Übersichtsarbeit

Eingereicht: 18. Juni 1997

Angenommen: 28. Oktober 1997

Gynäkol Geburtshilfliche Rundsch 1997;37:119-129

Der Fetus und der Lärm

Ch.		Brezinka ^a
Th.		Lechner ^a
K.		Stephan ^b

^aUniversitäts-Klinik für Frauenheilkunde und ^bUniversitäts-Klinik für Hör-, Stimm- und Sprachstörungen, Innsbruck, Österreich

Key Words

Fetal hearing
Vibroacoustic stimulation tests
VAST
Noise exposure in pregnancy

Zusammenfassung

Ab der 23. SSW können einzelne, ab der 28. SSW alle gesunden Feten Geräusche wahrnehmen und auf sie reagieren. Die akustische Umgebung des ungeborenen Kindes ist geprägt durch mütterliche Geräusche: den mütterlichen Herzschlag, die Stimme der Mutter, Atem- und Darmgeräusche. Die maternale Geräuschkulisse sinkt nie unter 28 dB, sie kann bis 84 dB steigen. Geräusche, die den Feten erreichen sollen, müssen lauter sein als jene, die er ständig hört. Niederfrequente Geräusche werden durch mütterliches Gewebe weniger gedämpft als hochfrequente und dringen leichter zum Feten durch als hochfrequente. In der Schwangerschaftsüberwachung hat sich vielerorts der vibroakustische Stimulationstest mit dem Larynxstimulator eingebürgert. Vor- und Nachteile der verschiedenen fetalen Weckreize werden an Hand von Tierversuchen und klinischen Studien diskutiert. Die Mutterschutzbestimmungen der meisten Länder verbieten «Lärmarbeitsplätze» für schwangere Frauen, sie dürfen nicht an Arbeitsplätzen mit Dauerlärm von 80 dB bzw. mit impulsartigen Lärmschwankungen von 40 dB arbeiten. Während an industriellen Arbeitsplätzen solche Bestimmungen leicht durchsetzbar und überwachbar sind, sind schwangere Frauen im Gastgewerbe und in der Unterhaltungsmusik oft massiver Beschallung ausgesetzt.

Prof. Dr. Ch. Brezinka, Universitätsklinik für Frauenheilkunde, Anichstrasse 35, A-6020 Innsbruck (Österreich)

Schlüsselwörter

Fetales Hörempfinden
Vibroakustische Stimulationstests
Weckreiz
Lärmschädigung in der Schwangerschaft
The Fetus and Noise

From 23 weeks of gestation some and from 28 weeks all healthy fetuses are capable of reacting to sound stimulation. The intrauterine acoustic environment is dominated by maternal sounds – heartbeat, breathing, the mother's voice, borborygmi and sounds caused by body movements. Background noise is never below 28 dB and can rise to 84 dB when the mother is singing. Noises that are meant to reach the fetus must be louder than the background noise and must be of low frequency as high frequency sounds are damped by maternal tissue. Vibroacoustic stimulation tests (VAST) have become popular in pregnancy surveillance over the last 20 years, mostly using an artificial larynx. Advantages and problems of the various VAST protocols in fetal monitoring are discussed in the light of animal experiments and clinical studies. Health legislation laws in most countries forbid pregnant women to work in surroundings with a high

noise level (80 dB continuous noise and/or rapid impulse noise changes of 40dB). Whereas regulations for pregnant women are easy to enforce in industry, pregnant women employed in discos or performing as musicians spend most of their working day exposed to noise impact higher than the recommended limit.

Le fœtus et le bruit

Tous les fœtus en bonne santé sont en mesure de percevoir les bruits et d'y réagir dès la 28^e semaine de gestation – certains même dès la 23^e semaine. L'environnement acoustique de l'enfant in utero est caractérisé par les bruits maternels: battements du cœur, voix, respiration, bruits intestinaux. Les bruits dans l'environnement maternel ne sont jamais inférieurs à 28 dB et peuvent monter à 84 dB. Les bruits que doit percevoir le fœtus doivent être plus intenses que ceux qu'il entend habituellement. Les bruits basse fréquence sont moins atténués par les tissus maternels que les bruits haute fréquence et lui parviennent plus facilement. Le test de stimulation vibro-acoustique au moyen d'un stimulateur laryngien est désormais sou-vent appliqué dans le cadre de la surveillance des grossesses. Les avantages et les inconvénients des divers stimulus d'éveil fœtal sont discutés sur la base d'expérimentations animales et cliniques. Dans la plupart des pays, la législation en faveur de la protection maternelle interdit les postes de travail bruyants pour les femmes enceintes; elles ne doivent pas travailler à des postes les exposant à un bruit continu de 80 dB ou à des variations phoniques à type d'impulsion de 40 dB. Alors qu'il est facile d'instituer et de surveiller le respect d'une telle réglementation dans un environnement industriel, les femmes enceintes employées dans la restauration et les discothèques sont souvent exposées à des niveaux sonores considérables.

