

8 Zusammenfassung und Ausblick

In den vorausgegangenen Abschnitten wurden Ergebnisse von FEM-Schwingungsanalysen maligner und gesunder Zellen präsentiert. Besondere Aufmerksamkeit wurde dem Schwingungsverhalten von Lymphknoten-Metastasenzellen des Mammakarzinoms und malignen Gliomzellen geschenkt. Es wurden FEM-Simulationsmodelle maligner und gesunder Zellen aufgebaut und anhand publizierter Mikropipettenversuche validiert und vervollständigt. Die FEM-Modelle beziehen sich auf einzelne Zellen in Suspension, sowohl auf pipettierte Zellen als auch auf Zellen im Zellverbund. Für Lymphknoten-Metastasenzellen des Mammakarzinoms und maligner Gliome wurden tumorspezifische Resonanzfrequenzen gefunden. Es wurden Behandlungsstrategien ausgearbeitet, die eine selektive, schwingungsinduzierte Zerstörung von Metastasenzellen im Initialstadium ermöglichen. Diese können neben klassischen Behandlungsmethoden, wie Strahlentherapie, Chemotherapie, Immuntherapie und operativer Tumorentfernung, besonders dann angewendet werden, wenn die Tumorzellen schlecht auf Chemotherapie oder Strahlentherapie ansprechen.

Für jeden Muttertumor können mit Hilfe der validierten Simulationsinstrumente tumorspezifische Schwingungseigenschaften ermittelt werden. Gleiche Berechnungsmodelle werden für die Ermittlung der Resonanzfrequenzen gesunder Zellen im Metastasierungsbereich eingesetzt. Die Beschallung der Metastasenzellen erfolgt mit Frequenzen, die im Bereich der Resonanzfrequenzen der Metastasenzellen liegen. Resonanzfrequenzen der gesunden Zellen werden ausgespart. Die folgenden Behandlungen sind zeitlich so eingeplant, daß heranwachsende Metastasenzellen auch erfaßt werden. Um auch Metastasenzellen zu zerstören, die Abmessungen über den Dimensionen der Berechnungsmodelle aufweisen, wurden Behandlungsstrategien ausgearbeitet, bei denen Frequenzfolgen unterhalb der theoretischen Resonanzfrequenzen appliziert werden.

Eine wesentliche Hilfe für die Aufstellung der FEM-Simulationsmodelle gesunder und maligner Gewebereiche sind elastographische Untersuchungen. Dabei werden Ultraschallbilder bzw. Echosignale so ausgewertet, daß stattgefundenen Verschiebungen des Körpergewebes zwischen zwei, mit verschiedener Kompression aufgenommenen Gewebebildern berechnet werden. Auf diese Weise lassen sich Rückschlüsse auf die Elastizität des Organs bis hin zu einer quantitativen Abbildung des Elastizitätsmoduls erzielen. Die Grauwerte im Elastogramm werden invers dargestellt, damit weichere Bereiche hell erscheinen. In letzter Zeit wurden erfolgversprechende Ansätze unterbreitet, um die Abbildungseigenschaften von Elastographie-Systemen zu verbessern. Durch mehrfache Kompression des abzubildenden Gewebes kann der Kontrast elastographischer Bilder verbessert werden.

Für Tumorerkrankungen, bei denen von einer Heterogenität der Metastasenzellen im Zielorgan ausgegangen werden muß, können Behandlungsstrategien angewendet werden, bei denen durch lokale Unterkühlung die Schwingungsamplituden gesunder Zellen im Behandlungsbereich stark reduziert werden. Tumorzellen behalten ihre Schwingungsfähigkeit. Anschließend werden Frequenzfolgen sequenziell appliziert. Tumorzellen werden schwingungsinduziert geschädigt. Gesunde Zellen befinden sich in einem überdämpften Zustand und überleben die Schwingungen ohne Schaden.

Ein vielversprechender Ansatz für die selektive Zerstörung maligner Zellen sind unterschiedlichen Polarisierungseigenschaften maligner und gesunder Zellen. Durch die verstärkte Produktion onkogener Proteine ist die zytoplasmatische und extrazelluläre Leitfähigkeit für maligne Zellen verändert. Damit sind auch die Polarisierungseigenschaften maligner Zellen verändert. Diese werden von der zytoplasmatischen und extrazellulären Leitfähigkeit bestimmt. Die zytoplasmatische Leitfähigkeit bestimmt den Polarisierungsbeginn (s. Abb. 8.1). Die Leitfähigkeit des extrazellulären Mediums bestimmt den rechten Abklingbereich der Polarisierungskurve. Onkogene Proteine verändern die zytoplasmatische Leitfähigkeit.

Die Polarisierungskurve ist nach links verschoben. Es können nun Frequenzen des elektromagnetischen Feldes bestimmt werden, bei denen maligne Zellen polarisieren, gesunde Zellen jedoch nicht polarisierungsfähig sind. Ein gleicher selektiver Ansatz kann für den rechten Abklingbereich der Polarisierungskurve (Abb. 8-1) gefunden werden. Hier können Frequenzen bestimmt werden, bei denen gesunde Zellen ihre Polarisierungsfähigkeit verloren haben, maligne Zellen jedoch noch voll polarisierungsfähig sind. In beiden Fällen polarisieren nur maligne Zellen. Diese können durch kurze Leistungsstöße des elektromagnetischen Feldes geschädigt werden. Gesunde Zellen bleiben nicht polarisiert und überleben die Behandlung ohne Schaden. Bei Tumorerkrankungen mit keinen klaren Polarisierungsgrenzen können Frequenzen des elektromagnetischen Feldes appliziert werden, die zu Polarisierungsprozessen gesunder und kranker Zellen führen. Anschließend werden Leistungsimpulse mit Frequenzen aufgebracht, die zu mechanischen Resonanzschwingungen maligner Zellen führen und zu schwingungsinduzierten Schäden führen.

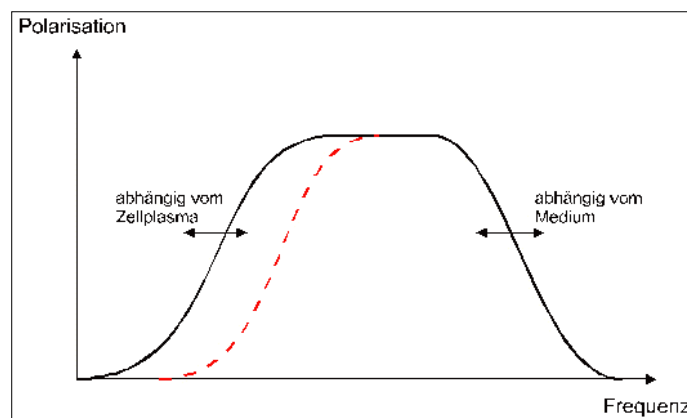


Abbildung 8-1. Zelluläre Polarisierungsfähigkeit in Abhängigkeit von der zytoplasmatischen und extrazellulären Leitfähigkeit.