

Bochumer Berichte aus der Biomedizinischen Technik



Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. H. Ermert und Prof. Dr.-Ing. J. Werner

Joachim Gantenberg

Numerische Simulation der hyperthermen isolierten Extremitätenperfusion

Aachen 2000

SHAKER
VERLAG

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Gantenberg, Joachim:

Numerische Simulation der hyperthermen isolierten Extremitätenperfusion/
Joachim Gantenberg. Aachen : Shaker, 2000

(Bochumer Berichte aus der Biomedizinischen Technik)

Zugl.: Bochum, Univ., Diss., 2000

ISBN 3-8265-8215-2

Copyright Shaker Verlag 2000

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-8215-2

ISSN 1432-8569

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

NUMERISCHE SIMULATION DER HYPERTHERMIEN ISOLIERTEN EXTREMITÄTENPERFUSION

KURZFASSUNG

Neben anderen Verfahren hat sich die Hyperthermietherapie für die Behandlung maligner Tumoren als sinnvolle Ergänzung erwiesen. Das Problem bei der Anwendung ist die Unkenntnis der erzielten Temperaturen, die im Tumor nicht zu niedrig und im umgebenden gesunden Gewebe nicht zu hoch sein dürfen. Andernfalls ist entweder die Therapie nicht erfolgreich oder es wird gesundes Gewebe unnötig belastet. Ein Mangel an ortsaufgelösten Temperaturmeßverfahren macht eine Berechnung der Temperaturfelder im Rahmen einer Therapieplanung sinnvoll, wenn notwendige Randbedingungen wie die geometrische Lage und die Durchblutung des Tumors Berücksichtigung finden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war daher die Entwicklung, Implementierung und Validierung von Methoden zur Berechnung von Temperaturfeldern während der isolierten hyperthermen Extremitätenperfusion. Diese Therapie ist trotz des hohen operativen Aufwandes in vielen Fällen eine zu berücksichtigende Alternative zu drastischen chirurgischen Maßnahmen, z.B. einer Amputation.

Durch die in hohem Maße unregelmäßige Geometrie einer humanen Extremität, insbesondere bei Berücksichtigung von eingeschlossenen Tumoren oder Gefäßen, fiel die Wahl des numerischen Verfahrens auf die Methode der finiten Elemente. Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens ist eine geeignete Diskretisierung des Lösungsgebietes für die zu lösende Wärmebilanzgleichung. Auf der Basis zweier klassifizierter Voxeldatensätze wurden Methoden zur Rekonstruktion von Volumenmodellen, deren Darstellung innerhalb eines CAD - Systems und anschließender Diskretisierung der Modelle mit Methoden des CAD - Systems entwickelt.

Zur Lösung des thermischen Problems wurde ein in der Programmiersprache "C" entwickeltes Simulationsprogramm um zwei weitere, erst jüngst publizierte Perfusionsmodelle erweitert. Ferner wurde eine lokale Thermoregulation für Gewebetemperaturen oberhalb 42°C und ein neuartiges Perfusionsmodell für Tumorgewebe implementiert. Die Perfusionsmodelle für gesundes Gewebe wurden miteinander verglichen. Der Korrekturfaktor für das klassische Bioheat - Perfusionsmodell nach Pennes wurde für den vorliegenden Anwendungsfall für beide Modelle gleich berechnet.

Zur Überprüfung der Simulationsergebnisse wurden neben analytischen Vergleichsrechnungen auf der Basis einfacher Geometrien Vergleiche mit physiologischen und klinischen Messungen durchgeführt. Da im vorliegenden Modell keine physiologische Thermoregulation integriert ist, sind im Vergleich zu unter physiologischen Bedingungen durchgeführte Messungen Abweichungen festgestellt worden, wenn die Umgebungsbedingung vom thermoneutralen Zustand abwich. Der Vergleich mit klinischen Messungen, die unter Vollnarkose durchgeführt wurden, zeigte Übereinstimmung zur Simulation.

Nach der erfolgreichen Überprüfung des Simulationsmodells sind verschiedene Simulationsexperimente mit dem Ziel der Optimierung der klinischen Therapie durchgeführt worden. Dabei konnte unter anderem festgestellt werden, daß eine mehrfach vorgeschlagene Standardbestrahlungsstärke von $75 \frac{\text{W}}{\text{kg}}$ nicht ausreichend ist, das Tumorgewebe überall auf mindestens 42°C zu erwärmen. Für eine Kombination von Chemo- und Thermochemotherapie konnte eine optimale zusätzliche Bestrahlungsstärke von $10 \frac{\text{W}}{\text{kg}}$ zusätzlich zur hyperthermen Perfusion bestimmt werden, da bei dieser Therapie der Tumor sehr homogen gewärmt wird.