem Jahr 2000 ungelöst bleiben. Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der KE sind vielversprechend, jedoch noch nicht ohne Nachteile. So lässt sich die MKE nicht bei Patientinnen und Patienten mit magnetischen Implantaten einsetzen, die UKE ist bisher nur kabelgebunden verwendbar und die Zuverlässigkeit der Biopsiekapseln ist zu gering. Es wird außerdem an weiteren Diagnosekapseln geforscht.

1 Einleitung

Die KE wurde Mitte der 1990er-Jahre vom israelischen Ingenieur Gavriel Iddan entwickelt und gilt heutzutage als Goldstandard zur Beurteilung des GIT [1,2] [1]. Seit der Einführung im Jahr 2000 ist sie ein zentraler Bestandteil der Diagnostik von pathologischen Veränderungen im GIT [3]. Die KE hat die Diagnose und Behandlung von Dünndarmerkrankungen revolutioniert und der klinische Einsatz nimmt mehr und mehr zu [4].

Bei der KE wird der GIT mithilfe einer Videokapsel untersucht, welche Aufnahmen von der gesamten Magen- und Darmschleimhaut macht. Patientinnen und Patienten schlucken dafür eine Kapsel, die etwa so groß wie ein Bonbon ist. Im Falle der M2A®-Kapsel (Given Imaging, Jokne'am, ISR), welche in Abbildung 1 dargestellt ist, ist die Kapsel 26 mm x 11 mm groß [5].

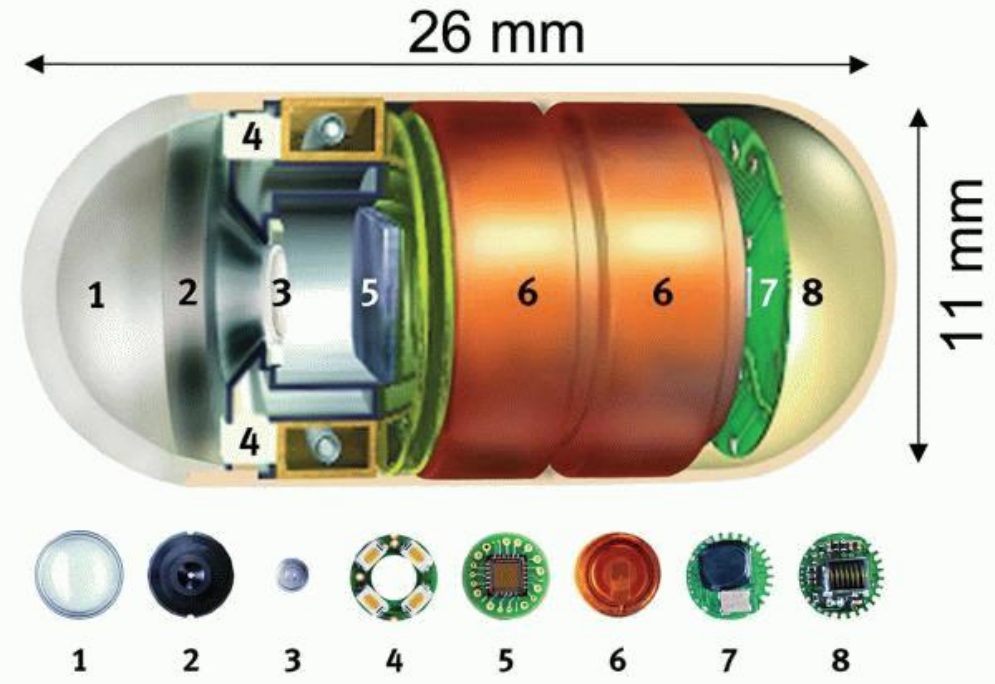


Abbildung 1. Schematischer Aufbau einer Endoskopiekapsel [5]

1 = Optisches Fenster; 2 = Linsenhalter; 3 = Linse; 4 = Beleuchtungs-LEDs;
5 = Kamera; 6 = Batterien; 7 = ASIC-Sender; 8 = Antenne.