KAHGEiV

Fax + 41 61 306 12 34 E-Mail karger@karger.ch www. karger. com

© 1997 S. Karger AG, Basel

This article is also accessible online at: <http://BioMedNet.com/karger>

Einleitung

Schon lange bevor die Wissenschaft begann, sich mit dem werdenden Kind im Mutterleib auseinanderzusetzen, wussten Menschen, dass der Fetus im Uterus nicht in einer hermetisch abgeschlossenen Welt lebt. Kindesbewegungen waren ein sicheres äusseres Zeichen der Schwangerschaft, und in einer Zeit, als die äusseren Zeichen der Schwangerschaft einerseits viel vertrauter, andererseits viel geheimnisvoller waren, wurde spontanen Kindesbewegungen oft eine ausserordentliche Bedeutung zugeschrieben. Eine der ältesten und bedeutendsten Quellen finden wir im Lukasevangelium: Die schwangere Maria besucht ihre Verwandte Elisabeth, die selbst auch schwanger ist. Bei der Begrüssung verspürt Elisabeth starke Kindesbewegungen: «Sobald Elisabeth den Gruss Mariens hörte, hüpfte das Kind in ihrem Leibe» [Lukas 1.41]. Daraufhin rezitiert Elisabeth das Magnifikat. Zu dieser Szene, die als Maria Heimsuchung (lat. Visitatio) bekannt ist und in der Kunstgeschichte seit der Romanik von unzähligen Künstlern dargestellt wurde, gibt es ausführliche theologische Literatur. So wurden die heftigen Bewegungen von Elisabeths Kind, dem späteren Johannes dem Täufer, als Beweis angesehen, dass Maria ohne Erbsünde geboren war [1]. Es dauerte bis ins 20. Jahrhundert, bis die medizinische Wissenschaft erkannte, dass ein Hörvorgang beim Neugeborenen und selbst beim Fetus überhaupt möglich ist: In «Das zentrale Nervensystem des Kindes und das Seelenleben desselben» schrieb Julius Uffelmann [2] noch 1890, dass das Neugeborene infolge einer Schwellung der Paukenhöhlenschleimhaut taub sei und es erst im Alter von 6 Wochen auf Geräusche reagieren könne.

Hören in utero

In utero wird das Ohr des Feten einschliesslich des äusseren Gehörgangs, ähnlich wie bei einem Taucher unter Wasser, von Flüssigkeit umspült. Schall, der zum Ohr vordringt, wird durch das Medium der Amnionflüssigkeit transportiert. Vom Mittelohr an ist die Schalleitung nicht anders als im späteren, extrauterinen Leben des Kindes. So wie der Taucher im Wasser Geräusche wahrnehmen kann, z.B. die Motorengeräusche von Schiffen, kann das Gehörorgan auch bei flüssigkeitsgefülltem äusseren Gehörgang akustische Signale empfangen und weiterleiten. Ähnlich wie beim Taucher spielt die Knochenleitung beim Feten eine wesentliche Rolle [3].

Morphologische Studien haben gezeigt, dass die menschliche Cochlea in der 20.

