

PROF. DR. MED.

ALEXANDER MUACEVIC

# Die revolutionäre Krebstherapie

Das  
CyberKnife –  
wie Robotermedizin  
uns heilt: schmerzfrei,  
wirksam und ohne  
Operation



# Inhalt

## PROLOG

Christians Geschichte: Akustikusneurinom . . . . .	7
--	---

## DAS PRÄZISIONSTOOL GEGEN TUMORE

Kulturschock . . . . .	13
Chirurgie 4.0 – operieren ohne schneiden . . . . .	18
Paradigmenwechsel in der Krebsbehandlung . . . . .	21
Tumor im Fadenkreuz: Ablauf der CyberKnife-Therapie . . . . .	33
Sebastians Geschichte: Nierenzellkarzinom . . . . .	39
Arzt und Roboter – ein co-intelligentes Team . . . . .	41

## VERSCHIEDENE KONZEPTE IM WETTBEWERB

Emilias Geschichte: Meningeom im Gehirn . . . . .	47
Eine OP muss wohl überlegt sein . . . . .	49
Keine Therapie kann eine Lösung sein, muss aber nicht . . . . .	55
CyberKnife – zu gut, um wahr zu sein? . . . . .	58
Chirurgie ohne Rückfahrkarte: Schonend hat Vorrang! . . . . .	69
Georgs Geschichte: Prostatakarzinom . . . . .	74

## INNOVATION MUSS SICH DURCHSETZEN

Die Wirksamkeit des CyberKnife – längst bewiesen . . . . .	77
Warum den Patienten bestrafen? . . . . .	80
Roberts Geschichte: Aderhautmelanom . . . . .	91
Einer Methode fehlt es an Expertise . . . . .	92
Wird die Hightech-Therapie von den Kassen erstattet? . . . . .	96
Ein Blick in die Zukunft: neue Anwendungsfelder des Roboters . . . . .	101

## **EINSATZGEBIETE DES CYBERKNIFE**

Ein Wort vorab . . . . .	107
Aderhautmelanom . . . . .	108
Akustikusneurinom . . . . .	112
Arteriovenöse Malfunktion (AVM) . . . . .	116
Lungenkarzinom . . . . .	119
Meningeom . . . . .	124
Nierenzellkarzinom . . . . .	129
Prostatakarzinom . . . . .	135
Prostatakarzinom Rezidiv . . . . .	141
Spinales Meningeom und Neurinom . . . . .	144
Trigeminusneuralgie . . . . .	150
Wirbelsäulenmetastasen . . . . .	157
 Fragen, die meine Patienten beschäftigen . . . . .	 162

## **EPILOG . . . . . 175**

Dank . . . . .	178
Quellen . . . . .	180
Register . . . . .	187

# Das Präzisionstool gegen Krebs

## KULTURSCHOCK

Vom ersten Tag des Medizinstudiums an wollte ich Neurochirurg werden, für mich damals wie auch heute noch der interessanteste und aufregendste Fachbereich der Medizin. In meinen Semesterferien schob ich, um Geld zu verdienen, als Hilfspfleger Nachtdienste in der neurochirurgischen Abteilung eines Krankenhauses. Wenn neben den anfallenden Aufgaben noch Zeit blieb, stellte ich mich in den OP-Saal und beobachtete die Neurochirurgen dabei, wie sie fünf, sechs Stunden Gehirntumore operierten. Der Gedanke, in die Hauptschaltzentrale des Menschen einzugreifen, ließ mich nicht mehr los. Das Gehirn ist doch das Wertvollste, was wir Menschen haben. Ohne Gehirn wären wir nichts. Wenn diese Zentrale nicht mehr intakt ist, brauchen wir uns über die eigene Gesundheit keine Gedanken mehr machen. Denn unser Gehirn steuert alles, was uns Menschen ausmacht: unsere Körperfunktionen, unsere Gedanken und Empfindungen. Dass man als Operateur in diesen Puls des Lebens, in diese von Natur aus stark geschützte Struktur des Menschen, eingreifen kann, faszinierte mich bereits als Student.