Wie in Abbildung 1 erkennbar, ist die Kapsel aus einem optischen Fenster (1), einem Linsenhalter (2) und einer integrierten Linse (3) aufgebaut. Damit die Kamera

[1] In der Projektarbeit wird der Zitierstil „JAMA" verwendet.

(5) möglichst gute Aufnahmen erzeugt, wird der GIT mithilfe von LEDs (4) von innen beleuchtet. Batterien (6) versorgen die Kapsel mit der notwendigen Energie, der ASIC-Sender (7) und die Antenne (8) sind für die Datenübertragung verantwortlich. Die Aufnahmen werden an einen Datenrekorder gesendet, den die Patientinnen und Patienten am Körper tragen. Im Anschluss daran werden die Aufnahmen mit einer speziellen Software ausgewertet und eine entsprechende Therapie kann eingeschlagen werden [5].

Ziel unserer Projektarbeit ist es, positive Aspekte sowie Limitationen der Technologie herauszuarbeiten und anschließend Weiterentwicklungen und Möglichkeiten für die Zukunft der KE aufzuzeigen. Wir haben uns für das Thema entschieden, weil wir fasziniert vom menschlichen Verdauungstrakt sind. Tagtäglich schafft er es, rund drei Kilogramm Nahrung zu verarbeiten und uns dadurch mit der nötigen Energie zu versorgen [6]. Dieses menschliche Wunderwerk gilt es zu schützen. Mit Hilfe der KE kann erstmals eine schmerzfreie endoskopische Darstellung des ganzen Dünndarms und des restlichen GIT durchgeführt werden [3].

Die vorliegende Projektarbeit folgt in ihrem Aufbau der IMRAD-Struktur. Nach dieser Einleitung wird die verwendete Methodik dargestellt. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse der Recherche präsentiert. Dieser Teil bildet den Hauptteil der Projektarbeit und umfasst drei Kapitel. In den ersten zwei Kapiteln werden Vor- und Nachteile der Technologie beschrieben. Teil 3 widmet sich der Analyse von Weiterentwicklungen der klassischen KE. In einer abschließenden Diskussion werden die Ergebnisse kritisch evaluiert und ein Fazit zum Thema “Kapselendoskopie – positive Aspekte, Limitationen und Weiterentwicklungen” gezogen.

2 Methoden

Die vorliegende Arbeit beruht auf einer Literaturrecherche. Vorwiegend wurde mit den wissenschaftlichen Suchmaschinen PubMed und Google Scholar gearbeitet. Suchbegriffe waren unter anderem “*capsule endoscopy*”, “*video capsule endoscopy*”, “*Crohn's disease*” und “*ultrasound endoscopy*”. Die Suchergebnisse wurden nach klinischen Studien gefiltert. Um zu Beginn einen guten Überblick über die Thematik zu erlangen, wurden Review-Artikel herangezogen.

3 Ergebnisse

Die KE ist eine vergleichsweise neuartige Technologie, an der viel geforscht wird. Nachfolgend werden positive Aspekte und Limitationen aufgeführt sowie drei Weiterentwicklungen dieser Technik beleuchtet.

3.1 Positive Aspekte der Kapselendoskopie

Die KE bietet gegenüber der herkömmlichen Endoskopie des GIT verschiedene Vorteile, die einerseits bestehende Untersuchungen für Patientinnen und Patienten und ärztliches Personal verbessern und andererseits neue Diagnosemöglichkeiten eröffnen.

Sie erlaubt – zusammen mit der Computertomografie und der Magnetresonanztomographie – die nichtinvasive Bildgebung des GIT [7]. Dabei besteht weder die Notwendigkeit der Gabe von Kontrastmitteln noch die der Verwendung ionisierender Strahlung [8].

Dieses Verfahren eröffnet zum ersten Mal die Möglichkeit, den gesamten Gastrointestinaltrakt mit nur einer Prozedur zu untersuchen. Insbesondere ist hierbei die Anwendung im Dünndarm interessant, da dieser mit konventionellen Endoskopieverfahren nur schwer darstellbar ist [9].

