

SonoPointer® - Ein Prototyp zur ultraschallbasierten Dickenmessung am Schädelknochen

Ph.A. Federspil¹, S.H. Tretbar^{1,2}, P.K. Plinkert¹

¹ Univ.-HNO-Klinik Heidelberg (Direktor: Prof. P.K. Plinkert), ² Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik, St. Ingbert (Leitung: Prof. Dr. G. Fuhr)
Unterstützt durch die DFG im SPP 1124 Medizinische Navigation und Robotik (PL136/5-1, PL136/5-2, PL136/6-3)
Email: federspil@med.uni-heidelberg.de

Hintergrund

Auch losgelöst von einer zukünftigen Roboteranwendung (Projekt „Roboterassistierte Navigation zum Fräsen an der lateralen Schädelbasis“ (RONAF) im DFG SPP 1124), würde es für eine Vielzahl operativer Eingriffe am Kopf einen erheblichen Fortschritt bedeuten, wenn dem Operateur während des Eingriffes eine Möglichkeit zur Verfügung stünde, die Knochendicke in Echtzeit zu bestimmen:

- Osteosynthese in der kraniofazialen Traumatologie,
- Entnahme eines „Split-Bone“ Transplantates zur plastischen Rekonstruktion im Gesichtsbereich,
- spezielle Kraniotomien,
- Anlage eines Implantatlagers für implantierbare Hörsysteme und Kochleaimplantate, und
- der extraorale Einsatz von osseointegrierten Titanimplantaten für knochenverankerte Hörgeräte und Gesichtsepithesen.

Prinzipiell kann auch mittels CT die Knochendicke bestimmt werden. Das setzt jedoch einerseits die vorherige Anfertigung eines hochauflösenden CT mit entsprechender Strahlenbelastung und andererseits eine intraoperative Navigation voraus. Bei besten Einstellungen liegt die mittlere Abweichung bei 0,4 mm (Eggers 2004). Unser Ziel ist es jedoch, eine Information über die Knochendicke ohne vorherige Vorbereitung durch ein CT und ohne Strahlenbelastung in Echtzeit intraoperativ zu produzieren. Ultraschall ist eine nicht-invasive und kosteneffektive Echtzeit-Untersuchungsmethode, die eine hohe Auflösung bietet, wenn spezielle Signalverarbeitungsalgorithmen angewendet werden (Tretbar 2003).

Material und Methode

Der SonoPointer® besteht aus einem Panel-PC mit dem Sendempfangs-Modul SEM II (Fraunhofer IBMT, St. Ingbert) und einem 2,25 MHz Ultraschallwandler, der in einem Handstück mit flexibler Vorlaufstrecke integriert ist. 16 humane formalin-fixierte Schädel (Zustimmendes Votum der Ethikkommission des Saarlandes) wurden jeweils an 3 Punkten mittels Ultraschall im Wasserbad sowie unter direkter Ankopplung (jeweils 21°C) und zweimal mechanisch mit einer Mikrometerschraube (Atorn; 0-25mm, Genauigkeit 0,01mm) vermessen.

Zur Ultraschallmessung wurde

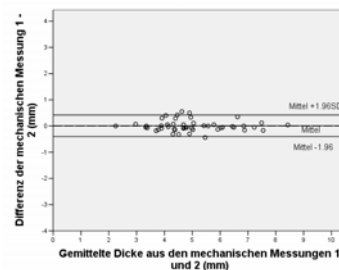
1. ein Standardpuls und
2. ein Chirp als kodiertes Signal eingesetzt.

Nach der Methode von Bland und Altman (1999) werden die 95% „Limits of Agreement“ zum Vergleich zweier klinischer Messmethoden bestimmt. Die „Limits of Agreement“ berechnen sich aus $d \pm 1.96s$ and $d \pm 1.96s$, wenn d die mittlere Differenz und s die Standardabweichung ist. 95% der Messwerte liegen erwartungsgemäß innerhalb dieser Grenzen. Sie sind nicht mit dem Konfidenzintervall zu verwechseln, sondern entsprechen eher einem Referenzintervall. Hier geht also wesentlich die Variabilität der Messung in Form der Standardabweichung ein.

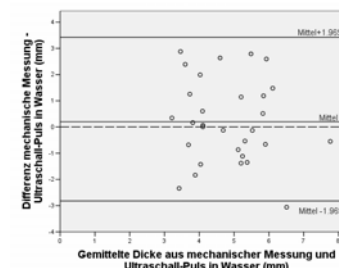
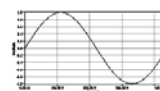
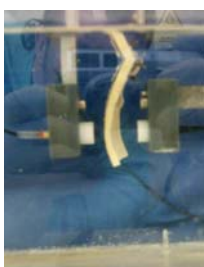
Ergebnisse

Der Einsatz kodierter Signale war konventionellen Pulsen deutlich überlegen. Die mittlere Differenz zwischen der mechanischen Messung und der Ultraschalldickenbestimmung mit kodierten Signalen unter direkter Ankopplung war $0,04\text{mm} \pm 0,62\text{ mm}$. Die 95% „Limits of Agreement“ nach Bland und Altman (1999) zwischen beiden Methoden waren -1,18 mm und 1,25 mm. Im Vergleich dazu lagen die „Limits of Agreement“ zwischen 2 mechanischen Messungen bei -0,4 mm und 0,42 mm.

1. Mechanische Messung (2 Messungen)

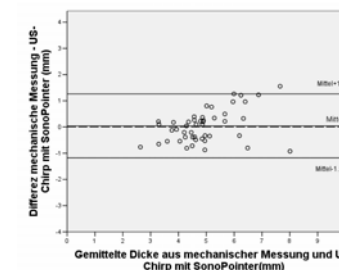
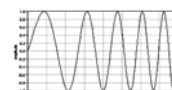


2. Ultraschallmessung im Wasserbad (Puls)



Mit einem herkömmlichen Puls war die Dicke nur bei 63% der Proben überhaupt bestimmbar.

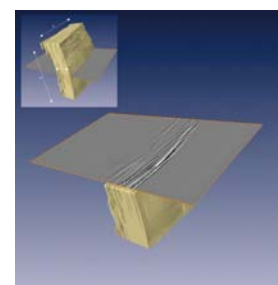
3. Ultraschallmessung mit kodiertem Signal (Chirp) und Direktankopplung = SonoPointer®



Mit dem SonoPointer® war die Dicke bei 98% der Proben bestimmbar.

Schlussfolgerungen

Der SonoPointer® ist ein viel versprechendes Messinstrument für operative Eingriffe am Schädel, wenn die Knochendicke von Bedeutung ist. Die maximale Toleranz von 1,2 mm mag für robotische Eingriffe noch zu hoch sein, als stand-alone Gerät kann damit jedoch bereits mit ausreichender Genauigkeit nach dem lokalen Dickenmaximum (oder -minimum) gesucht werden. Wenn der SonoPointer® mit einem Navigationssystem getrackt wird, kann eine 3D-Karte des Schädelknochens erstellt werden (Abb. rechts). Eine Validierung an vitalem humanen Schädeln ex vivo ist in Vorbereitung.



1. Bland J, Altman DG. Statistical Methods in Medical Research 1999;8:135-160.
2. Eggers GD et al. Proceedings of the SPIE 2004;5367:829-836.
3. Federspil PA, Geithoff UW, Henrich D, Plinkert P K. Laryngoscope 2003;113:465-471
4. Tretbar SH, Schmitt D. Acoustical Imaging Symposium AI 27. Saarbrücken, Germany, 2003.