

Ultraschall in der Geburtshilfe: Kann der Fötus die Ultraschallwelle hören und die Hitze spüren?

Obstetrical Ultrasound: Can the Fetus Hear the Wave and Feel the Heat?



J. S. Abramowicz¹



F. W. Kremkau²



E. Merz³

Institute

¹ Department of Obstetrics and Gynecology, Rush University Medical Center, Chicago, Illinois

² Center for Medical Ultrasound, Wake Forest University School of Medicine, Medical Center Blvd., Winston-Salem, North Carolina

³ Krankenhaus Nordwest, Frankfurt/Main

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0032-1312759>

Ultraschall in Med 2012; 33: 215–217 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York · ISSN 0172-4614

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. E. Merz
merz.eberhard@khnw.de

„Föten können Ultraschall hören, und das Geräusch ist so laut wie eine in die Haltestelle ein-fahrende U-Bahn.“ Diese Aussage geht auf einen einzelnen Bericht in einer Zeitschrift zurück, welche entgegen ihrem Namen [1] keine wissenschaftliche Zeitschrift darstellt. Der Bericht handelt von einem auf einem wissenschaftlichen Treffen gehaltenen Vortrag von Forschern, welche die Lautstärke im Uterus von schwangeren Frauen gemessen haben und den oben erwähnten Sachverhalt zeigen konnten. Diese Erkenntnis wurde später in einem Peer-Review geführten Journal [2] publiziert, das vermutlich nicht sehr häufig von Klinikern oder der breiten Öffentlichkeit gelesen wird. Von Zeit zu Zeit wiederholen die Boulevardpresse oder verschiedene schwangerschaftsbezogene Webseiten diese Aussage oder eine beunruhigte Schwangere erkundigt sich nach dem Wahrheitsgehalt dieser Behauptung. Eine zweite, oft vorgebrachte Sorge entsteht durch die Aussage, dass Ultraschall zu einer Erwärmung des Fruchtwassers führt. Diese beiden Aussagen können für die werdenden Eltern äußerst besorgniserregend sein und verdienen eine genaue wissenschaftliche Untersuchung. In diesem Editorial werden beide Aspekte hinsichtlich der bekannten Fakten über die physikalischen Eigenschaften des Ultraschalls beleuchtet.

Der diagnostische Ultraschall verwendet gepulste Schallwellen mit positivem und negativem Druck. Die „Mayo-Gruppe“, die im New Scientist zitiert wurde, prognostiziert, dass sich die Pulsquelle in einen „klopfenden“ Effekt [1] umwandeln würde. Ihrem Bericht zufolge wurde ein kleines Hydrofon in das Cavum uteri einer Frau platziert, während sich diese einer Ultraschalluntersuchung unterzog. Die Autoren behaupteten, dass sie einen Laut in etwa der Frequenz der Pulsationen empfangen konnten, die beim Ein- und Ausschalten des Ultraschalls entstehen. Dieser Laut entsprach in etwa den höchsten Tönen am Klavier. Sie wiesen ebenfalls daraufhin, dass, wenn der Schallkopf direkt auf das Hydrofon gerichtet wurde, dieses eine Lautstärke von 100 Dezibel registrierte, was einer in die Haltestelle ein-fahrenden U-Bahn entspricht. Die Schalldruckpegel in Dezibel werden für die hörbaren Frequenzen durch den Bezugspegel definiert, der die Hörschwelle bei einer vorgegebenen Frequenz darstellt. Obwohl die im Ultraschall verwendeten Sendefrequenzen nicht hörbar sind, ist es möglich, dass die Pulsrate (Pulswiederholungsfrequenz, PRF) gehört werden kann und in den hörbaren Bereich fällt. In einem früheren Bericht wurde ein ähnliches Phänomen angedeutet [3].

Ultraschall ist eine Druckwelle mit einer Frequenz, die jenseits derjenigen ist, die mit dem menschl-

„Fetuses can hear ultrasound and the sound is as loud as a subway train entering a station.“ This statement originates in a single report in a non-peer reviewed journal, despite its name [1], of a presentation at a scientific meeting by researchers who reported measuring the sound intensity in the uterus of pregnant women and being able to demonstrate the above. This was later published in a peer-review journal [2] probably not very widely read by clinicians or the general public. From time to time, the popular press or various pregnancy-related websites repeat the assertion or a worried pregnant patient inquires about the truthfulness of this statement. A second, oft-quoted concern is that ultrasound leads to heating of the amniotic fluid. These two assertions may be very concerning to expectant parents and merit scientific scrutiny. In this editorial, we shall examine the known facts about the physical properties of ultrasound as they relate to these two issues.