Auch für Patientinnen und Patienten stellt die KE eine bedeutende Verbesserung gegenüber der herkömmlichen Endoskopie dar. In den meisten Fällen erfolgt das Schlucken der Kapsel ohne Probleme [3,7,9]. Auch das Ausscheiden der Kapsel geschieht meist spontan und ohne die Notwendigkeit einer Intervention [7].

Da das gesamte System in seiner kleinsten Ausführung nur aus der zu schluckenden Kapsel und einem Rekorder für die aufgenommenen Bilder und Daten besteht, müssen Patientinnen und Patienten während der Untersuchung nicht im Krankenhaus verbleiben [7,9].

Diese und weitere Punkte führen dazu, dass der Großteil der befragten Patientinnen und Patienten eine KE einer konventionellen Endoskopie vorzieht [8-10]. Insbesondere wird dabei hervorgehoben, dass keine Sedierung benötigt wird und nur eine Prozedur zur Darstellung des gesamten GIT notwendig ist [9].

Es hat sich gezeigt, dass die KE bei spezifischen pathologischen Veränderungen im Verdauungstrakt besonders geeignet ist. Anhand des Beispiels von Morbus Crohn soll dies aufgezeigt werden. MC ist eine idiopathische Erkrankung, die im gesamten GIT auftreten kann und besonders häufig den Dünndarm betrifft. Hier kann die KE effektiv angewendet werden, aufgrund der Möglichkeit, die Mukosa direkt darzustellen. Dies führt zu einer sehr hohen Sensitivität von 94% für MC und einer signifikant höheren Spezifität gegenüber einer Diagnosestellung durch klassische Verfahren [9]. In einer Studie von Eliakim et al. konnten durch die KE alle Läsionen, welche zuvor durch radiologische Verfahren im Dünndarm der Patientinnen und Patienten entdeckt wurden, gefunden werden. Darüber hinaus konnten weitere in der ersten Untersuchung als normal interpretierte Strukturen als Läsionen identifiziert werden [11]. Dieses für die Untersuchung von MC sehr gut geeignete Verfahren ermöglicht eine Anpassung des Therapieplans nach erfolgter Endoskopie und verbessert so die Behandlung [8].

3.2 Limitationen der Kapselendoskopie

Neben den positiven Aspekten der KE treten während dem klinischen Einsatz einige Probleme auf. Rodonotti et al. haben in einer Studie die Komplikationen klassifiziert. Einerseits werden klinische Limitationen beschrieben, die von Merkmalen der Patientinnen und Patienten ausgehen. Andererseits treten technische Probleme auf, die sich auf die Funktionalität des Gerätes beziehen [12]. Diese Differenzierung wird im Folgenden verwendet, um die Limitationen der KE darzustellen.

3.2.1 Klinische Limitationen

Nahrungsrückstände können die Innenwand des GIT verkleben und schränken die Aufnahmequalität ein. Aus diesem Grund müssen Patientinnen und Patienten vor der KE eine gründliche Darmreinigung durchführen. Zudem wird empfohlen, nach Eintreffen der Kapsel in das Duodenum den behandelten Personen eine weitere Dosis Abführmittel zu verabreichen. Dies löst bei Patientinnen und Patienten Unbehagen aus. Fraglich ist derzeit auch, wann der perfekte Zeitpunkt für die Gabe der Abführmittel ist [13].

In Einzelfällen kann es dazu kommen, dass Patientinnen und Patienten Schwierigkeiten haben, die Kapsel aufgrund ihrer Größe zu schlucken. Wenn trotzdem eine

KE erwünscht ist, kann die betroffene Person sediert und anschließend die Kapsel im Magen platziert werden [12].

Eine weitere klinische Limitation ist das Nicht-Erreichen des Dickdarms während der Aufnahmezeit. Ein Grund dafür kann eine verzögerte Entleerung des Magens sein, sodass die Kapsel zu spät in das Duodenum eintritt [12].

