

# Flexibles Halsphantom zur Evaluation eines Ultraschall-gestützten Navigationssystems

## Wissenschaftlicher Beitrag für die 10. CURAC Jahrestagung 2011

Frau J. Hirschfeld<sup>1</sup>, T. Brennecke<sup>2</sup>, Frau L. Colter<sup>1</sup>, J. Raczowsky<sup>2</sup>, J. Schipper<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Klinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie, Universitätsklinikum Düsseldorf

<sup>2</sup>Institut für Prozessrechentchnik, Automation und Robotik, Karlsruher Institut für Technologie

Kontakt: julia.hirschfeld@med.uni-duesseldorf.de

### Abstract:

*Für die Entwicklung und Etablierung der minimalinvasiven Halschirurgie ist ein Navigationssystem erforderlich, um eine gute Visualisierung des OP-Gebiets trotz eines minimal-invasiven Zugangs zu gewährleisten und hierdurch größtmögliche Sicherheit für den Patienten zu erreichen. Es soll ein Ultraschall-gestütztes Navigationssystem sein, welches den im Weichteilgewebe auftretenden „Gewebeshift“ darstellen kann. Zur Entwicklung und Evaluierung eines solchen Navigationssystems ist ein Halsphantom erforderlich, um das Verfahren erproben zu können. Anforderungen an das Phantom sind, dass es sowohl die Anatomie als auch die Gewebe- und Bildgebungseigenschaften des menschlichen Halses widerspiegelt. Wir stellen hier die Konzeption und Erstellung eines ersten flexiblen, Sonographie-geeigneten Halsphantoms aus Polyvinylalkohol (PVA) sowie seine sonomorphologischen Eigenschaften vor.*

*Schlüsselworte: Multimodales Halsphantom, Ultraschall-Navigation, Weichteilnavigation*