Diagnostic ultrasound employs a pulsed sound wave with positive and negative pressures and the Mayo team, quoted in the New Scientist, predicted that the pulsing would translate into a “tapping” effect [1]. According to their report, they placed a tiny hydrophone inside a woman's uterus while she was undergoing an ultrasound examination. They stated that they picked up a hum at around the frequency of the pulsing generated when the ultrasound is switched on and off. The sound was similar to the highest notes on a piano. They also indicated that when the ultrasound probe was pointed right at the hydrophone, it registered a level of 100 decibels, as loud as a subway train coming into a station. Sound levels in decibels are defined for audible frequencies with the reference level being the threshold for hearing at a given frequency. Although the operating frequencies used in sonography are inaudible, it is possible for the pulsing rate (pulse repetition frequency, PRF) to be heard, thus falling in the audible range. A previous report had hinted at similar phenomena [3].

Ultrasound is a pressure wave with a frequency beyond (ultra) that detectable in the human auditory system. The human ear can discern sound at roughly 20 – 20 000 cycles (hertz) per second. The frequencies of diagnostic ultrasound are roughly 1 – 10 megahertz (MHz) or 1 000 000 to 10 000 000 cycles per second. It is a form of energy and, as such, may have effects in tissues it traverses. Any consequences occurring in living tissues secondary to an external influence are called biological effects or bioeffects. This term does not imply damage or harm. The two major mechanisms for bioeffects

chen Gehör wahrgenommen werden kann. Das Ohr des Menschen kann in etwa 20–20 000 Zyklen (Hertz) pro Sekunde unterscheiden. Die Frequenzen beim diagnostischen Ultraschall betragen in etwa 1–10 Megahertz (MHz) oder 1 000 000–10 000 000 Zyklen pro Sekunde. Es handelt sich um eine Form von Energie und als solche kann sie in den Geweben, die sie durchläuft, eine Wirkung hinterlassen. Alle Auswirkungen, wie sie in lebenden Geweben infolge von äußeren Einflüssen sekundär auftreten, werden biologische Effekte oder Bioeffekte genannt. Diese Bezeichnung ist jedoch nicht gleichbedeutend mit einer Schädigung oder Verletzung. Die beiden Hauptmechanismen von Bioeffekten sind thermischer und nicht thermischer Art. Thermische Effekte treten sekundär im Gewebe bei der Umwandlung der Ultraschallenergie in Wärme auf (indirekte Ultraschallwirkung). Nicht thermische Effekte entstehen sekundär durch die von der Welle erzeugten, wechselnden positiven und negativen Druckphasen (direkte Wirkung).

Die Definition einer gemäßigten Lautstärke beträgt 60–70 dB (2×10^{-3} – 2×10^{-2} Pa) und wird als lauter städtischer Umgebungslärm, normale Unterhaltung im Abstand von 1 m oder Musik in Zimmerlautstärke definiert [4]. Im Vergleich dazu erzeugt eine ruhige Unterhaltung 40 dB, eine vorüberfahrende Diesellok mit 70 km/h in 30 m Entfernung 80–85 dB und eine Rockband 110 dB [4]. Es gibt einige wenige Publikationen über eine Schädigung von Föten, die erhöhten Umgebungs-Lärmpegeln ausgesetzt waren, vor allem bei Industrielärm [5–7], insbesondere in der Luftfahrt- und Textilindustrie. Obwohl es einige Berichte über Hörstörungen bei Kleinkindern gab, die im Mutterleib Ultraschall ausgesetzt waren, konnten verschiedene genaue Studien diese Ansicht widerlegen [8–11]. Darüber hinaus zeigten eine Studie bei Föten, die im Uterus einer vibroakustischen Stimulation ausgesetzt waren [12], und eine kürzlich erschienene Studie, bei der Föten dem Lärm einer an Schwangeren durchgeführten MR-Untersuchung [13] ausgesetzt waren, keine schädlichen Folgen für das Gehör.

Es gab ein paar Berichte über den Nachweis eines „Brummens“ während des transkraniellen Ultraschalls. Dies könnte die Pulswiederholungsrate (PRF) sein. Wenn dem aber so wäre, würde man diese als einen höheren Ton und vermutlich nicht als brummendes Geräusch erkennen. Unserer Kenntnis nach wurde dieses Phänomen bisher nicht näher untersucht. Obwohl der oben erwähnte Bericht nahe legt, dass diagnostischer Ultraschall im Uterus im messbaren Bereich nachgewiesen werden kann, gibt es keinen unabhängig bestätigten, im Peer-Review-Verfahren publizierten Beweis, dass der Fötus tatsächlich die PRF hört, darauf reagiert oder dadurch geschädigt wird.