Schwangerschaftswoche so weit entwickelt ist wie dies bei anderen Land-Säugetieren der Fall ist, wenn diese zu ersten Reaktionen auf Geräusche fähig sind [4]. Ein tatsächlicher Hörvorgang sollte theoretisch von diesem

Zeitpunkt an möglich sein, obwohl sich erste Reaktionen auf akustische Stimuli erst einige Wochen später nachweisen lassen. Die Bildung der thalamo-cortikalen Bahnen, die Gefühle und Schmerzempfinden erst möglich machen, erfolgt von der 17. bis zu 26. SSW [5]. Die wichtigsten akustischen Messgrössen sind einerseits die Frequenz, in der die Höhe des Tons in Hertz angegeben wird, und die Lautstärke, der Schalldruck (sound pressure level), die in Dezibel angegeben wird. Die Basalfrequenz der weiblichen Stimme liegt bei 220 Hz, die Lautstärke eines normalen Gespräches beträgt zwischen 65 und 75 dB. Die «Geräuschkulisse» der im Uterus hörbaren mütterlichen Geräusche setzt sich zusammen aus Darm-geräuschen, Sprechen, Husten, Herzaktion und den Geräuschen, die durch Körperbewegungen entstehen [6]. Der Dauerlärmpegel sinkt intrauterin nie unter 28 dB, d.h. die völlige Stille im Mutterleib gibt es nicht. Höchstwerte von 84 dB können, etwa bei lautem Singen der Mutter, im Einzelfall erreicht werden [7].

Geräusche, die den Feten von aussen erreichen, sind über die Luft, die Kleidung, dann durch die Abdominalwand der Mutter, die Muskelschicht des Uterus und schliesslich durch die Amnionflüssigkeit durchgedrungen, um das Ohr des Feten zu erreichen. Es müssen also ungewöhnlich laute und vor allem niederfrequente Geräusche sein, die durch die relative Schallisolierung der einzelnen Gewebeschichten bis zum Kind durchdringen und die vorhandenen Hintergrundgeräusche übertönen. Das mütterliche Abdomen wirkt für Frequenzen von 125-2 000 Hz wie ein Filter, der höherfrequente Schallenergie mit etwa 6 dB/Oktave wegfiltert. Um das Tonspektrum, das beim Feten tatsächlich ankommt, zu beschreiben, verwenden Gerhardt und Abrams [8] den Vergleich mit einer Stereoanlage, bei der die Basse voll aktiviert und die Höhen auf Minimalstellung sind. Geräusche mit niedriger Frequenz (unter 500 Hz) erreichen das fetale Innenohr eher als hochfrequente Töne (über 500 Hz), da die Schwächung durch das flüssigkeitsgefüllte Aussen- und Mittelohr in umgekehrter Relation zur Frequenz steht. Ein weiterer Faktor ist die Distanz zwischen Schallquelle und fetalem Hörorgan, wobei zwar die Dicke der mütterlichen Abdominalwand Einfluss auf die Reaktionen des Feten hat, aber die Ausdehnung der von der Uterusinnenwand bis zum fetalen Ohr zu durchlaufenden Fruchtwasserschicht nur geringen Einfluss hat [9, 10].

Mit ausschlaggebend, ob Schall bis zum Feten durchdringt, ist die statische Kraft, mit der eine Schallquelle auf das materne Abdomen gedrückt wird. Das «Coupling» -das Andocken der Schallquelle, mit dem die direkte Übertragung der Schallwellen an die Haut der Mutter ermöglicht wird – kann durch Schallleitendes Gel erleichtert werden [11]. Auch hier ist die Frequenz der Schallquelle entscheidend: Schallwellen aus Schallquellen mit einer Frequenz unter 500 Hz sind weniger stark vom Coupling

Brezinka/Lechner/Stephan

abhängig als Schallwellen über 1000 Hz [12]. Der Fetus ist also gegen hohe Frequenzen besser geschützt als gegen niedrige. Umgekehrt müssen Töne, mit denen man seine Reaktion provozieren will, niederfrequent sein und die Schallquelle muss direkt ans maternale Abdomen ange-legt werden [13]. Niederfrequenter Schall kann intrauterin selbst verstärkt werden, d.h. der Schalldruck kann am fetalen Ohr lauter sein als an der Schallquelle – beim Schafumbis zu 2 dB [14, 15].

Allerdings kann die Reizleitung und Reizverarbeitung der akustischen Wellen auch intrauterin kaum getrennt von der Wahrnehmung vibratorischer Reize gesehen werden. Die Vibration wird von über den ganzen Körper verteilten Meissner-Körperchen wahrgenommen und über sensorische Bahnen weitergeleitet. Die fetale Antwort auf einen Stimulus ist mit abhängig von der Reife dieser sensorischen Bahnen [16]. Einzelne Autoren vertreten den Standpunkt, die vibratorische Komponente sei selbst wichtiger als die akustische [17]. Da akustische Signale auch Vibrationen hervorrufen, ist es technisch eher schwierig, dem Feten rein akustische Reize völlig getrennt von vibratorischen Reizen zuzuspielen [18]. Reine Töne können nur hochfrequent zugespielt werden: Um sicherzugehen, dass die vibratorische Komponente möglichst gering war, verwendete eine schwedische Arbeitsgruppe einen Ton der Höhe von 3 000 Hz, wobei zur besseren Schalleitung Ultraschall-Gel zwischen die Auflagefläche der Schallquelle und das mütterliche Abdomen gebracht wurde [11].