Zudem haben Rodonotti et al. gezeigt, dass es gelegentlich zu einer Retention, also Zurückhaltung der Kapsel, kommt [12]. In einer Studie von den Forscherinnen und Forschern Lim et al. wurden die Retentionsraten ermittelt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Rate bei Patientinnen und Patienten mit Dünndarmtumoren (5,7%) und Morbus Crohn (3,4%) hoch war. Besonders hoch war die Rate zudem bei Kindern unter 10 Jahren (8,3%). Eine KE sollte deshalb in diesen Fällen sorgfältig erwogen werden [4]. Kommt es zur Retention, kann die Kapsel mithilfe radiologischer Verfahren lokalisiert und im Anschluss entfernt werden [14].

Zuletzt sei gesagt, dass die klassische KE stark abhängig von der Motilität des Verdauungstrakts ist. An manchen Stellen wird die Kapsel schneller transportiert, an anderen dagegen langsamer. Das führt zu ungenauen Ergebnissen und teilweise werden manche Strukturen, wie die duodenale Papilla, gar nicht abgebildet [15].

3.2.2 Technische Limitationen

Einige technische Probleme erschweren derzeit die endoskopische Untersuchung mit einer Kapsel. Allen voran limitiert eine zu schwache Batterieleistung die vollständige Untersuchung des Magen-Darm-Traktes. Diese und andere Faktoren können eine Unterbrechung der Aufzeichnung bedingen [12]. Weiterhin ist die Biopsie bei der KE noch kein klinischer Standard. Gewebeproben können demnach nicht während der Untersuchung entnommen werden [10].

Außerdem hat sich gezeigt, dass eine KE des Magens mit ungefähr 30 Minuten länger dauert als eine Gastroskopie. Zudem haben die Forscherinnen und Forscher Lio et al. die Behandlungskosten verglichen, wobei die KE etwas schlechter abschnitt als die Gastroskopie [10].

Es sollte auch nicht unerwähnt bleiben, dass die KE derzeit noch keine Untersuchung der tieferliegenden Wandschichten ermöglicht und pathologische Veränderungen in diesen nicht erkannt werden können [16].

Hieraus ergibt sich, dass die KE klinische und technische Limitationen aufweist, die minimiert werden sollten. Bereits existierende Weiterentwicklungen werden im Folgenden dargestellt.

3.3 Weiterentwicklung der klassischen Kapselendoskopie in Klinik und Forschung

Wie zuvor aufgezeigt, stellt die Abhängigkeit von der Motilität des GIT ein Problem für die Kapselendoskopie dar. Dadurch wird die Untersuchung des Magens erschwert [15]. Hier setzt die Technik der Magnetkapselendoskopie an, so auch das Navicam™ Stomach Capsule System (Ankon Technologies, Wuhan, CHN). Die erstmals 2012 eingesetzte Technik beruht auf der magnetischen Steuerung der Kapsel mittels extern generierter Magnetfelder. Diese werden über Elektromagnete erzeugt, welche in einen Roboterarm integriert sind. In der Kapsel ist ein Permanentmagnet verbaut. Die Steuerung der Kapsel erfolgt über eine Änderung des Abstandes zwischen Patientin oder Patient und Elektromagnet [17,18]. Diese Technik bietet viele Vorteile. Sie ermöglicht eine gezielte Untersuchung des proximalen und distalen Magens mit einer mittleren Untersuchungsdauer von 21 Minuten [7]. Neben der manuellen Steuerung der Kapsel ist außerdem eine automatische Untersuchung mit vorprogrammierten Abläufen möglich. Dabei weisen die Untersuchungsergebnisse eine vergleichbare Qualität wie die der klassischen Endoskopie auf [10]. Die Kapsel kann aktiv durch den Pylorus geleitet werden, wodurch die Transitzeit verringert wird. Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer vollständigen GIT Untersuchung [18]. Auch wenn die MKE schon seit mehreren Jahren auf dem Markt verfügbar ist, weist sie einige Probleme auf [17]. Da die Steuerung der Kapsel über starke außenliegende Magnete erfolgt, kann diese Art der Untersuchung nicht bei Patientinnen und Patienten mit Herzschrittmachern und anderen magnetischen Implantaten durchgeführt werden [18]. Auch ist die MKE teurer als die klassische Endoskopie [10].