Um mich medizinisch fortzubilden, flog ich 1993, drei Jahre vor Beginn meiner Facharztausbildung, in den Semesterferien nach Charlottesville, Virginia, um am Medical Center der University of Virginia, einem sehr renommierten Krankenhaus und Forschungszentrum, dessen Ruf bezüglich hochwertiger Patientenversorgung, medizinischer Forschung und Ausbildung damals wie heute noch weit über den Staat Virginia hinausgeht, ein sechswöchiges Praktikum zu machen. Mein Doktorvater, Ordinarius der Neurochirurgie an der Universität Mainz, hatte mich dorthin vermittelt. Eigentlich sollte ich in der Neurochirurgie hospitieren, aber bereits am zweiten Tag schickte man mich, ich weiß bis heute nicht warum, in die an den Fachbereich angegliederte Gamma-Knife-Abteilung, wo man unter der Leitung von Prof. Ladislaus Steiner, einem renommierten

## CHIRURGIE 4.0 – OPERIEREN OHNE SCHNEIDEN

Stellen Sie sich vor, ein Tumor könnte entfernt werden, ohne dass ein Skalpell die Haut berührt. Keine Schnitte, keine Narkose, keine langen Krankenhausaufenthalte – nur submillimetergenaue Präzision, gesteuert von modernster Technologie. Willkommen in der Zukunft der Medizin: Chirurgie 4.0.

Auch wenn die klassische Chirurgie in den letzten Jahrzehnten bemerkenswerte Fortschritte gemacht hat – von offenen Operationen über minimalinvasive Eingriffe bis hin zu roboterassistierten Verfahren –, gilt die Radiochirurgie zu Recht als eines der revolutionärsten Behandlungsverfahren der modernen Tumorthherapie. Trotz der Bezeichnung »Chirurgie« handelt es sich nicht um eine Operation im klassischen Sinne, da der Radiochirurg dafür den Körper des Patienten nicht aufschneiden oder andere invasive Maßnahmen vornehmen muss. Stattdessen kommen über einen Roboter gezielt hochdosierte Strahlen zum Einsatz, um krankhaftes Gewebe zu zerstören – und das mit minimaler Belastung des umliegenden gesunden Gewebes.

### Verschiedene Therapieoptionen

Unser Körper ist ein wahres Wunderwerk. Zellen teilen sich, alte oder beschädigte sterben ab, neue entstehen nach Bedarf. Alles genau nach Plan. Doch manchmal wird dieser Mechanismus gestört, sodass sich Zellen unkontrolliert teilen und eine Gewebewucherung – ein Tumor – entstehen kann. Nicht jeder Tumor ist gefährlich. Man unterscheidet zwischen gutartigen, benignen (zum Beispiel Meningeome), die langsam wachsen und eher an einer Stelle bleiben. Sie können zwar Druck auf Organe ausüben, sind aber meist nicht lebensbedrohlich. Bösartige, maligne Tumore hingegen wachsen aggressiv, unkontrolliert und können sich in umliegendes

Gewebe verästeln oder über die Blutbahn oder Lymphgefäße in andere Körperregionen streuen, sodass sich Metastasen bilden. Dann sprechen wir von Krebs.

Die genauen Ursachen von Tumoren sind vielschichtig und noch nicht vollständig erforscht. Häufig spielen genetische Veränderungen, Umweltfaktoren (Alkohol, Schadstoffe, Rauchen) und Lebensstil eine Rolle. Nicht jeder Tumor bedeutet automatisch eine schwere Erkrankung, aber eine frühzeitige Diagnostik ist entscheidend, um die bestmögliche Behandlung einzuleiten. Je nach Art und Lage des Tumors gibt es für beide Varianten, gut- und bösartig, verschiedene systemische und lokale Behandlungsmöglichkeiten, die je nach Krankheitsbild auch kombiniert werden:

- Mit einer **Operation** wird das Tumorgewebe chirurgisch entfernt.
- Die **herkömmliche Strahlentherapie** zerstört mit ionisierenden Strahlen die Tumorzellen.
- Bei einer **Chemotherapie** hemmen Medikamente das Zellwachstum, auch der gesunden Zellen.
- Die **Immuntherapie** basiert auf dem körpereigenen Immunsystem, um Krebszellen zu erkennen und zu zerstören.
- Die **zielgerichtete Therapie** nutzt die spezifischen Schwachstellen in der Tumorbilogie und greift im Vergleich zur Chemotherapie nur die Krebszellen an, um deren Wachstum zu stoppen.
- Die **Radiochirurgie** schaltet mit präziser Hochdosisbestrahlung den Tumor aus, ohne den Patienten operieren zu müssen.