Im menschlichen Fetus konnten eindeutige Reaktionen auf akustische Reize – «Antworten» auf Geräusche, die auf einen fetalen Hörvorgang schliessen lassen – bei einzelnen Feten ab der 23. Schwangerschaftswoche beobachtet werden. Ab der 28. Woche wurden bei alien Feten in alien Studien Reaktionen beobachtet (Tab. 1) [19].

In den meisten Studien wurde die vibratorische Komponente des Impulses von einem Larynxstimulator erzeugt, der ein Maximum an Vibration bei 450 Hz erreicht [22]. Die vibroakustische Stimulation präsentiert dem

Feten somit zweierlei Reize, den vibratorischen und den akustischen Reiz. Beide Komponenten resultieren in der Bewegungszunahme von Partikeln im mütterlichen Gewebe und in der Amnionflüssigkeit, also in der Verursachung einer «Druckwelle», die den Fetus passiert. Die Reaktion des Feten bei kombinierter akustischer und vibratorischer Stimulation ist, im Gegensatz zu alleiniger akustischer Stimulation, heftiger. Es wurden markantere Akzelerationen und auch stärkere Kindesbewegungen festgestellt [23]. Ein funktionierender cerebraler Cortex als das Ursprungs- und Übertragungsgebiet der fetalen Reaktion auf akustische Stimuli ist Voraussetzung – bei Anencephali hat sich gezeigt, dass diese zu keinem Zeitpunkt auf vibroakustische Stimulation reagieren [24, 25]. Der Larynxstimulator ist jedoch nicht das einzige Gerät, mit dem versucht wurde, fetale Reaktionen zu provozieren: Tabelle 2 gibt eine sicher unvollständige Übersicht über das breite Spektrum von Lärmgeräten – Autohupen, Türglocken, elektrischen Zahnbürsten, «Buzzer» aus dem Scherzartikelhandel, die alle eingesetzt wurden, um den Fetus zu einem Reaktionsmuster zu bewegen, das als Reizantwort interpretiert werden konnte. Das Erkennen dieser Reizantwort erfolgte mit so unterschiedlichen Methoden wie Befragung der Schwangeren, Beobachtung des Abdomens von aussen, direkter Ultraschallbeobachtung und Verlaufskontrolle der fetalen Herzaktion mit CTG.

Tabelle 1. Erste Reaktionen auf vibroakustische Reize

Tabelle 2. Beispiele für gelungene fetale Stimulation

Autor

Stimulus

Kommentar

Peiper, 1925 [26] Forbes und Forbes, 1927 [27] Sontag und Wallace, 1935 [28] Read und Miller, 1977 [29] Leader et al., 1982 [21] Trudinger et al., 1980 [30] Serafini et al., 1984 [31] Johansson, 1992 [11] Westgren et al., 1987 [32] Abitbol et al., 1992 [33]

Autohupe Theaterpublikum Türglocke Larynxstimulator elektr. Zahnbürste reiner Ton reiner Ton reiner Ton Larynxstimulator mütterl. Stimme

Zunahme an Kindesbewegungen

vermehrte Kindesbewegungen bei Applaus

ab der 31. SSW deutliche Bewegungszunahme

105-120 dB, mit vibratorischer Komponente

mit vibratorischer Komponente

850 Hz, wechselnde dB

1220 Hz, 126 dB

3 000 Hz, 110 dB

100 Hz, 110 dB

mütterliche Hand am Abdomen, lautes Lesen eines Textes

Der Fetus und der Lärm

Gynäkol Geburtshilfliche Rundsch 1997;37:119-129

121

Die meiste Information über den Umfang einer fetalen Antwort auf einen Reiz ist mit den heutigen Untersuchungsmöglichkeiten im B-Bild, im Idealfall mit zwei nicht miteinander interferierenden Ultraschallgeräten, eventuell in Kombination mit mitlaufendem CTG, zu bekommen.

