

untersucht werden. Erste Studien zeigten, dass Spinat bei zehnminütigem Kochen 65 Prozent des Folsäureansatzes ans Kochwasser abgibt; damit stehen noch 35 Prozent für die Ernährung zur Verfügung. Dreiminütiges Blanchieren erhält das Vitamin dagegen zu 72 Prozent, weshalb man diese Zubereitungsart vorziehen sollte. Bei der Gefrierlagerung des blanchierten Gemüses wird nur wenig Folsäure abgebaut: Nach zwei-monatiger Lagerdauer bei -18°C war keine Abnahme festzustellen.

Neben diesen Versuchen führen die TUM-Wissenschaftler gemeinsam mit Forschern der Universitäten Gießen und Jena zurzeit eine Pilotstudie zur Bioverfügbarkeit der Folsäure durch. Darunter ist derjenige Anteil eines Nährstoffs zu verstehen, der nach Verzehr eines Lebensmittels und Absorption im Magen-Darmtrakt für den Organismus verfügbar ist. Nur dieser Anteil entscheidet, ob genügend Folsäure zugeführt wird oder sich ein Mangel ausbildet. Dafür wurde zunächst die bisher nur für Lebensmittel eingesetzte SIVA für die Messung biologischer Proben wie Blutplasma angepasst.

In der Bioverfügbarkeitsstudie nimmt eine Versuchsperson im Abstand von jeweils einer Woche drei Testmahlzeiten zu sich - erstens 600 g Spinat, zweitens 600 g Apfelmus und drittens 600 g Apfelmus plus 400 µg Folsäure. Nach jeder Mahlzeit wird im Stundenabstand der Plasmafolsäurespiegel im Blut der Probandin bestimmt. Da Apfelmus sehr wenig Folsäure enthält, dienen die »Apfelmus-Werte« als Basislinie. Die Plasmakurve nach der

mit Folsäure angereicherten Apfelmusmahlzeit eignet sich dagegen als Referenz, da die Verfügbarkeit der reinen Folsäure zu 100 Prozent angenommen wird. Der Verlauf dieser Kurve wird anschließend mit derjenigen nach der Spinatmahlzeit verglichen und die jeweiligen Kurvenintegrale berechnet. Mit diesem Vorgehen lässt sich die prozentuale Bioverfügbarkeit der Folsäure im Spinat erstmals sicher bestimmen.

Diese interdisziplinäre Pilotstudie soll die erforderlichen Methoden erproben, um in breiter angelegten Untersuchungen weitere Daten zur Bioverfügbarkeit dieser wichtigen Vitamingruppe zu erhalten. So kann man besser beurteilen, in welchem Ausmaß für breitere Bevölkerungsschichten eine Folsäurezufuhr mit der Nahrung möglich ist. Sollten diese Folsäuremengen aber zu niedrig sein, sind eventuell Empfehlungen zur weitergehenden Aufnahme von Nahrungsergänzungsmitteln nötig, um Mangelerscheinungen zu verhindern.

Michael Rychlik

Fortschritte in der Behandlung von Tumoren

Stereotaktische Strahlentherapie

In der Behandlung von Hirntumoren - gut- und bösartigen Tumoren, Metastasen und Gefäßmissbildungen - hat die Medizin in den vergangenen Jahren ausgezeichnete Erfahrungen mit der stereotaktischen Strahlentherapie gemacht. Mittlerweile wird die hoch fokussierte, stereotaktisch geführte Strahlenbehandlung auch im Bereich des Körpers angewendet. Die Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie und Radiologische Onkologie der TUM (Prof. Michael Molls) beschäftigt sich seit zwei Jahren mit dieser Methode und ihrer Weiterentwicklung.

Ermöglicht wurde die erweiterte Anwendbarkeit der stereotaktischen Strahlenbehandlung durch rasante Entwicklungen im Bereich der Hard- und Software moderner dreidimensionaler Bestrahlungsplanungssysteme und durch den Einsatz von Atem- und neuartigen Lagerungshilfen. Das zu bestrahlende Zielgebiet lässt sich im Vergleich zur herkömmlichen, mehrwöchigen Strahlenbehandlung deutlich reduzieren. In einem ersten Schritt bestimmen die Ärzte die Ausdehnung des Tumors durch bildgebende Verfahren wie Computer- und Magnetresonanztomographie oder Ultraschall. Um die Strahlentoleranz der umliegenden Gewebe zu beurteilen, untersuchen sie deren Funktion. Die eigentliche Therapieplanung erfolgt auf der Basis computertomographischer Aufnahmen: Risikoorgane in der Nähe des Tumors konturiert man, um das Nebenwirkungsrisiko abschätzen zu können. Bei der präzisen Festlegung der Tumorregion werden die Lagerungsungenauigkeit des Patienten und atemabhängige innere Bewegungen der Organe berücksichtigt. In ein bis drei Bestrahlungssitzungen wird dann das

20- bis 30fache der herkömmlichen Tagesdosis (bis über 60 Gray, Gy) im Zentrum des Tumors appliziert.

