

## 4 Diskussion und Ausblick

Durch die Untersuchungen in dieser Arbeit konnte der Einfluss der wesentlichen Gestaltungsmerkmale bipolarer Nadelapplikatoren für die interstitielle Thermotherapie herausgearbeitet werden: In der Standardanordnung hintereinander liegender Elektroden lassen sich durch die Variation von Länge und Abstand der Elektroden ellipsoide Koagulationen von Kugelform bis zu einem Längen/Durchmesser Verhältnis von 2,6 erzielen. Der Applikatordurchmesser bestimmt hierbei den möglichen Durchmesser der Nekrose. Weiterhin lässt sich bei vorgegebener Applikatorgeometrie die Form deutlich über die applizierte elektrische Leistung beeinflussen. Zylinderförmige Nekrosen praktischer beliebiger Länge sind vorteilhaft mit Elektrodenstreifen in Längsrichtung der Nadel realisierbar. Steht ein möglichst großes Volumen im Vordergrund, eignet sich eine interne Kühlung der Applikatoren, um das Koagulationsvolumen um 80 % zu vergrößern.

Sowohl die festgestellten prinzipiellen Eigenschaften, als auch die gezeigten konstruktiven Lösungen des Applikatoraufbaus offenbaren keinerlei Nachteile der bipolaren Anwendungsform gegenüber der monopolaren. So liegen die erzielten Koagulationen mit einem Durchmesser um 30 mm im gleichen Bereich wie ihn kommerzielle monopolare Systeme erreichen [28]. Damit können die Vorteile der bipolaren Anwendung, hervorzuheben ist besonders die unkompliziertere Handhabung ohne Neutralelektrode und die höhere Sicherheit, ohne Einschränkung zum Tragen kommen.

Bei vielen Anwendungen stellt die HF-induzierte Thermotherapie die Alternative zur Laserinduzierten Thermotherapie dar. In Versuchen von Roggan et al., die sich aufgrund der Versuchsbedingungen mit der Untersuchung in Abschnitt 2.2.1 vergleichen lassen, konnten mit einem gekühlten Laserapplikator Nekrosedurchmesser von typischerweise 32 mm erzielt werden (Schweineleber *in vitro*, Applikationszeit 10 min) [62]. Dieser Wert deckt sich mit den Ergebnissen des gekühlten HF-Applikators.

Bei der HFITT ist das Nekrosevolumen dadurch begrenzt, dass der steigende elektrische Widerstand des austrocknenden Gewebes den weiteren Stromfluss beschränkt. Dadurch tritt praktisch keine Karbonisation auf, und das behandelte Gewebe haftet nicht am gekühlten Applikator. Bei den Laserversuchen führte eine Vergrößerung der Laserleistung zur Karbonisation des Gewebes, welche die weitere Abstrahlung des Laserlichtes verhindert und wärmeisolierend wirkt. (Darüber hinaus ist das Karbonisat aufgrund der schlechteren Wundheilung unerwünscht).

Vor dem Hintergrund vergleichbarer Wirkungen der Laser- und HF-ITT ist für die Bewertung auch zu berücksichtigen, dass die Kosten der Geräte bei der Laseranwendung deutlich höher sind als bei der HF-Applikation und zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden müssen.

Ausgehend von der Thermotherapie von Lebermetastasen bewährt sich bei einer zunehmenden Zahl von Anwendungen die MRT-Bildgebung zur Prozess- und Erfolgskontrolle. Der Laser hat hier aus technischer Sicht den Vorteil, dass für die Übertragung und Applikation von vornherein Werkstoffe üblich sind, die die MRT-Bildgebung kaum beeinflussen. Teilweise werden hier die entsprechenden Applikationssets mit speziellen Markern versehen, um die Lokalisation zu vereinfachen.

Die für die HFITT notwendigen elektrisch leitenden Werkstoffe, wie auch der Stromfluss an sich, stellen hingegen ein prinzipielles Störpotential für die MRT dar. Hier gelang es in der Arbeit anhand einer in Abschnitt 2.8.2 beschriebenen konstruktiven Umsetzung die Kompatibilität der HF-Applikation mit der MRT-Bildgebung aufzuzeigen, womit auch von dieser Seite keine Einschränkungen bestehen.