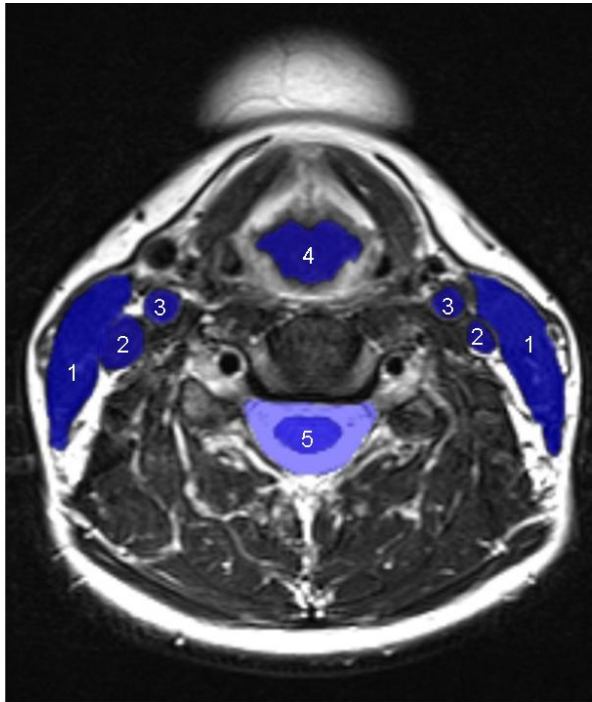
## 1 Problem

Im Bereich der Halschirurgie werden konventionell offene Zugangswege zur Entfernung von Tumoren oder anderen Raumforderungen (z.B. auffällig vergrößerten Lymphknoten) herangezogen. Da im Hals zahlreiche wichtige anatomische Strukturen wie Gefäße und Nerven verlaufen, ist meist ein relativ großer Hautschnitt erforderlich, um eine ausreichende Übersicht über das OP-Gebiet zu erhalten. Dies ist einerseits bei der exponierten Lage des Halses kosmetisch sehr ungünstig, darüber hinaus geht ein großer Hautschnitt mit breitflächiger Präparation einzelner Gewebeschichten auch mit einer höheren Morbidität des Patienten einher. Eine minimal-invasive Chirurgie ist folglich auch im Bereich des Halses anzustreben. Mögliche operative Eingriffe wären die Entfernung einzelner Lymphknoten oder Zysten bis hin zur kompletten Ausräumung von Weichteilgewebe und Lymphknoten (sog. „Neck Dissection“), wie es bei Tumorerkrankungen im Kopf-Hals-Bereich erforderlich ist. Wir denken, dass dies Endoskopie-unterstützt und Computer-assistiert möglich wäre. Zurzeit gibt es jedoch für den Hals kein verfügbares Navigationssystem, welches insbesondere die sowohl durch die Operationslagerung aber auch durch intraoperative Manipulation entstandene Weichteilverschiebung gegenüber der präoperativen Bildgebung berücksichtigt. Im Rahmen eines DFG-geförderten Projektes soll ein ultraschallgestütztes Navigationssystem für den Hals entwickelt werden. Um ein solches System zukünftig evaluieren zu können, muss zunächst ein Halsphantom erstellt werden. An das Halsphantom werden vor allem drei Anforderungen gestellt: es soll in Proportion und Aufbau möglichst naturgetreu sein, es muss flexibel sein, damit der „Gewebeshift“ simuliert werden kann, und es muss sowohl für sonographische als auch für MRT-Untersuchungen geeignet sein.

## 2 Methoden

Unter Berücksichtigung der in der Halschirurgie relevanten anatomischen Leitstrukturen wurden die in Tabelle 1 und Abbildung 1 dargestellten Halsorgane festgelegt, um im geplanten Phantom abgebildet zu werden. Hierfür wurden Materialien aus dem OP- und Verbandsbedarf herangezogen (s. Tabelle 1 und Abb. 2).

Als formgebendes sowie füllendes Material wurde Polyvinyl-Alkohol (PVA) ausgewählt. Es wurden Proben mit PVA



verschiedenen Vernetzungsgrades und Molekulargewichts verwendet und nach einer leicht abgewandelten Variante der von Hyon et al.[1] bzw. von Kharine et al. [2] beschriebenen Methode zur Herstellung eines PVA-Hydrogels hergestellt. Es wurden jeweils 5, 10 und 15%-ige Gele mit Mowiol 56-98 (Kuraray, Tokio, Japan) mit destilliertem Wasser unter Zusatz von DMSO, Flohsamen und Glycerol gegossen. Als Form für das Halsphantom wurde ein Abguss eines Halses mit Hilfe von thermoplastischem Kunststoff angefertigt (s. Abb. 2). Die Gelproben sowie das entstandene Halsphantom wurden mit einem Ultraschallgerät (HD 11 XE, Firma Philips) untersucht und die entsprechenden Bilder digital archiviert.

**Abb. 1: Transversale Schicht eines T2-gewichteten Hals-MRTs. Folgende anatomische Leitstrukturen segmentiert:**

- 1 **Kopfwendermuskel (M. sternocleidomastoideus)**
- 2 **Drosselvene (V. jugularis interna)**
- 3 **Halsschlagader (A. carotis communis)**
- 4 **Kehlkopf**
- 5 **Wirbelsäule (Spinalkanal)**

**Tabelle 1: Anatomische Leitstrukturen**

Struktur	Material	Firma
Gr. Kopfwendermuskel (M. Sternocleidomastoideus)	Kanülenbändchen	Novo Klinik-Service GmbH, Kerpen
Drosselvene (V. Jugularis int.)	Drainage Penrose Typ, 300 mm, 10 mm	Redax, Mirandola, Italien
Halsschlagader (A. Carotis)	Silikon-Softdrain 30 CH, 500 mm, 10 mm	Redax, Mirandola, Italien
Lufttröhre / Kehlkopf	Tubusverlängerung 20 cm, 22 F (gekürzt)	Medisize, Vantaa, Finnland
Wirbelsäule	Superset Catheter Mount, 22 F – 22M	Intersurgical, Wokingham, UK

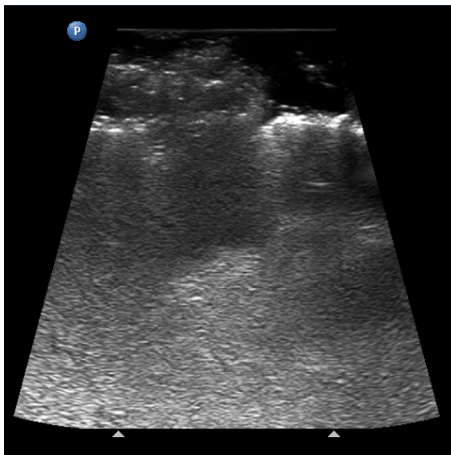


**Abb. 2: Anatomisch getreue Gussform für das Halsmodell aus thermoplastischem Kunststoff (links). Drainageschläuche etc. (vgl. Tab. 1) zur Nachbildung anatomischer Leitstrukturen (rechts).**