Untersuchungen an Tiermodellen

Die deutliche Verbesserung des Sauerstoffangebotes, das mit dem Einsatz der Lungenatmung nach der Geburt einsetzt, scheint sich auch auf die Hörfähigkeit des Neugeborenen auszuwirken: Bei Meerschweinchen sinkt die Hörschwelle nach der Geburt um 20 dB [34]. Für Studien des Gehörorgans sind das Mutterschaf und der Schaf-Fetus gut geeignet, da die morphologische Entwicklung des Hörorgans ähnlich der beim Menschen verläuft und die Distanz zwischen der am Abdomen des Mutterschafes angebrachten Schallquelle und dem Gehörssystem des Feten auch der Situation beim Menschen vergleichbar ist. In einer Studie wurden Schaf-Feten Cochlearmikrophone implantiert [13]. Danach wurden die Mutterschafe aus 1,8 m Entfernung intensiver Beschallung in Tonleiterfolge von 125-2000 Hz ausgesetzt. An den mittels Sectio geborenen Lämmern wurde 24 h nach der Geburt dieselbe Beschallung wiederholt. Anschließend verglich man die Ergebnisse beider Mikro-phonaufzeichnungen: Während im niederfrequenten Bereich die Dämpfung mit 11 dB sehr gering war, drangen Töne mit 2 000 Hz nur mit einer Dämpfung von bis zu 56 dB in den Uterus. Der intrauterine Fetus erfährt niederfrequenten Lärm annähernd genauso laut wie das neugeborene Tier, eine Schädigung der Cochlea wird – wenn überhaupt – dann durch niederfrequente Beschallung verursacht [35]. In einer Studie, in der Hydrophone über mehrere Wochen an Schaf-Feten implantiert blieben und die empfangenen Geräusche per Funk nach aussen übertragen wurden, zeigte sich, dass die

mütterliche Stimme, bei intakter Fruchtblase mit Funk-Hydrophon übertragen, deutlich lauter war als wenn sie mittels vaginal eingeschobenem Mikrophon nach Blasensprung aufgenommen wurde. Dieselbe Studie zeigte auch, dass die akustische Umgebung vor Einsatz der Wehen und vor Blasensprung wesentlich stiller war als danach [14].

Experimente an Schafen haben gezeigt, dass die Verschiebung des Larynxstimulators auf der Oberfläche des Abdomens des Mutterschafes um 7,5 cm den Schallpegel an einem fixierten Punkt im Uterus bis zu 20 dB verändern kann. Zu diesen Messungen wurde das Hydrophon am Schaf-Feten intrauterin direkt auf dem Scheitel des Schaf-Feten befestigt [36].

Uns liegt nur eine Studie vor, in der die Auswirkung von Impuls-Schall auf einen Schaf-Fetus untersucht wurde:

Pierson mass in einer Studie die akustisch evozierten Potentiale eines intrauterinen Schaf-Feten und eines nicht schwangeren Schafes auf massives Impuls-Schall-trauma. An einem militärischen Übungsplatz band sie die Tiere direkt neben einer 105-mm Feldhaubitze an, die in rascher Folge zehnmal abgefeuert wurde und dabei eine Lautstärke von 160-166 dB entwickelte. Die Feldhaubitze war wegen des niedrigfrequenten Schallspektrums – des dumpfen, tiefen Knalls – gewählt worden. Hier wurden die akustisch evozierten Potentiale (auditory brain-stem responses – ABR) gemessen. Die ABR-Schwelle im niederfrequenten Bereich stieg, d.h. verschlechterte sich, beim Feten, der durch die Wolle und die Gewebeschichten des Muttertieres geschützt waren, um 15 dB, beim erwachsenen Tier um 50 dB [37]. Histologische Untersuchungen nach intensiver Beschallung fetaler Schafe über das gesamte Spektrum zeigten zudem, dass die mittleren und apikalen Anteile der Cochlea mehr geschädigt waren [38].

Entwicklung der fetalen Bewegungsmuster

Als im 16. Jahrhundert die ersten gedruckten Lehrbücher und Anleitungen für Hebammen erschienen, fehlte nie der Hinweis, dass regelmässig wahrnehmbare Kindesbewegungen vor der Geburt ein gutes Zeichen, geringe oder gar fehlende Kindesbewegungen ein schlechtes Zeichen für den Ausgang der Schwangerschaft seien. Dies entsprach der Lebenserfahrung vieler Jahrtausende [39].