Die bisherigen klinischen Ergebnisse belegen, dass diese Form der Behandlung mit hohen, grundsätzlich nicht ungefährlichen Einzeldosen präzise durchführbar und gut verträglich ist. Vorteil der hohen Einzeldosis: Zum einen ist sie besonders effizient bei der Vernichtung von Tumorzellen, zum anderen erlaubt sie eine relativ kurze Gesamtbehandlungszeit. Nebenwirkungen scheinen im Vergleich zur konventionellen Behandlung eher weniger häufig. In der palliativen Situation wie der Behandlung von Metastasen ist die ambulante und nicht invasive nebenwirkungsarme stereotaktische Bestrahlung eine für den Patienten attraktive Therapieoption mit optimalem Erhalt der Lebensqualität bei kurzer Therapiezeit.

Im Bereich der Lungentumoren ist die alleinige Strahlentherapie bei schwer kranken Patienten die Therapie der Wahl des Bronchiolarkarzinoms. In frühen Tumorstadien können mit ihr bis zu 70 Prozent der Patienten

ten geheilt werden. Da nur ein geringes Lungenvolumen bestrahlt wird, ist die therapiebedingte Morbidität sehr gering. Die Strahlentherapeuten der TUM erreichten bei über 75 Prozent ihrer Patienten Tumorrückbildungen. Nur weni-

pie. Mit der nicht invasiven und nebenwirkungsarmen stereotaktischen Strahlenbehandlung lassen sich beliebig große Metastasen behandeln. Wegen der äußerst präzisen Lagerung der Patienten und der Repositio-

lenbedingten Leberentzündung treten nicht auf. Die Lebensqualität der Patienten ist kaum eingeschränkt.

Ziel der Forschung der nächsten Jahre ist es, die Therapie noch exakter zu



Lagerungssystem (Vakuummattze, Unterdrucksystem, Sauerstoffatmung über Maske) zur stereotaktischen Strahlentherapie von Leber- und Lungentumoren.

Foto: Klinik für Strahlentherapie

ge Patienten bildeten innerhalb von zwei Jahren ein Lokalrezidiv aus. Viele Patienten konnten geheilt werden. Die Nebenwirkungen waren mild: Einige Patienten bekamen eine lokale Lungenentzündung mit vorübergehendem Husten; dauerhafte Lungenveränderungen waren minimal und geringer als nach herkömmlicher Strahlentherapie.

Metastasen in der Leber werden durchweg invasiv behandelt: operative Entfernung, Alkoholinjektion, Radiofrequenzablation, laserinduzierte Thermotherapie und Kryotherapie, systemische oder regionale Chemothera-

nierung des Tumors kommt hier in speziellen Fällen sogar eine Einzeittherapie mit besonders hoher Strahlendosis in Frage. Mit 12 bzw. 24 Gy als Einzeittherapie verhindert man ein lokales Tumorstadium über mehr als zwölf Monate bei etwa 80 Prozent der Patienten, mit einer Strahlentherapie in zwei bis vier Fraktionen von jeweils 8 bis 12 Gy, wie die TUM-Ärzte sie seit 2000 durchführen, sogar über 90 Prozent. Typische Nebenwirkungen sind kurzzeitiges Fieber mit Schüttelfrost, leichte Übelkeit und Appetitlosigkeit. Bei allen Patienten ist die Behandlung ambulant durchführbar. Anzeichen einer strah-

lenbedingten Leberentzündung sollen die Heilungschancen weiter verbessern. Neue Planungstechniken und funktionelle Untersuchungen sollen sowohl die Festlegung des zu bestrahlenden Zielgebiets präzisieren als auch die Verteilung der Strahlendosis optimieren. Diese Vorhaben werden durch Gelder des Bayerischen Umweltministeriums und des Bundes der Freunde der TU München unterstützt. Ein Antrag bei der Deutschen Krebshilfe wird derzeit begutachtet.

Frank Zimmermann