„Der Fötus kann seine eigene Körpertemperatur nicht regulieren; somit kann das Fruchtwasser sehr hohe Temperaturen über einen langen Zeitraum erreichen“ [14]. Stellt diese Behauptung ein reelles Risiko dar? Was bedeutet es, wenn diese Behauptung einen wissenschaftlichen Wahrheitsgehalt hat? Natürlich wäre ein Temperaturanstieg beim Föten besorgniserregend. Eine thermal induzierte Teratogenese konnte in vielen Tierversuchen wie auch in einigen kontrollierten Studien beim Menschen [15, 16] gezeigt werden. Eine Temperaturerhöhung von 1,5 °C über dem Normalwert wurde als allgemein gültiger Grenzwert vorgeschlagen [17]. Es sollte erwähnt werden, dass in keiner dieser Studien Ultraschall die Ursache für die Temperaturerhöhung war. Einige glauben, dass es Temperaturgrenzwerte für Hyperthermie-induzierte Geburtsdefekte (hier das ALARA-Prinzip [as low as reasonable achievable – so wenig wie vernünftigerweise erreichbar]) gibt. Allerdings gibt es einige Hinweise darauf, dass jeglicher positive Temperaturunterschied über einen bestimmten Zeitraum eine gewisse Wirkung zeigt. Eine Temperaturgrenze für Hyperthermie-induzierte Geburtsschäden gibt es

are thermal and non-thermal. Thermal effects are secondary to ultrasound energy being converted into heat in the tissue (indirect effect of ultrasound) and non-thermal effects are secondary to the alternating positive and negative pressures generated by the wave (direct effect).

The definition of moderately loud sound is 60–70 dB (2×10^{-3} – 2×10^{-2} Pa), defined as high urban ambient sound, normal conversation at 1 m, or living room music [4]. In comparison, quiet conversation is 40 dB, a railway diesel engine passing at 45 mph at 100 feet is 80–85 dB and a rock band is 110 dB [4]. There have been a few publications describing harm to fetuses exposed to elevated levels of ambient noise, particularly industrial noise [5–7], specifically in the aircraft and textile industries, but while there have been reports of impaired hearing in infants who were exposed to ultrasound in the womb, several rigorous studies have disproved that notion [8–11]. Furthermore, a study of fetuses exposed in utero to vibroacoustic stimulation [12] and a recent study of fetuses exposed to noise generated during an MR exam of the pregnant women [13] showed no ill effect on the auditory system. There have been some reports of being able to hear a “hum” during transcranial ultrasound. This may be the pulse-repetition frequency (PRF), but, if so, it would be described as a higher pitch, and probably not a “hum”. To our knowledge, this phenomenon has not been investigated. Although the report mentioned above suggested that diagnostic ultrasound is detectable at measurable levels in the uterus, there is no independently confirmed, peer-reviewed, published evidence that the fetus actually hears the PRF, responds to it or is harmed by it.

“The fetus cannot regulate its own body temperature, so amniotic fluid can reach very high temperatures over long periods” [14]. Does this statement reflect a real risk? What does it mean if this statement is scientifically true? The fear is, of course, that this will raise the temperature of the fetus. Thermally induced teratogenesis has been demonstrated in many animal studies, as well as several controlled human studies [15, 16]. A temperature increase of 1.5 °C above the normal value has been suggested as a universal threshold [17]. It is important to note that diagnostic ultrasound was not the source of the temperature elevation in any of these studies. Some believe that there are temperature thresholds for hyperthermia-induced birth defects (hence the ALARA [as low as reasonably achievable] principle), but there is some evidence that any positive temperature differential for any period of time has some effect, in other words there may be no thermal threshold for hyperthermia-induced birth defects [18]. In experimental animals the most common defects are microcephaly with associated functional and behavioral problems [17], microphthalmia and cataracts. There are reports on the effects of hyperthermia and measurements of in vivo temperature induced by pulsed ultrasound but not in humans [19–21]. Temperature increases of 1 °C are easily reached in routine scanning [22]. Elevation of up to 1.5 °C can be obtained in the first trimester and up to 4 °C in the second and third trimesters, particularly with the use of pulsed Doppler [23]. When the ultrasound wave travels through tissue, its intensity diminishes with distance (attenuation). In completely homogeneous materials, the signal amplitude is reduced only by beam divergence and absorption (conversion of sound to heat). However, biologic tissues are non-homogeneous and further weakening occurs due to scattering. The issue of temperature increase in the amniotic fluid is based on the fact that the energy of the ultrasound waves is partially converted to heat in the tissue traversed by the waves. Tissues with a high absorption coefficient (such as bone) will produce a high conversion rate while the conversion will be lower in