Durch die rasche Entwicklung der Ultraschalltechnologie hat unser Wissen über die Entwicklung und die Art der fetalen Bewegungsmuster in den letzten Jahren rapide zugenommen [40]. Spontane Bewegungen des Embryos können erstmals um die 7. SSW bei einer Scheitel-Steisslänge von 10 mm beobachtet werden. Mit zunehmendem Wachstum werden die Bewegungen differenzierter, und nach der 15. SSW ist es möglich, 15 verschiedene Bewegungsarten zu differenzieren [41].

Häufige aktive Änderungen der intrauterinen Position des Feten verhindern Adhäsionen und lokale Stase der Blutzirkulation der Haut. Mangelnde fetale Bewegungen (z.B. durch Amnion-Bänder-Syndrom, Ahydramnie) führen zu gravierenden Problemen vor und nach der Geburt. Saug-, Schluck- und Atembewegungen spielen eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung der Lunge und bei der Regulation der Fruchtwassermenge [42].

Zwischen der 20. und 30. SSW werden die Körperbewegungen des Fetus zusehends organisierter [43]. Dieser «Fortschritt» im fetalen Verhalten dauert bis zur 36. SSW an. Zu diesem Zeitpunkt sind die Bewegungsabläufe so koordiniert, dass man von «periods of coincidence» zwischen Herzaktion, Augenbewegungen und Körperbewegungen spricht. Diese wurden von Nijhuis [44, 45] als

Brezinka/Lechner/Stephan

«behavioural states» definiert, die schon eine deutliche Analogie zu den Verhaltensmustern Neugeborener zeigen. Sie werden in F-Stadien, von F1 bis F4, zusammengefasst. Das Stadium F1 ist das Stadium des ruhigen Schlafes, F2 das des unruhigen REM-Schlafes («aktiver Schlaf»), F3 ein Übergangsstadium, während F4 schon einen Zustand der Irritation, vielleicht des Schmerzes, signalisiert. Der F1-Status kann bis zu 40 min andauern. Wenn in dieser Zeit ein Routine-CTG abgenommen wird, so kann, aufgrund des eingeschränkten Verlaufs und der fehlenden Akzelerationen, fälschlich auf einen fetalen Mangelzustand geschlossen werden.

Abnorm hektische Körperbewegungen wiederum können ein Hinweis auf Chromosomenanomalien sein – z.B. die Hypermobilität bei Trisomie 18 [46].

Der menschliche Fetus schränkt bei der chronischen Hypoxie möglichst viele sauerstoffverbrauchende Prozesse ein und kann damit maximal 20% seines Sauerstoffbedarfes einsparen. Dies ist jedoch ein kontinuierlicher, teilweise auch reversibler Prozess, der über «qualitativ abnorme Bewegungen» bis zu völlig fehlenden Bewegungen geht [47].

Ein markantes Absinken der Bewegungsinzidenz ist ein Zeichen einer ernstesten Beeinträchtigung des Fetus durch Hypoxämie – die seit Jahrhunderten bekannte Gefährdung des Fetus, die mit Abnahme der Kindesbewegungen einhergeht. Die Kindesbewegungen nehmen erst kurz vor der massiven Schädigung ab bzw. sind bereits ein Zeichen derselben. Häufig haben schwangere Frauen, bei denen ein intrauteriner Fruchttod festgestellt wird, noch 1-2 Tage davor deutlich Kindesbewegungen wahrgenommen [47, 48].

Allerdings sind Überwachungsverfahren, die auf subjektiver Wahrnehmung von Kindesbewegungen durch die Schwangere basieren, eher unverlässlich: die Schwangere verspürt nur 38% aller sonografisch nachweisbaren fetalen Bewegungen [49]. In 31% der Fälle empfinden Schwangere fetale Bewegungen, die sonographisch nicht vorhanden sind [50].

Allerdings ist das Führen von «kick charts» durch die Schwangere eine kostengünstige Methode, gerade wenn Ressourcen beschränkt sind [51]. Ausserdem weisen Proponenten wie Nijhuis [52] darauf hin, dass bei Anwendung eines Schwangerschaftsbetreuungsprotokolls mit «kick charts» der Arzt ein wesentlich ausführlicheres Gespräch über Kindesbewegungen mit der Schwangeren führen wird, als wenn Kindesbewegungen nicht protokolliert werden.

