MARCO BELLO / REUTERS

Dr. Scan sieht jedes Muttermal

Ein neuer 3-D-Ganzkörperscanner zeigt, wie künstliche Intelligenz die Medizin verändert. In Sekundenschnelle identifiziert er jede auffällige Hautveränderung und bewertet das Krebsrisiko. Am Schluss entscheidet aber der Arzt – bis jetzt. Von Georg Rüschemeyer

Vorsicht beim Sonnenbaden: 3000 Menschen erkranken in der Schweiz jährlich an einem Melanom. Verursacht werden die gefährlichen Mutationen der Zellen meist durch UV-Strahlung.

Hände hoch, Beine auseinander, stillhalten – man kennt diese Körperhaltung von den Nacktscannern am Flughafen. Doch bei dem 3-D-Scanner, der seit kurzem in der Zürcher Clinic Utoquai steht, geht es nicht um Flugsicherheit, sondern um Sicherheit in puncto Hautkrebs. Diesen früher zu erkennen, ist das erklärte Ziel des Gerätes. Und mehr oder minder nackt machen muss man sich dafür ohnehin, denn das Gerät braucht freie Sicht auf so viel Haut wie möglich.

Der eigentliche Scan dauert nur eine Sekunde. Viermal flammt das Blitzlicht auf, in verschiedenen Farben und Polarisierungsmustern. Die 92 extrem hochauflösenden Digitalkameras des Geräts lichten gleichzeitig fast die gesamte Hautfläche des Patienten ab. Innert weniger Minuten baut die Software dann aus den 368 Einzelaufnahmen ein dreidimensionales Abbild des Körpers zusammen, das sich am Bildschirm beliebig drehen und wenden lässt.

An diesem 3-D-Avatar kann man in beeindruckender Schärfe in kleinste Details zoomen, auch versteckte Stellen hinter dem Ohr sind kein Problem. «Bereits in dieser Übersicht kommt die Qualität an die eines professionellen Dermatoskops heran, mit dem wir sonst einzelne Hautstellen untersuchen», sagt Ralph Braun, Professor für Dermatologie an der Uni Zürich und Leiter des Hautkrebszentrums der privaten Klinik. Mit dieser speziellen Lupe betrachtet er später auch die wenigen Hautpartien, die dem Scanner verborgen bleiben: Fusssohlen, Kopfhaut und – je nach Wünschen des Patienten – den Intimbereich.

Die KI-gestützte Bilderkennung identifiziert jedes einzelne Muttermal, jede auffällige Hautveränderung. Alle Funde, die grösser sind als einen halben Millimeter, werden am Bildschirm zu einem grossen Kreis angeordnet, der sogenannten Pizza. Bei Menschen mit heller Haut kann sie mit mehreren tausend Flecken belegt sein.

Der Clou: Die künstliche Intelligenz bewertet für jedes der Fundstücke das Risiko, dass es sich dabei um einen Hautkrebs handeln könnte. «Ob dem so ist, entscheidet am Ende aber noch immer ein Mensch, in diesem Fall also ich. Aber die Technik unterstützt uns hier», sagt Braun. Die verdächtigen Stellen kann er sofort mit einem digitalen Dermatoskop untersuchen und sich bei der Bewertung von einer separaten KI helfen lassen.

Kehrt der Patient später für einen weiteren Scan zurück, erkennt die Software sofort, welche der Hautstellen sich in der Zwischenzeit verändert haben. Solche Veränderungen sind ein Indiz, dass sich hinter einem zunächst unscheinbaren Fleck Krebs verstecken könnte. Je nachdem, wie der Arzt auffällige Stellen einschätzt, stellt er sie entweder unter besondere Beobachtung oder entfernt sie sofort durch wenige Schnitte mit dem Skalpell.

Jeder Zehnte stirbt

Die Erkennung von Hautkrebs mithilfe von Scannern effizienter zu machen, klingt plausibel. Doch für wen ist die Untersuchung wirklich sinnvoll, für wen nicht? Und was ändern die Möglichkeiten eines Scanners daran? Wie bei allen Früherkennungsuntersuchungen sollte man auch bei der Hautkrebsvorsorge genau abwägen, welche Risiken sich hinter den offensichtlichen Vorteilen verstecken und wer davon wirklich profitieren kann.

