

Sensorsystem zur minimalinvasiven intraoperativen Gewebedifferenzierung in der Onkologie mittels endoskopischer Streifenprojektion

Valese Aslani*, Tobias Haist*, Simon Thiele**, Alois Herkommer*

*Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

**Printoptix GmbH, 70569 Stuttgart

<mailto:valese.aslani@ito.uni-stuttgart.de>

Wir präsentieren ein Sensorsystem, welches auf Grundlage des Prinzips der Streifenprojektion und Elastografie die endoskopische und berührungslose Erfassung der elastischen Eigenschaften von Gewebe erlaubt. Das Messsystem wurde soweit miniaturisiert, dass es minimalinvasiv über den Arbeitskanal eines kommerziellen Endoskops eingeführt und intraoperativ verwendet werden kann.

1 Einführung

Krebserkrankungen zählen neben Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu den häufigsten Todesursachen weltweit. Eine der wichtigsten Therapieformen bei der Behandlung von Krebs ist die chirurgische Entfernung von Tumoren. In der Medizin etablierte bildgebende Verfahren wie die Magnetresonanztomographie, Computertomographie, Positronen-Emissions-Tomographie oder Sonographie geben präoperativ Aufschluss über das Vorhandensein von pathologischen Veränderungen, sind intraoperativ jedoch nur begrenzt nutzbar. Zudem kommt es verglichen zum präoperativen Zustand während des operativen Eingriffs zu einer Änderung der räumlichen Beziehungen. Die präoperativen Aufnahmen können den Chirurgen und Chirurginnen während der Operation als Orientierung dienen, ermöglichen jedoch keine genaue intraoperative Identifizierung der Gewebegrenzen. Diese ist jedoch wichtig, da sich bei nicht vollständiger Tumorsektion Rezidive ausbilden können und weitere operative Eingriffe erforderlich werden.

Pathologisch verändertes Gewebe weist im Vergleich zu gesundem Gewebe Unterschiede in seinen mechanischen und elastischen Eigenschaften auf, was als Ansatz zur Gewebedifferenzierung genutzt werden kann [1]. Auch wenn die minimalinvasive Chirurgie viele Vorteile, wie z. B. weniger Schmerzen, einen geringeren Blutverlust und eine schnellere Genesung, für den Patienten mit sich bringt, geht im Vergleich zum offenchirurgischen Operieren der direkte Kontakt zum Gewebe verloren [2]. Dadurch kann die Elastizität des Gewebes nicht mehr durch Palpation beurteilt werden.

2 Sensorkonzept

Triangulationsbasierte Messverfahren haben sich zur 3D-Erfassung von Oberflächenprofilen und für Deformationsmessungen bereits in vielfältigen Anwendungsgebieten bewährt [3]. Das Prinzip der Tri-

angulation wird hier zur elastografischen Gewebedifferenzierung verwendet. Das dazu entwickelte Sensorsystem ist in Abb. 1 gezeigt und besteht aus einem 3D-gedruckten faserbasierten Mikrostreifenprojektor, der ein Streifenmuster auf das zu untersuchende Gewebe projiziert, einem System zum Krafteintrag, mit dem das Gewebe berührungslos über Druckluft- oder Wasserstrahlimpulse deformiert werden kann, und einem Endoskop, welches unter einem Triangulationswinkel die Antwort des Gewebes auf die eingebrachte Kraft erfasst. Das Messsystem wurde in den Arbeitskanal eines kommerziell erhältlichen Endoskopiesystems integriert.

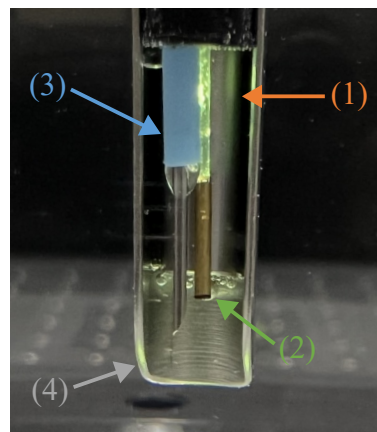


Abb. 1 (4) Distale Spitze des Zystoskopiesystems mit (1) Zystoskop, (2) Mikrostreifenprojektor und (3) Injektionssnadel zum Krafteintrag.

Die Indentationstiefe des Gewebes als Antwort auf die eingebrachte Kraft hängt direkt von der Steifigkeit des Gewebes ab. Pathologisch verändertes Gewebe weist im Vergleich zu gesundem Gewebe in der Regel eine höhere Steifigkeit auf, was als Ansatz zur Differenzierung zwischen verschiedenen Gewebearten genutzt werden kann. Aus den Endoskopaufnahmen können Tiefenkarten der Deformation rekonstruiert werden, die Aufschluss über die elastischen Parameter der Probe geben.