Um eine Untersuchung des GIT mittels Endoskopiekapseln auf tieferliegende Wandschichten auszuweiten, wird derzeit die Ultraschallkapselendoskopie

entwickelt [19]. Durch diese Technik ist es möglich, hochauflösende Bilder der Submukosa zu erzeugen und Aufschluss über Ihre Zusammensetzung und Struktur zu erhalten. Die Untersuchungstiefe beträgt dabei 69,0 µm. Die UKE steht am Anfang ihrer Entwicklung und es müssen noch einige Hürden überwunden werden, bis sie klinisch einsetzbar ist. Der Motor und der Ultraschallgenerator nehmen viel Platz ein, was den Einbau einer Batterie, kabellose Kommunikationstechnik, Ortungstechnik und Technik zur kontrollierten Bewegung der Kapsel verhindert. Momentan kann der Prototyp daher nur kabelgebunden betrieben werden. Zudem verursacht die Kapselhülle sogenannte „Ring-down-Artefakte“, welche die Sichtbarkeit der zu untersuchenden Schleimhautschicht verringern [16].

Aktuell werden Kapselendoskope entwickelt, welche zusätzlich Biopsien durchführen. Kong et al. arbeiten an einer Kapsel mit einer rotierenden Klinge, womit Epithelgewebe abgetragen und aufgenommen werden kann. Dies wurde erfolgreich an einem Hasen durchgeführt [20]. Ein anderes von Park et al. vorgestelltes System beruht auf einem in die Kapsel integriertem Microspike. Nach Einstechen bleibt das zu untersuchende Gewebe an dessen Widerhaken hängen [21]. Trotz guter ex vivo Ergebnisse schränken verschiedene Probleme die Anwendung der beiden Systeme ein. Zum einen sind sie nicht steuerbar, zum anderen ist die Gewebeentnahme innerhalb des Erfassungsbereichs der Kamera nicht möglich. Des Weiteren ist nur eine Biopsieentnahme pro Untersuchung möglich, was die Erfolgsquote erheblich senkt [22,23]. Yim et al. arbeiten an Lösungen für genau diese Einschränkungen. Sie entwickelten ein magnetisch steuerbares Kapselendoskop – MASCE – mit Biopsiemöglichkeit. Die Biopsie erfolgt mittels Mikrogreifern, µ-gripper genannt. Diese befinden sich in der Transportkammer der Kapsel und werden von dort ausgeschüttet. Sie binden an Teile des Epithelgewebes und lösen diese heraus. Anschließend werden sie von der Kapsel eingesammelt. Diese Technik bietet mehrere Vorteile. So können Bereiche im GIT angesteuert werden, um von dort Biopsien zu gewinnen. Mit dem Einsatz mehrerer Hundert µ-gripper sind viele verschiedene und großflächige Biopsien möglich. Dennoch ist das Konzept noch nicht ausgereift. Die Lokalisation und Steuerung der Kapsel müssen verbessert werden, um gezielt das gewünschte Gewebe entnehmen zu können. Auch das Einsammeln der freigesetzten µ-gripper muss zuverlässiger werden, obwohl diese für Patientinnen und Patienten ungefährlich sind und ausgeschieden werden können [22].

Die hier vorgestellten Systeme stellen eine Auswahl an Weiterentwicklungen der klassischen KE dar. Des Weiteren wird an Systemen zur kontrollierter Medikamentenfreisetzung und automatischen Detektion von Blutungen gearbeitet [22,24,25].

4 Diskussion

Die KE hat sich seit ihrer erstmaligen Verwendung im Jahr 2000 zu einem integralen Bestandteil in der Diagnose von Pathologien im GIT entwickelt [18,26,27]. Die Verträglichkeit dieser modernen Technik wurde eingehend untersucht und in verschiedenen Studien als sehr gut bewertet [7,9,28]. Insbesondere eine Studie von Zhao et al., bei der eine KE bei allen 3182 Patientinnen und Patienten erfolgreich durchgeführt wurde, zeigt auf, wie zuverlässig diese Methode ist [7]. Dies zusammen mit der Tatsache, dass sich die KE in mehreren Studien als die von Patientinnen und Patienten bevorzugte Untersuchungsmethode herausgestellt hat, verdeutlicht den Stellenwert der KE im klinischen Alltag [8-10].

