

Eine Technologie, die ins Auge geht

Es klingt wie Science-Fiction, wird aber zusehends Realität: Roboter, die so klein sind, dass sie im Körperinnern zum Einsatz kommen. Die neusten Entwicklungen lassen Augenchirurgen aufhorchen.

VON ROLAND FISCHER

Geschrumpfte Roboter, die durch die menschlichen Blutbahnen steuern und medizinische Eingriffe vornehmen? Das kennt man aus einschlägigen Filmen wie «Die Reise ins Ich». Science-Fiction also, keine Rede von aktueller Forschung. Denkt man. Und Bradley Nelson, Roboterexperte von der ETH Zürich, gibt dieser Einschätzung zunächst recht: «Autonome Roboter, die im Körper mechanische Manipulationen vornehmen, die irgendetwas abschneiden oder untersuchen, das ist noch Träumerei.» Das heisst aber nicht, dass das Feld für findige Ingenieure keine Möglichkeiten bietet. Und diese betreiben längst mehr als praxisferne Grundlagenforschung. Bradley Nelson und seine Gruppe zählen in dem zukunftssträchtigen Feld zu den erfolgreichen Pionieren: «Wir haben eine Technologie entwickelt, die schon in den nächsten Jahren in der Augenchirurgie Anwendung finden dürfte.» Die Kleinstroboter sind also dabei, aus dem Reich der Fantasie in die Realität zu wechseln.

Allerdings geht man fehl, wenn man sich clevere Minimaschinen vorstellt, die aus eigener Kraft und mit eigener Sensorik durch den Körper navigieren. Richtig autonom sind die Roboter noch

nicht, sie werden mit einigem Aufwand ferngesteuert oder, besser: fernbewegt. Drei verschiedene Antriebe haben die Zürcher Forscher entwickelt, sie alle basieren auf externen Magnetfeldern, die den Kleinstteilen im Körper die passenden Bewegungsimpulse geben.

Mini-U-Boot, ferngesteuert

Am nächsten an der konkreten Anwendung ist der grösste der kleinen Roboter, ein knapp zwei Millimeter langes «U-Boot», das man von Auge auf einer Fingerkuppe gerade noch knapp ausmachen kann. Dieses soll in einem kleinen Eingriff in den Augapfel injiziert werden. Danach können es die Forscher zielgenau durch die Flüssigkeit im Inneren des Auges steuern. Dazu legen sie ein externes Magnetfeld an (etwa 1000 Mal schwächer als in der MRT-Röhre), in dem sie passende Feldgradienten, das heisst verschiedene Feldstärken, erzeugen. Magnetische Objekte im Körperinnern rutschen dann diesen Gradienten entlang hin zur gewünschten Position – das funktioniert zuverlässig auf den Millimeter genau. Momentan arbeiten die Forscher an einem «Schlitten», auf dem ein Medikament zur gewünschten Stelle auf der Netzhaut gebracht werden kann, statt es im ganzen Auge zu verteilen. Ein Vorteil wäre dies zum Beispiel bei der alters-

bedingten Makula-Degeneration – einer Beeinträchtigung der Netzhaut an der Stelle mit den meisten Sehnerven; es gibt neue Medikamente, die den Funktionsverlust bremsen – am effektivsten natürlich, wenn sie direkt auf der Makula wirken. Auch kleinste Injektionspfeile sind in Entwicklung, diese könnten dereinst Substanzen bis in ganz feine Blutgefässe im Auge transportieren. Das Prinzip funktioniert – die Zürcher Forscher haben das an Schweineaugen ausgiebig erprobt. Der Gang zum Metzger gehörte in den letzten Monaten zum Laboralltag.