Etwas mehr als 3000 Menschen erkranken in der Schweiz jedes Jahr an einem Melanom, der besonders gefährlichen schwarzen Variante von Hautkrebs. Verursacht werden die gefährlichen Mutationen in den Krebszellen meist durch die UV-Strahlung der Sonne. Trotz besseren Behandlungsmöglichkeiten stirbt rund jeder zehnte Betroffene daran.

Gegenüber anderen Formen von Krebs hat das Melanom aber einen entscheidenden Vorteil: Man kann es mit blossem Auge sehen. Und im frühen Stadium lässt es sich fast immer folgenlos entfernen. Allerdings ähneln frühe Melanome oft einem harmlosen Muttermal oder einer der anderen gutartigen Veränderungen, mit denen die Haut der meisten Menschen übersät ist.

Verdachtsmomente für ein Melanom sind eine asymmetrische Form, unscharfe Ränder oder eine uneinheitliche Pigmentierung. Als verdächtig gelten Flecken auch, wenn sie grösser als 5 Millimeter sind oder sich über die umgebende Haut erheben. Ein besonderes Alarmzeichen ist Veränderung: Im Gegensatz zu normalen Leberflecken wachsen Melanome stetig und verändern dabei Form und Färbung.

> Wenn schwarzer Hautkrebs in der Verwandtschaft vorkam, sollte man regelmässig zum Check-up gehen.

Allerdings sind frühe Melanome sehr leicht mit einem harmlosen Muttermal zu verwechseln. Und damit beginnt die Crux der Hautkrebsfrüherkennung: Nur ungefähr jeder zehnte herausgeschnittene Verdachtsfall erweist sich bei der anschliessenden Analyse im Labor tatsächlich als bösartig, die übrigen als falscher Alarm. Neben der unnötigen Verletzung durch den Hautschnitt führen diese falschen Verdachtsfälle bis zum erlösenden Laborbefund auch zu einer Menge Stress und Ängsten für die Betroffenen. Falsch positiv nennt man solche Diagnosen.

Nutzen-Risiko-Analyse

Aber auch falsch negative Diagnosen, wenn also Experten (oder Scanner) ein vorhandenes Melanom übersehen, sind nie ganz auszuschliessen. Sie wiegen Patienten in falscher Sicherheit. Das sind vergleichsweise kleine Nachteile, könnte man sagen, wenn durch die Untersuchung unterm Strich Menschen vor dem Krebstod bewahrt werden. Doch genau das ist umstritten: In den meisten Industrieländern stieg die Zahl von Melanom-Diagnosen in den letzten Jahrzehnten stark an. Doch die Zahl von Todesfällen blieb weitgehend stabil.

Dies lässt sich als Erfolg verstärkter Bemühungen für die Früherkennung deuten. Kritiker eines allgemeinen Hautkrebs-Screenings vermuten darin aber schlicht eine Flut von sogenannten Überdiagnosen. Gemeint sind grundsätzlich korrekt diagnostizierte, aber wenig aggressive Melanome, die nie zu einer Bedrohung geworden wären, auch wenn man sie nicht gefunden hätte. Am Ende zählt wie bei jeder Früherkennung eine vernünftige Abwägung von potenziellem Nutzen und Risiko.

Fortsetzung Seite 58

Fortsetzung von Seite 57

Recht eindeutig zugunsten der Früherkennung fällt diese für Menschen mit erhöhtem Hautkrebsrisiko aus. Dazu gehören vor allem Personen mit sehr heller Haut und einer besonders hohen Zahl von Muttermalen. Aber auch wenn schwarzer Hautkrebs in der näheren Verwandtschaft vorkam, sollte man regelmässig zum Check-up gehen.

Aber wie steht es um die Durchschnittsbevölkerung mit geringerem Grundrisiko? Bis jetzt gibt es keine belastbaren Studienergebnisse dazu, dass eine allgemeine Hautkrebsfrüherkennung wirklich zu einer Reduzierung von Todesfällen führt. 2023 nahm sich die United States Preventive Services Task Force, ein Expertengremium, das in den USA Empfehlungen zu Präventionsmassnahmen entwickelt, des Themas an und begutachtete alle verfügbaren Studien. In einer im Fachblatt «Jama» publizierten Stellungnahme kommen die Fachleute zu dem Schluss, dass die vorliegende wissenschaftliche Evidenz nicht ausreiche, um eine Empfehlung für oder gegen ein allgemeines Hautkrebs-Screening auszusprechen.