### 3 Ergebnisse

Es konnten verschiedene homogene PVA-Hydrogele hergestellt werden. Das Gel war von einer guten Flexibilität und Haltbarkeit, sofern es luftdicht im Kühlschrank bei ca. +8°C gelagert wurde. Je nach Zusatz (DMSO, Flohsamen, Glycerol) konnten verschiedene Eigenschaften wie z. B. Anhebung der Echogenität oder Viskosität bzw. Elastizität erzielt werden, wie in der Literatur beschrieben [1, 3]. Bei der Untersuchung mit Ultraschall zeigten sich auch bei uns

morphologisch ähnliche Schall- bzw. Reflexionseigenschaften der Gele verglichen mit Weichteilgewebe, vgl. [4], s. Abb. 3.



**Abb. 3:** Sonographisches Bild einer PVA Probe (links), sonographisches Bild eines Probanden (rechts) auf Höhe der Schilddrüse (SD) mit Darstellung der Halsschlagader (ACC), der Drosselleve (VJI) und des Kopfwendermuskels (M.SCM). (Philips HD 11 XE, Schallkopf L12-3)

Kleinste mit bloßem Auge jedoch sichtbare eingeschlossene Luftblasen verursachten keine Artefakte, weswegen sie in der Gelherstellung offensichtlich zu vernachlässigen sind. Nach Durchführung von Vorversuchen konnten erste Halsphantome aus 10%-igem PVA unter Zusatz von Flohsamen mit Hilfe der angefertigten Gussform hergestellt werden. Die Form aus thermoplastischem Kunststoff erwies sich als geeignet und konnte nach dem Tieffrieren problemlos von dem Gelmodell getrennt werden (s. Abb. 4).

