

Die intraoperative Hyperspektral-Bildgebung in der Viszeralchirurgie

Nicht-invasive Beurteilung physiologischer Gewebe-Parameter gastrointestinaler Anastomosen

I. Gockel¹, J. P. Takoh¹, C. Chalopin²,
B. Jansen-Winkel¹

Zusammenfassung

Die Hyperspektral-Bildgebung (HSI = HyperSpectral Imaging) ist ein neues Bildgebungsverfahren, das für die Erkennung von Strukturen und für die Auswertung der Gewebedurchblutung, -oxygenierung sowie dessen Wasserhaushalts in der Wundtherapie vielversprechende Ergebnisse gezeigt hat. Wir konnten das System erstmals nutzen, um in vivo gastrointestinale Anastomosen in der Viszeralchirurgie zu beurteilen. HSI bietet als kontaktfreie, nicht-invasive und kontrastmittellose intraoperative Bildgebungsmethode eine objektive „real time“-Messung physiologischer Anastomosenparameter, die möglicherweise dazu beitragen kann, die „ideale“ Anastomosenregion /-höhe zu determinieren, um somit im Sinne der Präzisionsmedizin potenziell zu mehr Sicherheit für die Anastomosenheilung beizutragen.

Die „Image-guided Surgery“, das heißt die chirurgische Prozedur, bei der bildgestützte (prä- oder intraoperative) Verfahren angewandt werden, um (indirekt) durch die Operation zu leiten, spielt in der modernen Viszeralchirurgie eine immer größere Rolle. Sie wird aktuell nicht nur zur besseren Differen-

zierbarkeit von anatomischen Strukturen angewandt, sondern auch von physiologischen Zuständen, mit konsekutiver Möglichkeit der Änderung der OP-Strategie beziehungsweise des operativen Vorgehens zwecks Optimierung des OP-Ergebnisses und Vermeidung von Komplikationen.

Bei der Anlage gastrointestinaler Anastomosen spielt neben der obligatorischen Spannungsfreiheit und nahttechnischen Perfektion sowie Patienten- und Gewebe-spezifischen Faktoren die gute Durchblutung der zu anastomosierenden Regionen eine zentrale Rolle für die Heilung. Ist diese aus verschiedenen Gründen kompromittiert, kann es im postoperativen Verlauf zu einer Anastomoseninsuffizienz (AI) kommen. Hierbei handelt es sich um eine der schwerwiegendsten Komplikationen in der Viszeralchirurgie, oftmals einhergehend mit einer lokalen oder generalisierten Peritonitis bis zur Sepsis, mit der möglichen Konsequenz einer erforderlichen Revisions-Operation, einem deutlich verlängerten stationären Aufenthalt und einer erhöhten Mortalität.

Das komplexe System der Durchblutung des Magen-Darm-Trakts bis zur Kapillarebene ist für das bloße Auge des Chirurgen im operativen Situs nicht mit absoluter Genauigkeit und objektiv-reproduzierbar zu evaluieren. Somit erfolgte die herkömmliche intraoperative Beurteilung der Durchblutungssituation der beiden zu anastomosierenden Komponenten beziehungsweise die Selektion der „optimalen“ Anasto-

mosenregion rein klinisch (zum Beispiel tastbarer Puls der versorgenden Gefäße 2. oder 3. Ordnung, Rosigkeit/Vitalität der gastrointestinalen Strukturen, Motilität). Diese klinischen Parameter können allerdings weder die am besten durchblutete und idealerweise zu anastomosierende Region des Intestinaltrakts, noch das Risiko einer Anastomoseninsuffizienz vorhersagen. In den letzten Jahren haben neue Techniken, wie die Near-InfraRed (NIR)-Fluoreszenz mit Indocyanongrün (ICG), eine vielversprechende Methodik zur „real time“-Beurteilung der intestinalen Perfusion, insbesondere in der kolorektalen Chirurgie, dazu beigetragen, die Anastomosenkomplikationen zu senken [1 – 5].