Welche Therapie ein Tumorpatient erhält, hängt davon ab, ob die Krankheit auf einen bestimmten Bereich begrenzt ist oder bereits den gesamten Körper betrifft. Hat sich der Krebs beispielsweise über das Blut oder Lymphsystem ausgebreitet und Metastasen gebildet oder mikroskopisch kleine Krebszellen im Körper hinterlassen, kann es sein, dass Betroffene eine Kombination aus systemischen Therapien

(Chemotherapie/Immuntherapie) und lokalen Therapien (Operation/klassische Bestrahlung) erhält. Ebenso kann es sein, dass das CyberKnife neben einer Immuntherapie zum Einsatz kommt. Die passende Behandlung zu finden, ist ein komplexer Prozess, der hier zu weit führen würde, auch weil er individuell verschieden ist. Wichtig zu wissen, ist aber: Das CyberKnife steht im Wettbewerb mit anderen Therapien und kann die Tumorzellen, wenn die Indikation dafür gegeben ist, im Vergleich schonend, schnell und effektiv schachtmatt setzen.

Um den Tumor im Körper präzise zu lokalisieren, nutzt der Radiochirurg bildgebende Verfahren wie Magnetresonanztomografie (MRT) oder Computertomografie (CT). Anschließend fokussiert er über den Roboter zielgenau hochenergetische Photonenstrahlen auf das vom Tumor betroffene Gewebeareal. Dies geschieht mit einer Genauigkeit im Submillimeterbereich, sodass eine höhere chirurgische Präzision erreicht wird, als sie selbst ein versierter Operateur jemals leisten könnte.

In diesem Prozess arbeitet der Radiochirurg natürlich nicht allein, sondern im Team mit dem jeweiligen Facharzt, zum Beispiel aus der Urologie (Niere, Prostata), Ophthalmologie (Auge) oder Neurochirurgie (Gehirn/Wirbelsäule).

Für die Verbreitung der CyberKnife-Therapie ist es daher elementar, an ein universitäres System oder ein großes Krankenhaus angebunden zu sein, wo fundiertes fachärztliches und radiochirurgisches Know-how da ist. Weil das CyberKnife ja an vielen Stellen des Körpers Tumore ausschalten kann, braucht es die Interdisziplinarität und eine Vielfalt der Fachrichtungen. Ich allein könnte gar nicht alles Fachwissen abdecken.

## Die Vorteile der Radiochirurgie

**Nicht invasiv:** Es ist weder ein chirurgischer Schnitt oder die Öffnung des Schädels nötig, noch eine Narkose. Es gibt auch keine OP-Narbe. Daher ist ein Infektionsrisiko im Vergleich zur herkömmlichen OP ausgeschlossen.



**Hohe Präzision:** Die Strahlen bündeln sich mit einer Genauigkeit im Submillimeterbereich auf den Tumor. Das umliegende gesunde Gewebe erfährt nur minimale bis gar keine Schädigung.

**Kurze Erholungszeit:** Die Therapie erfolgt ambulant, das heißt, die Patienten können am selben Tag nach Hause gehen und wieder aktiv am Leben teilnehmen. Weder ein Krankenhausaufenthalt noch eine Reha ist nötig.

**Geringe Nebenwirkungen:** Dank der gebündelten und gezielten Strahlenführung kommt es nicht zu Hautreizungen oder Haarausfall.

**Keine Schmerzen:** Da keine Operation stattfindet, gibt es keine postoperativen Schmerzen oder Wundheilungskomplikationen.

**Hohe Effektivität:** Die Strahlen erreichen auch Regionen im Körper und Gehirn, die operativ schwer zugänglich sind, und Metastasen, die in sensiblen Bereichen liegen.

**Kurze Behandlungsdauer:** Je nach Beschwerdebild sind nur eine bis fünf Sitzungen à 30 Minuten nötig.

**Geringere Kosten:** Ohne Vollnarkose, ohne Operation, an der zahlreiches medizinisches Personal beteiligt ist, ohne Krankenhausaufenthalt, Nachsorge und gegebenenfalls Reha-Maßnahmen ist die Radiochirurgie wesentlich kostengünstiger.

## PARADIGMENWECHSEL IN DER KREBSBEHANDLUNG

1996, drei Jahre nach meinem Aufenthalt in Charlottesville, wurde ich im Rahmen meiner Facharztausbildung zum Neurochirurgen an der Universitätsklinik in Großhadern angenommen. Die Fachabteilung genoss damals nicht nur einen exzellenten akademischen sowie klinischen Ruf für hochspezialisierte Behandlungen in der Mikro-, Tumor- und Neurochirurgie. Sie kooperierte auch mit dem Gamma-Knife-Zentrum, das Prof. Berndt Wowra leitete, der zuvor mit Prof. Volker Sturm in Heidelberg geforscht hatte. Prof. Wowra behandelte vor allem gutartige und bösartige Hirntumore sowie arteriovenöse