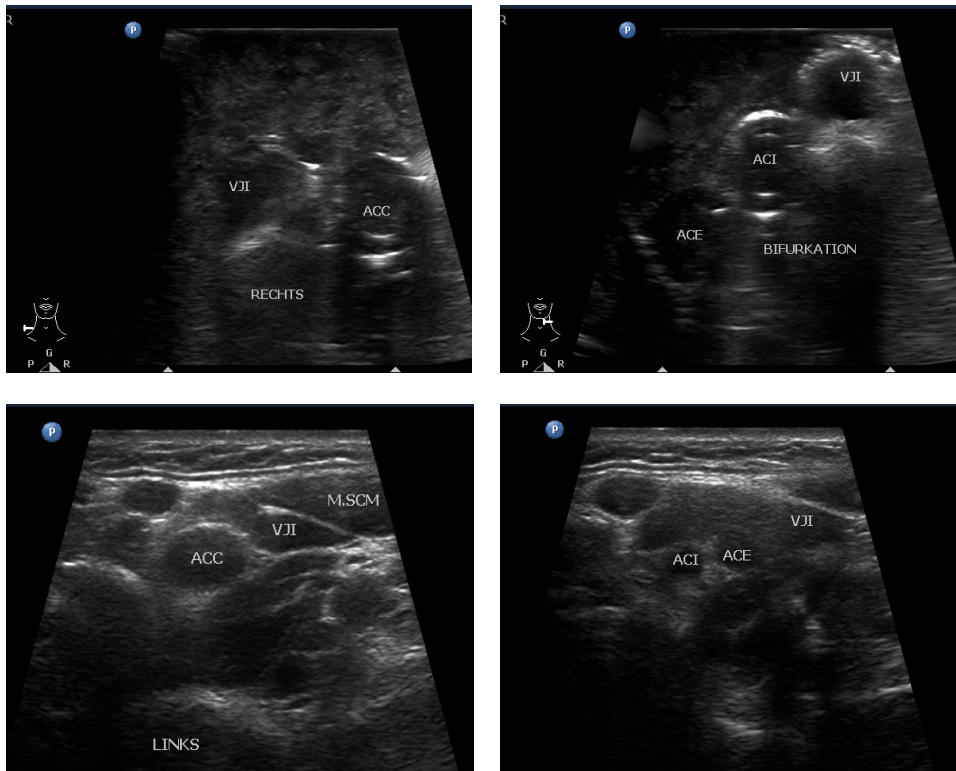


**Abb. 4:** Erstes Halsphantom vor und nach Lösen aus der „Gussform“

Die Materialien für die großen Blutgefäße erwiesen sich als brauchbar und konnten gut abgegrenzt werden, ohne eine Schallauslöschung zu verursachen (s. Abb. 6). Die Verwendung eines Schaumstoffbands für den M. sternocleidomastoideus musste verworfen werden, da trotz Tränkung in destilliertem Wasser zu viel Luft eingeschlossen wurde, und es somit zu einer kompletten Schallauslöschung medial davon kam. Nach Optimierung der Gelzusammensetzung wurde nun zunächst ein vereinfachtes Phantom, welches nur die drei erwähnten Halsgefäße enthält, angefertigt. Eine Rotation des Modells war durch die elastischen Eigenschaften des PVA-Gel-Phantoms gut möglich (s. Abb. 5). Mit diesem Phantom lassen sich Blutgefäße vom umliegenden „Gewebe“ gut differenzieren. Des Weiteren ist auch der Verlauf der Gefäße bei Rotation des Halsphantoms gut mit dem Ultraschall nachvollziehbar (s. Abb. 6)



**Abb. 5:** Flexibles Halsphantom: Rotation und Flexion.



**Abb. 6: Sonographie des in Abb. 5 gezeigten Halsphantoms (obere Reihe) sowie eines Probanden (untere Reihe) (Ultraschallgerät HD 11 XE, Schallkopf I 12-3, Firma Philips)**

## 4 Diskussion

Anhand des erarbeiteten und vorgestellten Halsphantoms kann mittels Ultraschall der Gefäßverlauf im Hals, insbesondere auch bei Lageänderung wie der Rotation des Halses untersucht und nachvollzogen werden. Die Schalleigenschaften des ausgewählten PVA-Gels sind geeignet, um als Modell zu dienen. In der Entwicklung eines Ultraschall-gestützten Navigationssystems für den Hals ist zunächst die Testung und Evaluation eines solchen Navigationssystems erforderlich, wozu das oben beschriebene Phantom herangezogen werden kann. Durch die aktuell angewendete Gussform sind die Proportionen des Halses an sich bereits realistisch. Bezüglich der im Hals verlaufenden Strukturen gibt es jedoch noch Verbesserungsbedarf. Zum einen sollten auch die Blutgefäße realistisch dargestellt werden (in Proportion, aber auch Elastizität und Verformbarkeit), zum anderen wäre es wünschenswert, weitere anatomische Strukturen in das Phantom zu integrieren. In ein fortgeschrittenes Halsphantom sollen anatomische Daten einfließen, welche mittels segmentierter Hals-MRT's erhoben wurden. Hieraus abgeleitete 3D-Rekonstruktionen (z.B. der großen Halsgefäße) sollen als Vorlage dienen und könnten evtl. mittels Rapid Prototyping, so in das Modell übertragen werden.

## 5 Danksagung

Die oben beschriebene Thematik ist Teil des DFG-geförderten Projektes „SACAS (Sonographic Aided Computer Assisted Surgery) im Halsbereich“ (Geschäftszeichen SCHI 210/10-1). Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung.

## 6 Referenzen

1. S.-H. Hyon, W.-I. Cha, and Y. Ikada, Polymer Bulletin **1989**, 22 (1989).
2. A. Kharine, S. Manohar, R. Seeton, R. G. M. Kolkman, R. A. Bolt, W. Steenbergen, and F. F. M. de Mul, Phys Med Biol **48**, 3 (2003).
3. E. L. Madsen, M. A. Hobson, H. Shi, T. Varghese, and G. R. Frank, Phys Med Biol **50**, 23 (2005).
4. K. Zell, J. I. Sperl, M. W. Vogel, R. Niessner, and C. Haisch, Phys Med Biol **52**, 20 (2007).