Insbesondere konnte die PILLAR II-Multizenterstudie in beeindruckender Weise darstellen, dass keine Anastomosenleckagen bei denjenigen Patienten auftraten, bei welchen das intraoperative Vorgehen aufgrund einer inadäquaten Perfusion in der Fluoreszenz-Angiographie revidiert wurde [6]. Allerdings handelt es sich hierbei um eine invasive Methodik, bei der der fluoreszierende Farbstoff, der als Indikatortsubstanz intravenös verabreicht wird, in Abhängigkeit von der Leberleistung mit einer Halbwertszeit von circa drei bis vier Minuten aus dem Körper eliminiert wird. Nebenwirkungen, wie anaphylaktischer Schock, Blutdruckabfälle, Tachykardie, Dyspnoe und Urtikaria sind in einzelnen Fällen beschrieben worden und das Risiko schwerer Nebenwirkungen steigt bei Patienten mit chronischer Niereninsuffizienz bis

¹ Klinik für Viszeral-, Transplantations-, Thorax- und Gefäßchirurgie, Universitätsklinikum Leipzig, AöR

² Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS), Universität Leipzig (Direktor: Prof. Dr. med. Andreas Melzer)

zu sehr seltenen Todesfällen. Einen weiteren Nachteil stellt die subjektive Evaluation der Fluoreszenz-Intensität mittels visueller Beurteilung des Chirurgen zusätzlich zur Invasivität der Methodik bei i.v.-Verabreichung des Farbstoffs mit entsprechenden Limitationen dieser Technologie dar. Zum aktuellen Zeitpunkt bestehen keine fundierten Optionen zur objektiven und quantitativen ICG-Messung der Gewebepfusion.

Als erstem viszeralkirurgischem Zentrum in Deutschland steht seit 2017 der Klinik und Poliklinik für Viszeral-, Transplantations-, Thorax- und Gefäßchirurgie in Kooperation mit dem ICCAS (Innovation Center Computer Assisted Surgery) der Universität Leipzig das intraoperative Hyperspektral-Imaging zur Beurteilung gastrointestinaler Anastomosen zur Verfügung. Hierbei handelt es sich um ein relativ neues i.v.-Bildgebungsverfahren, das für die Erkennung von Strukturen und für die Auswertung der Gewebedurchblutung vielversprechende Ergebnisse gezeigt hat [7]. Als

eindeutigen Vorteil gegenüber der oben genannten ICG-Technik und anderen intraoperativen Bildgebungsverfahren findet sich hier die Nicht-Invasivität der Methode mit einer objektiven und reproduzierbaren Dokumentation der intraoperativen Perfusion in der gastrointestinalen Chirurgie. Bisherige Anwendungen der Hyperspektral-Bildgebung fanden sich überwiegend in der plastischen Chirurgie zur Beurteilung der Durchblutung von Lappenplastiken oder Transplantaten und bei chronischen Wunden zur Beurteilung der Wundregeneration (zum Beispiel Brandwunden, diabetischer Fuß oder bei Patienten mit peripherer arterieller Verschlusskrankheit (pAVK)) [8 – 11]. In der letzten Zeit findet sich auch ein zunehmender Einsatz bei der Detektion von Tumoren beziehungsweise der Differenzierung von Gewebestrukturen (zum Beispiel maligne vs. benigne Läsion), wie beispielsweise bei kolorektalen Karzinomen [12 – 13].

Dieses mit nur geringem Aufwand intraoperativ anwendbare, kontaktlose



Abb. 1: Aufbau der Hyperspektral-Kamera (TIVITA™ Tissue T2- Kameranystem) mit Monitor zur Beurteilung der Anastomosenperfusion.

und nicht-invasive, strahlungsfreie Verfahren benötigt eine Messdauer von nur wenigen Sekunden und stört den operativen Ablauf somit nicht beziehungsweise verlängert die OP-Zeit nur minimal. Abb. 1 zeigt den Aufbau der Hyperspektral-Kamera (TIVITA™ Tissue T2-Kamerasystem der Firma Diaspective Vision [Pepelow, Deutschland]) mit Monitor. Die Methodik kombiniert das Prinzip der Spektroskopie mit der