somit vermutlich nicht [18]. Bei Versuchstieren sind die häufigsten Schäden Mikrozephalie in Zusammenhang mit funktionellen Problemen und Verhaltensauffälligkeiten, Mikrophthalmie und Katarakte. Es gibt Berichte über durch gepulsten Ultraschall hervorgerufene, hyperthermische Wirkungen und In-vivo-Temperaturmessungen, allerdings nicht beim Menschen [19–21]. Ein Temperaturanstieg von 1 °C wird sehr schnell bei der Routineultraschalluntersuchung erreicht [22]. Insbesondere bei Verwendung von gepulstem Doppler kann eine Temperaturerhöhung bis zu 1,5 °C im ersten Trimenon und bis zu 4 °C im zweiten und dritten Trimenon beobachtet werden [23]. Wenn die Ultraschallwelle durch das Gewebe dringt, dann nimmt deren Intensität mit der Entfernung ab (Abschwächung). In vollständig homogenen Materialien wird die Signalamplitude nur durch die Divergenz des Strahls und die Absorption vermindert (Umwandlung von Schall zu Hitze). Biologische Gewebe sind jedoch inhomogen und eine weitere Schwächung erfolgt durch Streuung. Das Problem des Temperaturanstiegs im Fruchtwasser beruht auf dem Umstand, dass die Energie der Ultraschallwelle in den Geweben, die sie durchdringt, zum Teil in Hitze verwandelt wird. Gewebe mit einem hohen Absorptionskoeffizienten (wie Knochen) rufen eine hohe Konversionsrate hervor, bei Geweben mit niedriger Absorption ist die Umwandlung hingegen geringer. Flüssigkeiten haben sehr geringe Absorptionseigenschaften. Deshalb ist das Risiko einer Temperaturerhöhung im Fruchtwasser minimal. Die einzig verfügbare Studie zu diesem Aspekt zeigte während der Durchführung eines diagnostischen Ultraschalls keine Temperaturerhöhung im Fruchtwasser, weder bei der Graustufen-Darstellung (Sonografie) noch bei der Doppler-Sonografie [24].

Schlussfolgerungen

Obwohl der Ultraschall eine Schallwelle ist, die mechanische Wirkungen und Temperaturerhöhungen in den von ihr durchlaufenen Geweben hervorruft, scheint bei Verwendung von diagnostischem Ultraschall das Risiko für menschliche Föten minimal zu sein, wenn bestimmte Regeln eingehalten werden. Diese sind zum Beispiel die medizinische Indikation für die Durchführung einer Sonografie und die Befolgung des ALARA-Prinzips (Verwendung der niedrigsten Ausgangsleistung, die gerade erforderlich ist, um die nötigen diagnostischen Informationen zu erhalten, und Reduktion der Expositionszeit auf das Maß, das notwendig ist, um eine gute Diagnose zu erhalten).

References

- Samuel E. Fetuses can hear ultrasound examinations. *New Scientist News* 4.12.2001 <http://www.newscientist.com/article/dn1639-fetuses-can-hear-ultrasound-examinations.html>
- Fatemi M, Alizad A, Greenleaf JF. Characteristics of the audio sound generated by ultrasound imaging systems. *J Acoust Soc Am* 2005; 117: 1448–1455
- Arulkumaran S, Talbert DG, Nyman M et al. Audible in utero sound caused by the ultrasonic radiation force from a real-time scanner. *J Obstet Gynaecol Res* 1996; 22: 523–527
- Federal Agency Review of Selected Airport Noise Analysis Issues [page B-6] published by the Federal Interagency Committee on Noise (August 1992).
- Oliveira MJ, Pereira AS, Castelo Branco NA et al. In utero and postnatal exposure of Wistar rats to low frequency/high intensity noise depletes the tracheal epithelium of ciliated cells. *Lung* 2001; 179: 225–232
- Gerhardt KJ, Pierson LL, Huang X et al. Effects of intense noise exposure on fetal sheep auditory brain stem response and inner ear histology. *Ear Hear* 1999; 20: 21–32
- Sobrian SK, Vaughn VT, Ashe WK et al. Gestational exposure to loud noise alters the development and postnatal responsiveness of humoral and cellular components of the immune system in offspring. *Environ Res* 1997; 73: 227–241

tissues with low absorption. Fluids have very low absorption characteristics and, therefore, the risk of temperature elevation in the amniotic fluid is minimal. The only available study on the topic did not demonstrate any increase in temperature in the amniotic fluid when performing diagnostic ultrasound, both in grayscale anatomical imaging (sonography) and Doppler ultrasound [24].