Die fetale Hör- und Reaktionsfähigkeit scheint direkt vom intrauterinen Sauerstoffangebot abhängig zu sein: Eine israelische Arbeitsgruppe fand mittels einer Kombination von direkter Ultraschall-Beobachtung und Eigenbeobachtung der Schwangeren, dass Feten zwischen der 32. und 41. SSW, deren Mutter über eine Maske reinen Sauerstoff einatmeten, starker und bereits auf niedrigere

Lautstärkenintensitäten eines Larynxstimulators reagierten, als wenn die Frauen in der Raumluft entsprechendes Gasgemisch einatmeten [53].

Die vibroakustische Stimulation im Non-Stress-Test und im Routine-CTG

Als nach 1970 technisch zunehmend bessere Geräte zur Registrierung der fetalen Herzaktion verfügbar wurden und auch der Einsatz des Ultraschalls in der Geburtshilfe begann, gab es verschiedene Gründe, einen fetalen Stimulationstest einzusetzen. Aus einer Reaktion des Fetus konnte man auf sein Wohlbefinden schliessen [29] und man konnte die Reaktion des Fetus auf einen Reiz selbst als erste pränatale neurologische Untersuchung ansehen [54]. Auch für einen «fetalen Hörtest» wurden und werden immer wieder Argumente aufgeführt [55-57].

Heute werden täglich weltweit tausende vibroakustische Stimulationen an Feten durchgeführt, um sich aus der vorhandenen oder nicht vorhandenen Reaktion ein Bild über ihr Wohlbefinden zu machen. Ein CTG, dessen Aufzeichnung der fetalen Herzaktionen einen monotonen Verlauf

wiedergibt, kann ebenso einen Schlafzustand des Feten darstellen wie eine Sparschaltung eines mangelernährten und vielleicht schon hypoxischen Feten [58]. Ein gesunder Fetus wird spätestens nach 40 min aus seinem Tiefschlaf aufwachen, am CTG wird dies als Zunahme der Oszillationsbreite und Auftreten von Akzelerationen zu sehen sein.

Wo man nicht so lange warten kann oder will, kommt der Larynxstimulator zum Einsatz: Er kann, wenn er auf das Abdomen der Schwangeren gedrückt wird, mit Knopfdruck einen kurzen und intensiven Schall- und Vibrationsimpuls abgeben. Gesunde Feten, die sich ruhig verhalten, wachen auf diesen Impuls hin ruckartig auf, was sich sowohl in der Wahrnehmung der Mutter als auch an externen Ableitungen (CTG, Ultraschall) zeigt. Feten, die auf diesen Impuls nicht reagieren, sind mit grosser Sicherheit in einem kritischen Zustand von Mangelernährung und Hypoxie [59, 60]. Der vibroakustische Stimulationstest (VAST) wurde vielerorts eingeführt, um die Dauer der CTG-Untersuchung in der Schwangerschaft -in den USA der standardisierte Non-Stress-Test [61] – zu verkürzen [29-31, 62, 63]. Ein gesunder Fetus «antwortet» auf den Reiz mit Herzfrequenzakzeleration und vermehrten Bewegungen («startle reflex»). In der Mehrzahl der Fälle erfolgt die Herzfrequenzakzeleration sofort nach der vibroakustischen Stimulation [17, 64, 65].

Der Hauptzweck der vibroakustischen Stimulation ist, den F1-Status zu durchbrechen und durch ein «Aufwachen» des Feten den Beweis zu haben, dass dieser durchaus zu Reaktionen und Akzelerationen fähig ist. Ziel der vibroakustischen Stimulation ist der Wechsel vom F1- in