Die Welt des Kleinen hält für die Forscher einige Überraschungen bereit: Die Steuerung der Millimeter-Objekte durch den sogenannten Glaskörper, die gallertige Flüssigkeit im Auge, haben sie inzwischen gut im Griff. Doch je kleiner der Massstab, desto grösser die Widerstände. Normales Wasser verhält sich plötzlich wie «dicker, dicker Honig», wenn man alles um einen Faktor 1000 verkleinert, erklärt Nelson. Und die Forscher peilen noch kleinere Massstäbe an, sie wollen auch die Mikro- und Nanowelt erobern. Obwohl Wasser in solchen Dimensionen mehr Ähnlichkeit mit einem viskosen Material als mit einer Flüssigkeit hat, ist es durchaus noch möglich, Objekte fortzubewegen. Das zeigt die Natur.

Helix mit Magnet als Motor

Die Mikrowelt wird von Bakterien bevölkert, die rotierende Fortsätze, sogenannte Flagellen, benutzen, um vom Fleck zu kommen. Davon haben sich die Zürcher Forscher inspirieren lassen; sie experimentieren seit kurzem mit künstlichen Flagellen aus einem Halbleitermaterial. Die gut 30 Mikrometer langen Stäbchen nehmen automatisch eine helikale Form ein: Sobald sie vom Trägermaterial gelöst werden, ziehen sie sich zu einer Korkenzieherform zusammen. Daran bringen die Forscher dann eine kleine magnetische Einheit an. Fehlt nur noch die Drehung – und da kommen wieder die externen Magnetfelder ins Spiel. Diese lassen sich auch so anlegen, dass sie magnetische Teile zum Rotieren bringen; auf diese Weise schrauben sich die künstlichen Flagellen gewissermassen durch das zähe Nass.

Und noch einen dritten Trick haben die Ingenieure der ETH auf Lager. Mit oszillierenden Magnetfeldern machen sie einen Miniroboter, der etwa zehnmal grösser ist als die künstlichen Flagellen, zur künstlichen Qualle. Wird der Roboter in Schwingung versetzt, zieht er sich regelmässig zusammen und stösst dabei Wasser aus – das sorgt für Vortrieb. Auch diese Technik hat ihren Bewährungstest bereits absolviert, und zwar äusserst erfolgreich: Die kleinen Roboter sind Fussballweltmeister – sie haben

die Nanogram League des renommierten Robocup (ein internationales Roboterfussballtreffen) für sich entschieden. Beim Wettbewerb ging es darum, möglichst rasch über ein kleines Spielfeld zu wirbeln und Bälle zu versenken – allerdings noch ohne Gegner, für den Anfang.

Bald Realität

Und wohin geht die Reise? Medikamentöse Botendienste werden wohl demnächst Realität, die Überwachung von Körperfunktionen könnten die kleinen Helfer auch bald einmal übernehmen, wenn man ihnen Sensoren beispielsweise für Temperatur oder bestimmte Moleküle aufpflanzt. Noch Zukunftsmusik hingegen sind Manipulationen im Körper wie das Entnehmen von Gewebeproben oder gar das Einsetzen von Stents in verklebte Blutgefässe.

Egal, welches Anwendungsfeld, die Vorteile der Technik sind klar: Mit Minirobotern würde die minimalinvasive Medizin in ganz neue Dimensionen vorstossen. Ein kleiner Schnitt an einer harmlosen Stelle, und der eingesetzte Roboter liesse sich an fast jeden Ort im Körper steuern. Dieses Szenarium ist tatsächlich so verlockend, dass sich Bradley Nelson keine Sorgen macht, Patienten könnten sich gegen die ein wenig unheimliche Vorstellung sträuben, sich kleine Maschinen einpflanzen zu lassen. «Wenn sie erst den gesundheitlichen Nutzen sehen, werden die Leute die Technologie begeistert annehmen», ist der Forscher überzeugt.

Viel Technik auf dem Operationstisch: Die Versuchsanordnung zeigt, wie dereinst der erste Miniroboter ins Auge gelangt. Mit einem Metallarm injiziert ihn der Chirurg in den Augapfel. Dort steuert er den Winzling mit Magnetkraft zielgenau durch die Flüssigkeit im Auginnern. Der Patient liegt bei dieser Operation unter den Magnetspulen; sein Auge ist am Bildschirm zu sehen.