## Ein Evolutionssprung

In dieser Zeit stieß ich im Internet auf den wissenschaftlichen Beitrag eines gewissen Prof. John R. Adler, US-amerikanischer Neurochirurg und Medizintechnologie-Pionier, der an der Stanford University forschte. Adler war in den 1980er-Jahren bei Prof. Lars Leksell in Schweden gewesen, um das Gamma Knife zu studieren, und hatte dort beobachtet, wie der Arzt den Kopf der Patienten in einen starren Rahmen fixierte, um maximale Präzision bei der Strahlenbehandlung zu gewährleisten. Das müsse doch einfacher, intelligenter und moderner gehen, resümierte er, als den Kopf wie in einen Schraubstock zu pressen. Dieser Gedanke war der maßgebliche Impuls, 1987 das CyberKnife zu entwickeln: einen hochpräzisen Roboter kombiniert mit bildgestützter Steuerung, der es ermöglichte, Tumore nicht nur im Kopf, sondern im gesamten Körper zu behandeln – ohne Schnitte und ohne starre Fixierung.

Adler war fasziniert von der Idee, Patienten, die einen Tumor hatten, präziser und weniger belastend zu behandeln als mit herkömmlicher Chirurgie oder Strahlentherapie. »Beim CyberKnife geht es nicht darum, den Neurochirurgen zu ersetzen, sondern darum, unsere Behandlungsmöglichkeiten für Patienten zu erweitern.« Mit dieser Aussage stellte Adler klar, dass er mit der Erfindung das Berufsbild des klassischen Chirurgen nicht abschaffen, sondern sinnvoll ergänzen wollte.

Neben seiner medizinischen Arbeit wurde John Adler auch als Unternehmer tätig. Er gründete mehrere Medizintechnik-Unternehmen, darunter die Firma Accuray, die das CyberKnife kommerzialisierte.

In dem besagten Paper präsentierte Adler das CyberKnife als beeindruckendes Beispiel für Fortschritt und Innovation in der modernen Medizin. Der Evolutionssprung vom Gamma Knife zum CyberKnife war, dass man nun über intelligenteameratechnik in Kombination mit dem Roboter eine so hohe Präzision und Flexibilität erreichte, dass man quasi überall im Körper Tumore behandeln konnte.

Rechts: Das CyberKnife – ein Ganzkörper-Radiochirurgie-System zur hochpräzisen Tumorbehandlung im ganzen Körper. Es verwendet einen kompakten Linearbeschleuniger auf einem beweglichen Roboterarm, der diese hochpräzise Bestrahlung ermöglicht. Ein Bildortungssystem erfasst Bewegungen in Echtzeit, sodass der Roboter diese zum Beispiel bei atemabhängigen Tumoren ausgleichen kann.



Unten: John R. Adler verbesserte das CyberKnife nicht nur fortlaufend, er entwickelte auch zwanzig Jahre später das sogenannte ZAP-X, ebenfalls ein robotergesteuertes System zur Behandlung von Tumoren, allerdings ausschließlich für das Gehirn und die obere Halswirbelsäule.



# Mit Hightech gegen den Krebs

Eine Tumordiagnose ist ein Schock und die herkömmliche Behandlung – von OP über Chemotherapie bis klassische Strahlentherapie – in den Köpfen vieler Menschen als körperlich stark belastend und langwierig abgespeichert. Das CyberKnife eröffnet eine neue Ära der Präzisionsmedizin: ein robotergesteuertes Strahlensystem, das Tumore millimetergenau, schonend und völlig schmerzfrei eliminiert – ganz ohne Skalpell, ohne Narben und ohne Krankenhausaufenthalt. Prof. Dr. med. Alexander Muacevic, renommierter Neuro- und Radiochirurg, gilt als deutscher Pionier dieser bahnbrechenden Technologie. Verständlich, packend und fundiert erklärt er, wie das CyberKnife funktioniert, welche Tumorarten damit behandelt werden können und warum diese Therapie für viele Patienten eine echte Chance bedeutet.

Die Botschaft von Prof. Muacevic ist eindeutig:  
Die Krebstherapie der Zukunft ist längst da.  
Dieses Buch macht Hoffnung und ist ein unverzichtbarer Wegweiser für alle, die wissen wollen, wie Hightech-Medizin Leben retten kann.

WG 982 Naturwissenschaft  
ISBN 978-3-8338-9874-7



[www.gu.de](http://www.gu.de)