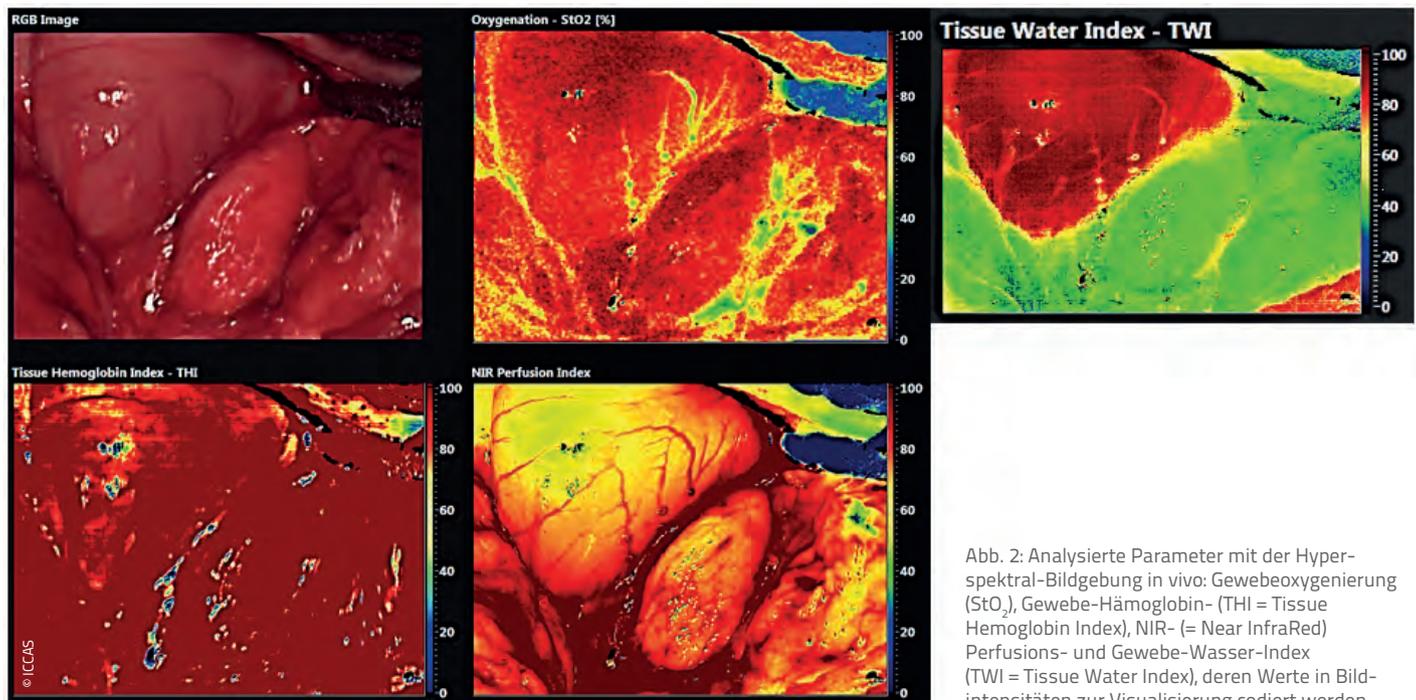


Abb. 2: Analytierte Parameter mit der Hyperspektral-Bildgebung in vivo: Gewebeoxygenierung (StO₂), Gewebe-Hämoglobin- (THI = Tissue Hemoglobin Index), NIR- (= Near InfraRed) Perfusions- und Gewebe-Wasser-Index (TWI = Tissue Water Index), deren Werte in Bildintensitäten zur Visualisierung codiert werden.

Bildgebung, wobei das untersuchte Gewebe mit Licht im visuellen und nahinfraroten Spektrum beleuchtet und das vom Gewebe remittierte Licht gemessen wird [14]. Die Kamera zeichnet den sichtbaren (VIS) und nahen Infrarotbereich (NIR) auf und die Aufnahme­fläche kann über größere OP-Gebiete im Abdomen festgelegt werden. Das Funktionsprinzip ist ähnlich dem eines Gewebeoxymeters. Allerdings werden bei der Hyperspektral-Bildgebung nicht nur punktuelle Informationen ausgelesen, sondern bildgebend ganze 2D-Darstellungen für verschiedene pathophysiologische Gewebeparameter zur Verfügung gestellt. Folgende Parameter werden somit aus den gemessenen Lichtspektren in vivo berechnet: Gewebeoxygenierung (StO_2), Gewebe-Hämoglobin- (THI), NIR-Perfusion- und Gewebe-Wasser-Index (TWI). Deren Werte werden in Bildintensitäten zur Visualisierung codiert (Abb. 2). Die Beurteilung dieser Parameter erfolgt mit Hilfe eines kameraspezifischen Softwarepakets namens TIVITA™ Suite.