Nichtsdestotrotz stößt die KE in verschiedenen Aspekten an ihre Grenzen, allen voran die mangelnde Batteriekapazität [12,16,18]. Hier sind aktuelle Lösungsansätze noch mit Abstrichen in der Qualität der Untersuchung verbunden. Einerseits erhöht der Einbau einer größeren Batterie mit höherer Kapazität die mögliche Untersuchungsdauer und somit die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Endoskopie. Andererseits erschwert sie das Schlucken der Kapsel und erhöht das Risiko einer Retention. Alternativ haben moderne Kapseln die Möglichkeit, die Bildrate dynamisch anzupassen, wodurch an Orten langsamerer Propulsion weniger Bilder pro Sekunde übertragen werden, um so Batterieleistung einzusparen. Dies reduziert jedoch die diagnostische Aussagekraft und ist somit kritisch zu betrachten [29].

Das Ziel der zuvor beschriebenen MKE ist ebenfalls, den Anteil erfolgreicher Endoskopien des GIT zu erhöhen. Dabei geht jedoch einer der großen Vorteile der KE – die Möglichkeit, sich während der Untersuchung frei zu bewegen – verloren. Grund dafür ist die aufwendige externe Steuereinheit der Kapsel. Es ist zu erwarten, dass die höheren Kosten dieser Methode mit vermehrtem klinischem Einsatz sinken werden, sodass die MKE eine vielversprechende Weiterentwicklung ist [18].

UKE ist eine experimentelle Neuentwicklung auf dem Gebiet der KE und verspricht viele neue und interessante Anwendungsgebiete zu eröffnen. Bisher wurde diese Technik allerdings nur im Tierversuch an lediglich zwei Schweinen und dort nur im Ösophagus und Dünndarm erprobt. Eine Aussage über Qualität und Anwendbarkeit beim Menschen kann so noch nicht getroffen werden. Der bestehende Prototyp kann bislang nur kabelgebunden betrieben werden. Dies erschwert einen Vergleich mit bestehenden Methoden, da so das größte Alleinstellungsmerkmal der KE verloren geht [16].

Auch die Systeme mit integrierter Biopsie sind noch sehr experimentell. Keines ist in der Lage, zuverlässig Biopsien vom gewünschten Gewebe zu entnehmen. Außerdem wurden die drei Verfahren bisher nur in geringer Anzahl ex vivo an Tiergewebe erprobt. Beim MASCE System besteht zusätzlich das Problem einer sehr geringen Einsammlungsrate der µ-gripper von 3%. Die eingesammelten µ-gripper können zudem nur schwer ihrem individuellen Ort der Entnahme zugeordnet werden [22]. Belastbare Untersuchungsergebnisse erscheinen so schwierig zu erlangen.

Neben der Weiterentwicklung von bildgebenden Kapseln wurden seit dem Aufkommen der KE auch andere Diagnosekapseln entwickelt. Deren Zielsetzung steht mit der der KE in Zusammenhang und eröffnet interessante Alternativen. So die HemoPill® acute (Ovesco Endoscopy AG, Tübingen, DEU), welche mittels photometrischer Sensoren Blutungen im GIT erkennen soll, ohne die Notwendigkeit der zeitaufwendigen Sichtung von Bildmaterial [24]. Anwendungsgebiete können hier das Feststellen akuter Blutungen im GIT und die Priorisierung von Patientinnen und Patienten für eine Endoskopie sein [30]. Die HemoPill® acute verspricht die Diagnosestellung mittels KE oder klassischer Endoskopie zu unterstützen und wichtige Ressourcen effektiv zu nutzen.