Eine weitere mögliche Erklärung für die uneindeutigen Ergebnisse: Melanome entstehen zum grössten Teil an sonnenexponierten Stellen wie Armen, Händen oder Gesicht. Das trägt dazu bei, dass der Grossteil von den Betroffenen selbst entdeckt wird, die dann damit zum Arzt gehen. Dadurch sinkt jedoch der potenzielle Nutzen eines allgemeinen Screenings.

Kenne deine Flecken!

«Man sollte seine Haut stets selbst im Auge behalten. Allein schon, weil schnell wachsende Melanome schon in der Zeit zwischen zwei Untersuchungen gefährlich werden können», sagt Andrew Muinonen-Martin, Melanom-Spezialist am Universitätsspital im englischen Leeds. Er sieht in den neuen Scannern hervorragende Hilfsmittel, um neue oder sich verändernde Flecken bei Patienten mit erhöhtem Risiko schneller zu identifizieren.

Neben den grundlegenden Fragen zum Nutzen eines Hautkrebs-Screenings gilt es nun zu evaluieren, welchen zusätzlichen Nutzen eine vom Scanner gestützte Melanom-Erkennung wirklich hat. Eine der ersten Studien dieser Art mit mehreren hundert Hochrisikopatienten hat Lara Valeska Maul-Duwendag im Jahr 2020 am Universitätsspital Basel gestartet. «Ziel war es, die diagnostische Genauigkeit mithilfe eines 3-D-Scanners, eines 2-D-Scanners oder nur durch erfahrene Fachleute zu vergleichen», sagt die Dermatologin, die inzwischen die Abteilung für Hautkrebsvorsorge am Zürcher Unispital leitet.

Dabei erkannte der 3-D-Scanner Melanome mit ähnlicher Zuverlässigkeit wie ein menschlicher Experte. «Momentan haben die Geräte aber noch eine begrenzte Spezifität, das heisst, sie beurteilen noch zu oft harmlose Muttermale als Verdachtsfälle. Das kann im klinischen Alltag dazu führen, dass die Rate von unnötigen Biopsien weiter steigt», sagt Maul-Duwendag. Im Vergleich zu einem 2-D-Scanner erwies sich die dreidimensionale Variante aber als überlegen. Allerdings kostet das Gerät mit rund einer halben Million Franken auch ein Vielfaches.

Die Kosten sollte auch bedenken, wer jetzt damit liebäugelt, all seine Hautflecken in einem 3-D-Scan kartieren zu lassen: 750 Franken kostet ein Scan am Zürcher Utoquai, die Krankenkassen übernehmen davon bis jetzt in der Regel nur einen Drittel.

PD

Der 3-D-Scanner ähnelt einer überdimensionierten Digitalkamera.

2,2195 m² – der Sofabeweis ist erbracht

Wie gross darf ein Sofa sein, um es ums Eck zu bringen? Nach 60 Jahren hat ein Mathematiker das Problem gelöst. Ameisen kämpfen mitunter mit ähnlichen Dingen. **Von Christian Speicher**

FUSE / CORBIS / GETTY

Die mathematischen Abhandlungen nützen in der alltäglichen Praxis leider nichts.

Jeder von uns kennt das. In der Wohnung steht ein Sofa, das vom einen Zimmer ins andere gezügelt werden soll. Aber wie man es auch dreht und wendet, es scheint keine Möglichkeit zu geben, das sperrige Ding um die Ecke zu bugsieren. Nicht selten endet der Versuch mit Verwünschungen und unschönen Kratzern in der frisch gestrichenen Wohnung.

Das wäre nicht nötig. Der Mathematiker Jineon Baek von der Yonsei University in Seoul hat kürzlich bewiesen, wie gross ein Sofa maximal sein darf, damit es um die Ecke passt. Ist es grösser, kann man sich jeden Versuch schenken. Allerdings hilft dieser Beweis im realen Leben nur bedingt weiter. Denn er gilt nur in einer idealisierten Welt mit zwei Dimensionen – also etwa für Sofas, die so schwer sind, dass man sie nicht anheben, sondern nur über den Boden schieben kann.