In einer ersten Pilotstudie konnten wir die Feasibility der intraoperativen Beurteilung des nahezu gesamten Spektrums intestinaler Anastomosen in der Viszeralchirurgie darlegen [14]. Dabei handelte es sich überwiegend um Patienten mit:

1. Ösophagusresektion, Schlauchmagenhochzug und intrathorakaler Ösophagogastronomie,
2. totaler Gastrektomie und Ösophagojejunostomie,
3. subtotaler Magenresektion und Gastrojejunostomie,
4. Pankreaskopfresektion und Pankreatikojejunostomie,
5. Dünndarmsegmentresektion und Ileo-Ileostomie beziehungsweise Ileostomarückverlagerung,
6. Kolon- beziehungsweise

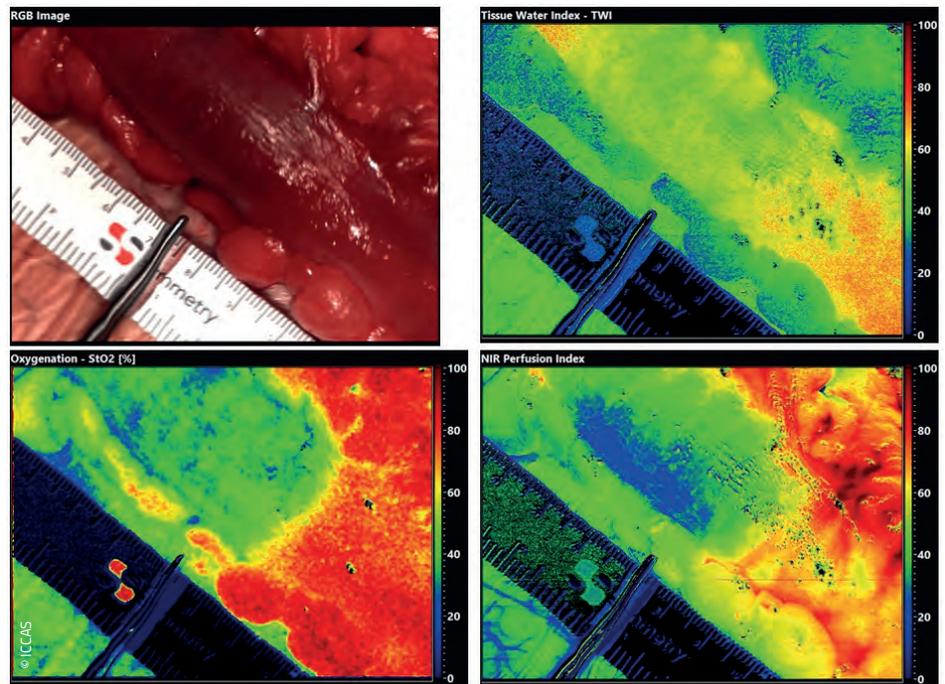


Abb. 3: Die Pinzette zeigt die Position der Grenze zur Resektionslinie, die der Chirurg visuell geschätzt hat (RGB-Image, oben links). Die Bilder des TWI (oben rechts), der StO_2 - (unten links) und des NIR Perfusion-Index (unten rechts) offenbaren jedoch – im Vergleich zur Einschätzung des Chirurgen – deutlich unterschiedliche Werte. Die Grenze liegt weiter oralwärts und die Resektionsstrategie wurde konsekutiv geändert.

7. Rektum-Resektion und Proktokolektomie mit ileo-Pouch-analer Anastomose (IPAA).

Dabei war die Anwendung der intraoperativen Hyperspektral-Bildgebung bei allen oben genannten Prozeduren zeiteffizient und gut reproduzierbar anwendbar. Das mobile System ermöglicht eine flexible Untersuchung und Dokumentation in allen Regionen des Abdomens. Die Situs-ferne Applikation (circa 30 bis 50 cm Kamera-Anastomosen-Abstand) impliziert ein nur minimales Risiko von Infektionen beziehungsweise Kontaminationen durch die kontaktlose Messung.

Zusammenfassung und Ausblick

Die intraoperative Bildgebung zur Beurteilung der Perfusion von gastro-intestinalen Anastomosen mit der Hyperspektralkamera hat sich in unseren Händen als gut praktikabel und reproduzierbar – ohne wesentliche Störung oder Verzögerung der OP-Abläufe

– erwiesen. Waren die bisherigen Einsatzgebiete dieser innovativen Bildgebungstechnologie die Evaluation von Lappenplastiken und Transplantaten in der plastischen Chirurgie, Problemwunden, der diabetische Fuß oder chronische Wunden bei Patienten mit pAVK, so wird die Applikation in der Viszeralchirurgie im Sinne der Präzisionsmedizin möglicherweise eine bedeutende Ausweitung des bisherigen Spektrums mit sich bringen. Bereits jetzt kann die Methodik bei wichtigen Entscheidungsprozessen, wie der intraoperativen Strategiesteuerung, hinzugezogen werden, um – analog der ICG-Ergebnisse der PILLAR II-Studie – die optimale Anastomosenregion/-höhe zu identifizieren beziehungsweise diese zu modifizieren, und potenziell ideale Bedingungen für die ungestörte Anastomosenheilung zu generieren. Die Parameter Gewebeoxygenierung (StO_2), Gewebe-Hämoglobin- (THI = Tissue Hemoglobin Index), NIR (= Near InfraRed)-Perfusions- und Gewebe-