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war, positive Aspekte der KE aufzuzeigen, diesen Limitationen gegenüberzustellen und Weiterentwicklungen zu beleuchten. Zusammenfassend ist festzustellen, dass es in den mehr als 20 Jahren, seit dem Aufkommen der KE viele Entwicklungen gab. Dadurch wurde diese Methode auf ihren heutigen technischen Stand gebracht und ist somit im klinischen Alltag unverzichtbar. Die Qualität der Diagnosestellung von Pathologien im GIT wurde sowohl aus Sicht der Patientinnen und Patienten, also auch aus der des ärztlichen Personals, erheblich verbessert. Wir empfinden dieses Endoskopieverfahren als für

Patientinnen und Patienten gut begreiflich und dadurch wenig einschüchternd. Das Schlucken von Medikamentenkapseln ist vielen vertraut, was die Akzeptanz und Kooperation steigert. Trotz allem bestehen nach wie vor Limitationen in der Anwendung. Für einige davon gibt es vielversprechende Lösungsansätze, andere sind seit der ersten Verwendung der KE relevant, bleiben aber ungelöst. KE ist ein aktives Forschungsgebiet in dem innovative neue Ideen entstehen und regelmäßig neue Studien durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis

1. Iddan GJ. A Short History of the Gastrointestinal Capsule. In: Keuchel M, Hagenmüller F, Tajiri H, eds. *Video Capsule Endoscopy: A Reference Guide and Atlas*. Springer Berlin Heidelberg; 2014:1-3.
2. Becker V. Beurteilung des Dünndarms mit einer Videokapsel 2022. Accessed 10.05.2022, https://gastroenterologie-isartor.de/kapselendoskopie.
3. Iddan G, Meron G, Glukhovsky A, Swain P. Wireless capsule endoscopy. *Nature*. May 25 2000;405(6785):417. doi:10.1038/35013140
4. Lim YJ, Lee OY, Jeen YT, et al. Indications for Detection, Completion, and Retention Rates of Small Bowel Capsule Endoscopy Based on the 10-Year Data from the Korean Capsule Endoscopy Registry. *Clin Endosc*. Sep 2015;48(5):399-404. doi:10.5946/ce.2015.48.5.399
5. Blaha B, Gschwantler M. Kapselendoskopie: Sinn oder Unsinn. *Journal für Gastroenterologische und Hepatologische Erkrankungen*. 2004;2(1):25-28.
6. Wilp R. Wunderwerk weltmeisterlicher Verdauung. Accessed 10.05.2022, https://herd-und-hof.de/ernaehrung-/wunderwerk-weltmeisterlicher-verdauung.html.
7. Zhao AJ, Qian YY, Sun H, et al. Screening for gastric cancer with magnetically controlled capsule gastroscopy in asymptomatic individuals. *Gastrointest Endosc*. Sep 2018;88(3):466-474.e1. doi:10.1016/j.gie.2018.05.003
8. Hansel SL, McCurdy JD, Barlow JM, et al. Clinical Benefit of Capsule Endoscopy in Crohn's Disease: Impact on Patient Management and Prevalence of Proximal Small Bowel Involvement. *Inflammatory Bowel Diseases*. 2018;24(7):1582-1588. doi:10.1093/ibd/izy050
9. Bruining DH, Oliva S, Fleisher MR, Fischer M, Fletcher JG. Panenteric capsule endoscopy versus ileocolonoscopy plus magnetic resonance enterography in Crohn's disease: a multicentre, prospective study. *BMJ Open Gastroenterol*. Jun 2020;7(1)doi:10.1136/bmjgast-2019-000365
10. Liao Z, Hou X, Lin-Hu EQ, et al. Accuracy of Magnetically Controlled Capsule Endoscopy, Compared With Conventional Gastroscopy, in Detection of Gastric Diseases. *Clin Gastroenterol Hepatol*. Sep 2016;14(9):1266-1273.e1. doi:10.1016/j.cgh.2016.05.013

11. Eliakim R, Fischer D, Suissa A, et al. Wireless capsule video endoscopy is a superior diagnostic tool in comparison to barium follow-through and computerized tomography in patients with suspected Crohn's disease. *European Journal of Gastroenterology & Hepatology*. 2003;15(4):363-367.