Conclusion

While ultrasound is a sound wave which can produce mechanical effects and temperature elevation in tissues that it traverses, the risk to human fetuses when using diagnostic ultrasound appears to be minimal if certain rules are followed, such as performing a scan when medically indicated, and observing the ALARA principle (using the lowest output power consistent with acquiring the necessary diagnostic information and keeping the exposure time as low as possible for accurate diagnosis).

- Kieler H, Haglund B, Waldenström U et al. Routine ultrasound screening in pregnancy and the children's subsequent growth, vision and hearing. *Br J Obstet Gynaecol* 1997; 104: 1267–1272
- Newnham JP, Doherty DA, Kendall GE et al. Effects of repeated prenatal ultrasound examinations on childhood outcome up to 8 years of age: follow-up of a randomised controlled trial. *Lancet* 2004; 364: 2038–2044
- Salvesen KA, Vatten LJ, Jacobsen G et al. Routine ultrasonography in utero and subsequent vision and hearing at primary school age. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1992; 2: 243–244, 245–247
- Brezinka C, Lechner T, Stephan K. Der Fetus und der Lärm The fetus and noise (Article in German). *Gynäkol Geburtshilfliche Rundschau* 1997; 37: 119–129
- Nyman M, Barr M, Westgren M. A four-Year follow-up of hearing and development in children exposed in utero to vibroacoustic stimulation. *Br J Obstet Gynaecol* 1992; 99: 685–688
- Reeves MJ, Brandreth M, Whitby EH et al. Neonatal cochlear function: measurement after exposure to acoustic noise during in utero MR imaging. *Radiology* 2010; 257: 802–809
- The dangers of ultrasound. in <http://www.everyday-wisdom.com/dangers-of-ultrasound.html> accessed 10/25/11
- NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements). Exposure Criteria for Medical Diagnostic Ultrasound: II. Criteria Based on All Known Mechanisms. Report No. 140. Bethesda, MD 2002
- Edwards MJ, Saunders RD, Shiota K. Effects of heat on embryos and fetuses. *Int J Hyperthermia* 2003; 19: 295–324
- Edwards MJ. Hyperthermia as a teratogen: A review of experimental studies and their clinical significance. *Teratog Carcinog Mutagen* 1986; 6: 563–582
- Miller MW, Nyborg WL, Dewey WC et al. Hyperthermic teratogenicity, thermal dose and diagnostic ultrasound during pregnancy: implications of new standards on tissue heating. *Int J Hyperthermia* 2002; 18: 361–384
- Bosward KL, Barnett SB, Wood AK et al. Heating of guinea-pig fetal brain during exposure to pulsed ultrasound. *Ultrasound Med Biol* 1993; 19: 415–424
- Tarantal AF, O'Brien WD, Hendrickx AG. Evaluation of the bioeffects of prenatal ultrasound exposure in the cynomolgus macaque (*Macaca fascicularis*): III. Developmental and hematologic studies. *Teratology* 1993; 47: 159–170
- Duggan PM, Liggins GC, Barnett SB. Ultrasonic heating of the brain of the fetal sheep in utero. *Ultrasound Med Biol* 1995; 21: 553–560
- O'Brien WD, Siddiqi TA. Obstetric Sonography: The Output Display Standard and Ultrasound Bioeffects. In: Fleischer AC, Manning FA, Jeanty P et al. (eds) *Sonography in Obstetrics and Gynecology-Principles and Practice*. New York: McGraw-Hill 2001
- Bly SH, Vlahovich S, Mabee PR et al. Computed estimates of maximum temperature elevations in fetal tissues during transabdominal pulsed Doppler examinations. *Ultrasound Med Biol* 1992; 18: 389–397
- Soothill PW, Nicolaides KH, Rodeck CH et al. Amniotic fluid and fetal tissues are not heated by obstetric ultrasound scanning. *Br J Obstet Gynaecol* 1987; 94: 675–677