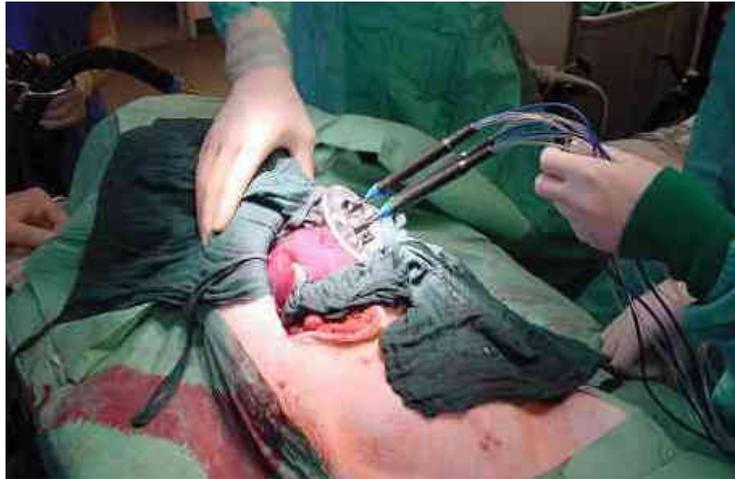
Für die praktische Beurteilung der Ergebnisse dieser Arbeit ist es wichtig zu berücksichtigen, dass sich die Untersuchungen überwiegend auf unperfundiertes Gewebe beziehen. Je nach Stärke der Durchblutung im jeweiligen Anwendungsgebiet weichen die in vivo erzeugten Nekroseabmessungen daher mehr oder weniger ab. Im Falle des sehr stark durchbluteten Lebergewebes lässt sich dieser Einfluss anhand der in Abschnitt 3.3.2 dargestellten Versuche abschätzen.

Neben der Perfusion können auch unterschiedliche elektrische und thermische Eigenschaften zu Abweichungen in Form und Größe der Nekrosen führen. Hierunter fallen sowohl Gewebeinhomogenitäten als auch individuelle Abweichungen. Entsprechend kommt der Überwachung zum einen durch bildgebende Verfahren (MRT) zum anderen zum Beispiel durch die direkt am Applikator mögliche Messung von Impedanz und/oder Temperatur eine große Bedeutung zu. Die Sinnhaftigkeit dieser Maßnahmen hängt jedoch in hohem Maße von den Anforderungen der einzelnen Anwendung ab.

Insgesamt belegen die Ergebnisse, dass mit der bipolaren HFITT ein breites Feld an unterschiedlichen Anwendungen abgedeckt werden kann. Exemplarisch wurden hier die Eignung für die Behandlung von Lebermetastasen, der benignen Prostatahyperplasie und der Nasenmuschelhyperplasie anhand von realisierten Funktionsmustern gezeigt.

Allgemein vollzieht sich zur Zeit ein rascher Fortschritt der bipolaren HFITT-Anwendung, die auf der Basis weiterer Entwicklungen in zahlreiche klinische Anwendungen eingeführt wird. Als

Beispiel sei das System der Celon AG medical instruments genannt. Ausgehend von einem gekühlten Applikator für die Behandlung von Lebermetastasen, wie er hier auch untersucht wurde, entwickelte sie eine Anordnung zur gleichzeitigen Verwendung mehrerer Applikatoren. Durch die automatische wechselseitige Verschaltung der einzelnen Elektroden vergrößert sich das Koagulationsvolumen deutlich und es lassen sich in vivo Nekrosen von  $63 \text{ cm}^3$  erzielen (Abb. 4-1).



*Abb. 4-1 Tierversuch der Mehrfachapplikation mit dem Power-Applikator der Celon AG*

Eine weitere interessante Lösung stellt das Acoustic impedance monitoring dar. Dabei wird die Impedanz am Applikator gemessen und über die Tonhöhe eines akustisches Signals ausgegeben. Dem behandelnden Arzt ist dadurch auf einfache aber wirkungsvolle Art eine Kontrolle des Koagulationsverlaufes, hier insbesondere beim Einsatz bei der benignen Prostatahyperplasie, möglich [47].

Ebenfalls praktisch realisiert wird eine impedanzgeregelte Leistungseinstellung, nicht wie hier untersucht zur Vergrößerung des Koagulationsvolumens, sondern zur Gewährleistung einer hohen Reproduzierbarkeit der Koagulation [15].

Auf die Bedeutung einer Temperaturmessung am Applikator zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit wurde in Abschnitt 2.7.2 eingegangen. In der monopolaren Anwendung bewährt, können die Vorteile ebenso in der bipolaren Auslegung genutzt werden.



*Abb. 4-2 Applikator für die Behandlung der benignen Prostatahyperplasie mit Temperatursensor in der Spitze (CelonProBPH).*

Insbesondere bei der Anwendung in der Prostata hat die Temperaturmessung direkt in der Spitze deutliche Vorteile. Neben der Prozesskontrolle bietet sie eine zusätzliche Möglichkeit, die Positionierung zu überwachen: Wird bei einer Applikation in Blasennähe diese punktiert, ist dies an der niedrigeren Temperatur der Spülung zu erkennen.

Bei der Beobachtung der Entwicklung zeichnet sich ab, dass die bipolare HF-Strom-Anwendung in Zukunft eine wesentliche Rolle in der interstitiellen Thermotheapie einnehmen wird.