Eine Couch wie ein altmodischer Telefonhörer

Das sogenannte Sofaproblem beschäftigt Mathematiker seit Jahrzehnten. Erstmals wurde es 1966 vom österreichisch-kanadischen Mathematiker Leo Moser beschrieben. Moser fragte sich, welche Fläche ein starrer zweidimensionaler Körper maximal haben darf, damit er in einem ein Meter breiten Korridor um eine rechtwinklige Ecke manövriert werden kann. Wie Jineon Baek im Dezember bewiesen hat, lautet die korrekte Antwort 2,2195 m². Aber der Reihe nach.

Ist das Sofa quadratisch, lässt sich die Frage relativ einfach beantworten. Damit es um die Ecke passt, dürfen seine Kanten nicht länger als ein Meter sein. Seine Fläche beträgt dann 1 m². Ist eine der beiden Seiten auch nur geringfügig länger, gibt es keine Möglichkeit, das Sofa um die Ecke zu bringen. Man eckt unweigerlich an.

Trotzdem ist 1 m² nicht die maximale Fläche, die ein Sofa haben darf. Lässt man nämlich runde Formen zu, kann man das Sofa nicht nur schieben, sondern auch drehen. Das eröffnet neue Möglichkeiten. Ein Beispiel dafür ist ein Halbkreis. Wenn dieser einen Radius von einem Meter hat, lässt sich das Sofa gerade noch um die Ecke drehen. Dieser Halbkreis hat (in der Einheit m²) eine Fläche von $\pi/2 \approx 1{,}571$; er ist also grösser als das Einheitsquadrat.

Geht es noch besser? Ja, viel besser sogar. Im Jahr 1968 präsentierte der britische Mathematiker Michael Hammersley eine Lösung, die an einen altmodischen Telefonhörer erinnert. Hammersley zerschnitt das halbkreisförmige Sofa gedanklich in der Mitte und fügte ein Rechteck mit einer halbkreisförmigen Aussparung ein. Diese Aussparung stellt sicher, dass das Sofa um die Ecke gedreht werden kann, obwohl es länger ist als der Halbkreis im obigen Beispiel. Wie Hammersley berechnete, ergibt sich das Optimum, wenn der ausgeschnittene Halbkreis einen Radius von $2/\pi$ besitzt. Eine einfache Berechnung aller Teilflächen zeigt, dass das gesamte Sofa dann eine Fläche von $\pi/2 + 2/\pi \approx 2{,}2074$ hat. Das Hammersley-Sofa ist also deutlich grösser als das halbkreisförmige. Hammersley vermutete, dass seine Lösung optimal ist. Aber er täuschte sich. 1992 konstruierte Joseph Gerver von der Rutgers University ein Sofa, das sich in winzigen Details vom Hammersley-Sofa unterscheidet.

Das Gerver-Sofa wird von 18 aneinandergestückelten Kurven begrenzt. Eine Berechnung ergab, dass es eine Fläche von 2,2195 m² besitzt. Damit ist es wenige Prozent grösser als das Hammersley-Sofa. Gerver konnte zwar zeigen, dass lokale Veränderungen dieser Form kein besseres Ergebnis lieferten. Er konnte aber nicht ausschliessen, dass ein ganz anders geformtes Sofa eine noch grössere Fläche hat.

Eine solche Lösung wurde bis heute nicht gefunden. Das heisst allerdings nicht, dass es sie nicht gibt. Hier kommt nun Jineon Baek ins Spiel. Auf 119 Seiten beweist er, dass die Konstruktion von Gerver die maximal mögliche Fläche erreicht. Die Arbeit ist noch nicht begutachtet worden. Deshalb gilt der Beweis bis jetzt nur unter Vorbehalt. Baek hatte sich schon während seiner Doktorarbeit mit dem Sofaproblem beschäftigt. In dieser Zeit hatte er sich wiederholt mit Dan Romik von der University of California in Davis ausgetauscht, einem Experten auf diesem Gebiet. Der Beweis von Baek basiere auf soliden mathematischen Ideen und einigen sehr interessanten und neuartigen Erkenntnissen, schreibt Romik auf Anfrage. Er habe den Beweis zwar noch nicht vollständig überprüft. Romik wäre aber sehr überrascht, wenn sich herausstellen würde, dass mit dem Beweis etwas nicht stimme.