12. Rondonotti E, Herrerias JM, Pennazio M, Caunedo A, Mascarenhas-Saraiva M, de Franchis R. Complications, limitations, and failures of capsule endoscopy: a review of 733 cases. *Gastrointest Endosc*. Nov 2005;62(5):712-6; quiz 752, 754. doi:10.1016/j.gie.2005.05.002

13. Xavier S, Rosa B, Monteiro S, et al. Bowel preparation for small bowel capsule endoscopy - The later, the better! *Dig Liver Dis*. Oct 2019;51(10):1388-1391. doi:10.1016/j.dld.2019.04.014

14. Caunedo-Alvarez A, Romero-Vazquez J, Herrerias-Gutierrez JM. Patency and Agile capsules. *World J Gastroenterol*. Sep 14 2008;14(34):5269-73. doi:10.3748/wjg.14.5269

15. Kong H, Kim YS, Hyun JJ, et al. Limited ability of capsule endoscopy to detect normally positioned duodenal papilla. *Gastrointest Endosc*. Oct 2006;64(4):538-41. doi:10.1016/j.gie.2006.02.028

16. Qiu Y, Huang Y, Zhang Z, et al. Ultrasound Capsule Endoscopy With a Mechanically Scanning Micro-ultrasound: A Porcine Study. *Ultrasound Med Biol*. Mar 2020;46(3):796-804. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2019.12.003

17. Kim SH, Chun HJ. Capsule Endoscopy: Pitfalls and Approaches to Overcome. *Diagnostics (Basel)*. Sep 25 2021;11(10)doi:10.3390/diagnostics11101765

18. Luo Y-Y, Pan J, Chen Y-Z, et al. Magnetic Steering of Capsule Endoscopy Improves Small Bowel Capsule Endoscopy Completion Rate. *Digestive Diseases and Sciences*. 2019/07/01 2019;64(7):1908-1915. doi:10.1007/s10620-019-5479-z

19. Cox BF, Stewart F, Lay H, et al. Ultrasound capsule endoscopy: sounding out the future. *Ann Transl Med*. May 2017;5(9):201. doi:10.21037/atm.2017.04.21

20. Kong K-C, Cha J, Jeon D, Cho D-iD. A rotational micro biopsy device for the capsule endoscope. IEEE; 2005:1839-1843.

21. Park S, Koo K-i, Bang SM, Park JY, Song SY. A novel microactuator for microbiopsy in capsular endoscopes. *Journal of Micromechanics and Microengineering*. 2008;18(2):025032.

22. Yim S, Gultepe E, Gracias DH, Sitti M. Biopsy using a magnetic capsule endoscope carrying, releasing, and retrieving untethered microgrippers. *IEEE Trans Biomed Eng*. Feb 2014;61(2):513-21. doi:10.1109/tbme.2013.2283369

23. Kong K, Yim S, Choi S, Jeon D. A robotic biopsy device for capsule endoscopy. *Journal of Medical Devices*. 2012;6(3)

24. Brunk T. Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Videokapselendoskopie. *Der Gastroenterologe*. 2022:1-9.

25. Munoz F, Alici G, Li W. A review of drug delivery systems for capsule endoscopy. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2014/05/01/ 2014;71:77-85. doi:https://doi.org/10.1016/j.addr.2013.12.007

26. de Leusse A, Vahedi K, Edery J, et al. Capsule Endoscopy or Push Enteroscopy for First-Line Exploration of Obscure Gastrointestinal Bleeding? *Gastroenterology*. 2007/03/01/ 2007;132(3):855-862. doi:https://doi.org/10.1053/j.gastro.2006.12.002

27. Scharinger L, Aigner E, Datz C. Diagnostik der obskuren gastrointestinalen Blutung-Stellenwertvon Kapselendoskopie und Doppelballonenteroskopie. *Journal für gastroenterologische und hepatologische Erkrankungen*. 2007;5(4):22-27.

28. Al-Bawardy B, Locke G, Huprich JE, et al. Retained capsule endoscopy in a large tertiary care academic practice and radiologic predictors of retention. *Inflammatory bowel diseases*. 2015;21(9):2158-2164.

29. Liao Z, Xu C, Li Z-S. Completion rate and diagnostic yield of small-bowel capsule endoscopy: 1 vs. 2 frames per second. *Endoscopy*. 2010;42(05):360-364.

30. Schostek S, Zimmermann M, Keller J, et al. Telemetric real-time sensor for the detection of acute upper gastrointestinal bleeding. *Biosensors and Bioelectronics*. 2016;78:524-529.