Wasser-Index (TWI = Tissue Water Index) ermöglichen die exakte Differenzierung beziehungsweise Prädiktion eines guten, grenzwertigen oder möglicherweise schlechten Heilungsprozesses, transferiert man die bisherigen Daten der derzeitig angewandten Normwerte des Wund-Imagings, bei denen beispielsweise > 50 Prozent Oxygenierung einer guten Wundheilung entspricht, 30 bis 50 Prozent einen „Graubereich“ darstellt und < 30 Prozent mit schlechten Heilungsprozessen assoziiert ist [15]. Beispielsweise zeigt in Abb. 3 die Pinzette die Position der Grenze zur Resektionslinie, die der Chirurg visuell geschätzt hat (RGB-Image, oben links). Die Bilder des TWI (oben rechts), der StO₂- (unten links) und des NIR Perfusion-Index (unten rechts) offenbaren jedoch – im Vergleich zur Einschätzung des Chirurgen – deutlich unterschiedliche Werte. Die Grenze liegt weiter oralwärts und die Resektionsstrategie wurde konsekutiv geändert.

Somit kann zum Beispiel bei schlechten Werten mit grenzwertig perfundierten Darmabschnitten deren Nachresektion beziehungsweise die Neuanlage einer Anastomose die Konsequenz von intraoperativen Abweichungen der oben genannten Norm- beziehungs-

weise „Cut off-“ (Grenz-) Werte sein, die allerdings für die Viszeralchirurgie erst evaluiert werden müssen.

Einen großen Nachteil bietet die derzeitig begrenzte Anwendbarkeit des Systems allein bei offenen Eingriffen. Somit kann die Hyperspektral-Bildgebung aktuell nur bei einem limitierten, konventionell-offen operierten Patientengut appliziert werden (zum Beispiel nach mehrfachen Voroperationen), da der Großteil der viszeralchirurgischen Eingriffe in unserer Klinik minimal-invasiv vollzogen wird. Mögliche MIC-Anwendungen sind in der aktuellen Praxis Anastomosierungs-Schritte, die ex situ, das heißt über eine Mini-Laparotomie, vor der Bauchdecke vollzogen werden. Hier wird derzeit im Rahmen des LYSis-Projekts (= Entwicklung eines laparoskopischen und Hyperspektralbildgebungs-basierten [HSI] Systems) die Weiterentwicklung eines Geräts vorangebracht, welches dann im minimal-invasiven OP-Spektrum sowie in der Endoskopie einsetzbar sein wird. Zudem optimierbar in Folge-Entwicklungen des Kamerasystems sind die bisher nicht vorhandenen multispektralen Video- und hochauflösenden Hyperspektral-Funktionen, beziehungsweise hyperspektral in Kombination

mit Farbvideo, die letztlich wichtig sind zur dynamischen Beurteilung und Dokumentation der intraoperativen Perfusion. Neben der derzeitigen intraoperativen „real time“-Evaluation von gastrointestinalen Anastomosen, welche wir aktuell in prospektiven Studien analysieren und mit den klinischen Resultaten (zum Beispiel Anastomoseninsuffizienzraten) korrelieren, sind weitere Anwendungsgebiete in der viszeralchirurgischen Praxis und Forschung die mesenteriale Ischämie und Re-Perfusion sowie die Darmdurchblutung nach medikamentösen (zum Beispiel Katecholamintherapie) und interventionellen Therapien. Diese neuen Facetten der Image-guided Surgery mittels Hyperspektral-Bildgebung sind somit ein weiterer wichtiger Baustein in der angewandten Präzisionsmedizin. ■

Literatur bei den Autoren

Interessenkonflikte: keine

Korrespondierende Autorin:

Prof. Dr. med. habil. Ines Gockel, MBA
Klinik für Viszeral-, Transplantations-,
Thorax- und Gefäßchirurgie

Department für Operative Medizin (DOPM)
Universitätsklinikum Leipzig, AöR
Liebigstr. 20, 04103 Leipzig
E-Mail: ines.gockel@medizin.uni-leipzig.de