Egal, ob der Beweis richtig oder falsch ist. Im täglichen Leben hilft die Mathematik kaum weiter. Wer ein Sofa zügelt, will nicht wissen, wie das optimale Sofa aussieht, das gerade noch um die Ecke passt. Er will wissen, ob sein wie auch immer geformtes Sofa ins Nachbarzimmer verfrachtet werden kann. Darauf liefert der Beweis des Sofaproblems keine Antwort. Am Ende bleibt also doch nichts anderes übrig, als das geometrische Puzzle durch Versuch und Irrtum zu lösen.

Ameisen kooperieren besser

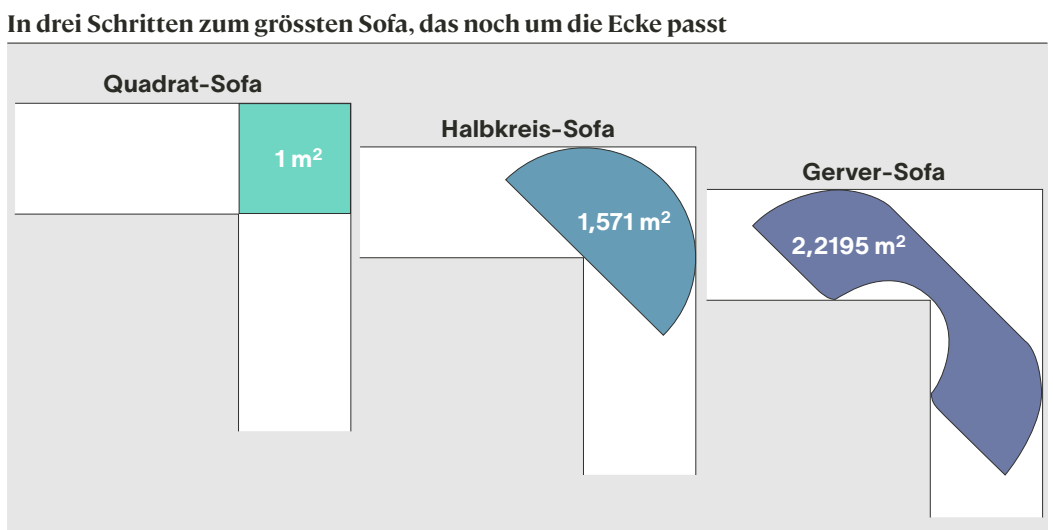
Darin sind Menschen weniger gut, als man meinen könnte – vor allem wenn das Sofa zum Beispiel ein Klavier ist. Von Ameisen weiss man, dass sie im Kollektiv Leistungen erbringen können, zu denen das einzelne Individuum nicht in der Lage ist. Beim Menschen verhält es sich umgekehrt. Hier gilt: Zu viele Köche verderben den Brei. Das zeigt etwa ein Experiment, das kürzlich am Weizman Institute of Science in Rechovot in Israel durchgeführt worden ist. Die Arbeitsgruppe von Ofer Feinerman stellte Ameisen und Menschen vor die gleiche Aufgabe. Sie sollten einen in Gewicht und Grösse skalierten T-förmigen Gegenstand durch einen Hindernisparcours transportieren.

Die Ameisen konnten das Piano-Transport-Rätsel in der Gruppe viel besser lösen als einzeln. Eine Gruppe von Menschen tat sich hingegen schwerer als eine Einzelperson. Besonders kläglich war das Resultat, wenn die Träger nicht miteinander kommunizieren konnten.

Die Forscher führen die Unterschiede darauf zurück, dass Ameisen in der Gruppe ein kollektives Kurzzeitgedächtnis entwickeln, das die Bewegungen der einzelnen Individuen steuert und koordiniert. Die Stärke des Menschen hingegen liegt darin, dass er die Aufgabe durchdenkt und einen Plan entwickelt. Sobald er jedoch in der Gruppe agiert, verfällt er dem Gruppendenken und verfolgt nur noch die naheliegendsten Lösungen. Die Kommunikation in der Gruppe verbessert zwar das Resultat. Aber die Schwarmintelligenz reicht immer noch nicht an die Fähigkeit des Einzelnen heran.

Wer also das nächste Mal ein Sofa oder ein Klavier zu transportieren hat, sollte die Zahl der Helfer auf ein Minimum beschränken und vor allem eins nicht vergessen: reden, reden, reden.

In drei Schritten zum grössten Sofa, das noch um die Ecke passt



Quelle: Dan Romik

NZZ Visuals / joe.