3 Messergebnisse

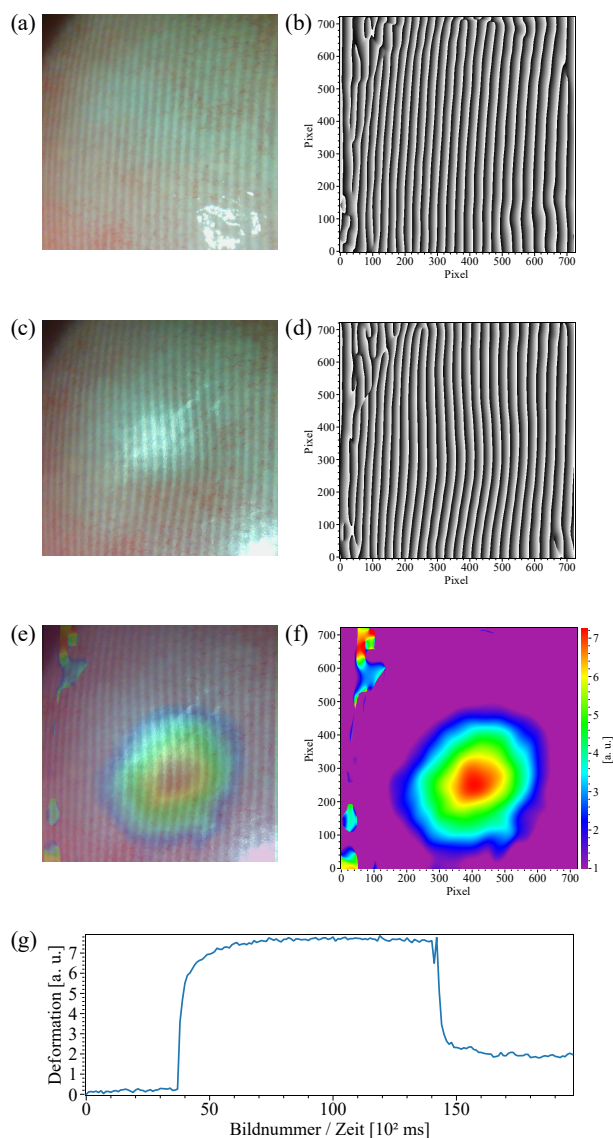


Abb. 2 Auswertung der Messungen an Schweineblasen. Endoskopaufnahmen der auf die innere Blasenwand der Schweineblase projizierten Streifen (a) vor dem Krafteintrag und (c) Deformation während des Krafteintrags. Aus den Streifenbildern extrahierte Phase (b) vor dem Krafteintrag, (d) während der Deformation. (e) zeigt eine Überlagerung aus (c) mit der aus der Rekonstruktion ermittelten Tiefenkarte (f). (g) Werte eines z-Schnitts durch den Tiefenkartenstapel. Der zeitliche Abstand zwischen den Aufnahmen betrug 100 ms.

Die Funktionalität des Aufbaus wurde unter anderem an der inneren Blasenwand von Schweineblasen erprobt. Dazu wurde mithilfe des faserbasierten Streifenprojektors das Streifenmuster auf die Schweineblase projiziert. Die Schweineblase wurde über einen Druckluftimpuls deformiert, wobei während des Druckluftimpulses eine konstante Kraft auf das Gewebe wirkte. Es wurde eine Bildfolge der Deformation aufgenommen, bei welcher der

zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Bildern der Bildfolge 100 ms betrug. Aus den Streifenprojektionsaufnahmen der Bildfolge wurden dann Tiefenkarten rekonstruiert.

Abb. 2 zeigt Endoskopaufnahmen des auf die Schweineblase projizierten Streifenmusters (a) vor Deformation und (c) während der Deformation. Die rekonstruierte Phase der beiden Zustände vor und während der Deformation ist jeweils in Abb. 2 (b) und (d) zu sehen. Über ein Phase-Unwrapping lässt sich die in Abb. 2 (f) in Falschfarbendarstellung gezeigte Tiefenkarte des deformierten Zustands berechnen. Abb. 2 (e) zeigt eine Überlagerung von (c) und (f). An der Stelle der stärksten Deformation wurde ein z-Schnitt eines Pixels über den Tiefenkartenstapel extrahiert, welcher in Abb. 2 (g) dargestellt ist. Die Schweineblase zeigt ein für weiches Gewebe typisches viskoelastisches Verhalten. Das Kriechverhalten der Probe hängt dabei direkt von ihren elastischen Eigenschaften ab. Das Sensorsystem bietet somit über die elastografischen Messungen die Möglichkeit, die elastischen Gewebeeigenschaften zu erfassen, was als Grundlage zur Gewebedifferenzierung genutzt werden kann.

4 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ein miniaturisiertes Sensorsystem zur elastografischen Gewebedifferenzierung vorgestellt, welches mithilfe eines faserbasierten Mikrostreifenprojektors ein Streifenmuster auf das Gewebe projiziert und die Antwort des Gewebes auf eine eingebrachte Kraft erfasst. Das Sensorsystem wurde soweit miniaturisiert, dass es über den Arbeitskanal eines kommerziellen Endoskops eingeführt und minimalinvasiv verwendet werden kann.

5 Funding

Die Arbeiten, die in diesem Artikel beschrieben werden, entstanden im Rahmen der Tätigkeiten im Graduiertenkolleg 2543/1 „Intraoperative Multi-sensorische Gewebedifferenzierung in der Onkologie“ (Teilprojekt A1), gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

References

- [1] Y. C. Fung, *Mechanical properties of living tissues: Mechanical properties of living tissues*, vol. / Y.C. Fung of *Biomechanics*, 2nd ed. (Springer, New York, 1993).
- [2] S. Walz, V. Aslani, O. Sawodny, and A. Stenzl, “Robotic radical cystectomy - more precision needed?” *Current opinion in urology* **33**(2), 157–162 (2023).
- [3] J. Xu and S. Zhang, “Status, challenges, and future perspectives of fringe projection profilometry,” *Optics and Lasers in Engineering* **135**, 106193 (2020).