

BESTIMMUNG DER KOMPRESSIBILITÄT VON HÄMOGLOBIN MIT ULTRASCHALL

H.-J. Danckwerts, B. Pfeiffer,

K.-D. Jürgens

Abteilung für Biomedizinische Technik speziell
Krankenhaustechnik;

Physiol. Institut und Medizinische Hochschule
Hannover/BRD

1. EINLEITUNG

Für die quantitative Beschreibung der Ultraschallausbreitung im biologischen Material wird neben den Absorptionseigenschaften auch wesentlich die Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von akustisch relevanten Parametern diskutiert (1). Schallgeschwindigkeitsmessungen liefern bei gleichzeitiger Dichtebestimmung Werte für die adiabatische Kompressibilität der zu untersuchenden Medien. Da sich die Kompressibilität eines Materials aus der freien Energie seiner Bestandteile herleitet, trägt die Struktur der Moleküle - insbesondere die intramolekulare Wechselwirkung in Proteinen - wesentlich zur Kompressibilität von Zellen, bzw. Geweben bei. Im folgenden werden die Kompressibilitäten von Hämoglobin in wässriger Lösung und in Erythrocyten verglichen.

2. EXPERIMENTELLE ERGEBNISSE

Fig.1 zeigt das Meßverfahren zur Bestimmung der relativen Schallgeschwindigkeitsänderung ($\Delta C/C_0$) zwischen zwei Medien 1, bzw. 2.

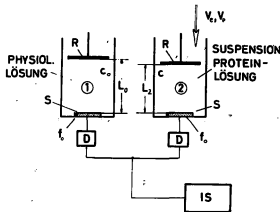


Fig.1 Methode zur Bestimmung der relativen Schallgeschwindigkeitsänderung $\Delta C/C_0$.

Von einem Impulsschallgerät (IS) angeregt, senden die Schwinger (S) näherungsweise sinusförmige, ähnliche Schallimpulse in die Medien 1 und 2. Diese Impulse werden nach

Reflexion bei (R) mit einer Laufzeitdifferenz empfangen und überlagert. Nach einem Abgleich beider Impulse auf die Phase $\phi = \pi$ und gleiche Amplitude mittels der Dämpfungsglieder (D) beträgt ihre Phasendifferenz

$$\phi = \frac{4\pi L}{\lambda} \left(\frac{\Delta C}{C_0} - \frac{\Delta L}{L_0} \right) \quad (1)$$

wenn $\Delta C/C_0 \ll 1$. Die Überlagerungsamplitude der Echos ist bei konstanter Absorption ($\Delta \alpha = 0$)

$$P = 2p_0 |\sin(\phi/2)| \quad (2)$$

In guter Näherung ist die relative Schallgeschwindigkeitsänderung $\Delta C/C_0$ bis zu dem Wert $\lambda_0/8L_0$ der Amplitude p direkt proportional. Der Faktor $4\pi L_0/\lambda_0$ in Gl.1 kann so eingestellt werden, daß relativ geringe Änderungen $\Delta C/C_0$ zu relativ großen Änderungen der meßbaren Amplitude p führen, solange die Absorptionsänderung hinreichend gering ist ($2L_0\alpha_0 \Delta\alpha/\alpha_0 \ll \phi$). Die Schallgeschwindigkeitsmessungen wurden an Erythrocyten und Humanhämoglobin bei $f_0 = 4,87$ MHz, $t = 20,5^\circ\text{C}$ und neutralem pH vorgenommen. Zu Beginn der Messung enthalten beide Meßzellen jeweils die Vergleichslösungen

(20mM KCl für Proteine, physiologische Lösungen für Erythrocyten). In Zelle 2 wird dann ein bestimmtes Volumen V (Fig.1) der zu untersuchenden Substanz gegeben und die relative Amplitudenänderung in Abhängigkeit von der Volumenkonzentration γ gemessen.

Mit Gl.2 erhält man aus $p(\gamma) : \Delta C(\gamma)/C_0$. Die Messungen der Dichte der Lösungen, bzw. Suspension in Abhängigkeit von der Konzentration, wurden mit einem digitalen Dichtemeßgerät ($\Delta\rho/\rho_0 = 10^{-4}$) durchgeführt.

Fig.2 zeigt die Meßergebnisse für Humanhämoglobin in 20mM KCl. Messungen der Dichte (ρ) in Abhängigkeit von der Konzentration $w_p = Y_p \rho_p$ (Y_p Volumenkonzentration des Hämoglobins) zeigen bis zu $w_p = 11\text{g}/100\text{ml}$ einen