Der Fetus und der Lärm

Gynäkol Geburtshilfliche Rundsch 1997;37:119-129

123

den F2-Status. Allerdings scheint man gerade mit dem Elektrolarynx häufig über dieses physiologische Ziel hinauszuschiessen: In einer Studie von Visser et al. [66] wurde das Verhalten der Feten während des Weckreizes beobachtet. Vor dem Weckreiz befanden sich alle Feten im Stadium F1. In 7 von 9 Fällen wechselten die Feten das Stadium, davon wechselten 4 in das Stadium F2 und 3 in das Stadium F4. Wurde die Stimulation im Stadium F2 (aktives Schlafstadium) durchgeführt, wechselten 4 von 9 Feten in das Stadium F4 [66]. In einer Studie von Devoe et al. [67] gingen alle 4 stimulierten Feten aus dem Stadium F1 in das Stadium F4 über. Von jenen 16 Feten, die im Stadium F2 stimuliert wurden, wechselten 11 nach F4. Verschiedene Autoren meldeten wegen dieser Ergebnisse Besorgnis über die Sicherheit der vibroakustischen Stimulation an, da im normalen fetalen Verhaltensmuster das Stadium F4 sehr selten vorkommt und ein Wechsel von F1 in F4 bei Neugeborenen nur in Verbindung mit Schmerz auftritt.

Der Weckreiz mit dem Larynxstimulator ist nicht der einzige Test, mit dem festgestellt wird, ob ein silentes CTG und ein regloses Kind Zeichen von Schlaf oder Distress sind. Es gibt eine Reihe teilweise anekdotischer Mitteilungen, wie mit anderen Mitteln versucht wird, dieses Ziel zu erreichen: Das Anstrahlen des mütterlichen Abdomens mit einer starken Lichtquelle ist eine Methode, die praktisch ohne Berührung der Patientin auskommt. Im Gegensatz dazu ist die Schüttel-Stosspalpation des schwangeren Abdomens, wie sie vielerorts betrieben wird, ein recht direkter und manchmal auch grober Eingriff in die körperliche Unversehrtheit der Schwangeren. Zudem ist der Fetus gegen Ende der Schwangerschaft viel Schütteln gewohnt. Um die durch die Habituation recht hohe Reizschwelle zu durchbrechen, muss entsprechend viel Kraft beim Schütteln des Abdomens angewandt werden. Von einer Standardisierung kann bei dieser Methode keine Rede sein. Das Klappern mit Suppenlöffeln auf dem maternalen

Abdomen (ein Löffel wird mit der konkaven Seite auf das Abdomen gedrückt, mit einem zweiten Löffel wird in rascher Folge mit der konvexen Seite darauf geschlagen) kommt dem Prinzip der vibroakustischen Stimulation nahe und ist weniger invasiv als die Schüttel-Palpation. Auch hier ist eine Standardisierung nur sehr begrenzt möglich. An der Innsbrucker Klinik wurde der Larynxstimulator erfolgreich durch einen konventionellen mechanischen Wecker mit Metallgehäuse ersetzt, der aufgezogen wird, seitlich an das Abdomen der Mutter gehalten und dann zum Klingeln gebracht wird. Mit Höchstwerten von 88 dB – am «artificial mastoid» gemessen – konnte bei niedrigerer Lärmintensität als mit dem Larynxstimulator der gewünschte Effekt erreicht werden [68].

Der wachstumsretardierte, an der Grenze zur Hypoxie befindliche Fetus schränkt, um Energie zu sparen, seine

Bewegungen ein. Kritiker der Stimulationstests weisen auf den zweifelhaften Wert einer Untersuchung hin, bei der man den bereits kompromittierten Fetus durch die vibroakustische Stimulation erschreckt, ihn zu energie-verbrauchenden, unkoordinierten Bewegungen veranlasst, um im CTG «beruhigende» Veränderungen feststellen zu können [69].

Im diagnostischen Ultraschall gilt seit langem das ALARA (as low as reasonably achievable)-Prinzip. Man soll das erwünschte Ziel (im Fall der Sonographie meist die Darstellung einer Struktur) mit der niedrigst möglichen Schallenergie erreichen. Die vibroakustische Stimulation spielt sich zwar im hörbaren Spektrum des Schalls ab, doch das ALARA-Prinzip kann hier genauso gut zur Anwendung gebracht werden: man wendet nicht mehr Lärm an, als zum Auslösen einer Reaktion beim gesunden Fetus notwendig ist. Die Forderung mehrerer Autoren, der Weckreiz sollte einen schmerzfreien, aber ausreichend intensiven, die Schlafphase durchbrechenden Impuls setzen [64, 70], ist im Fall des Larynxstimulators nicht erfüllt.

Vibroakustische Stimulation und diagnostischer Ultraschall

Im konventionellen B-Bild-Ultraschall hat sich die vibroakustische Stimulation des Fetus als praktisch erwiesen, um den Fetus aus einer für bestimmte Untersuchungsschritte schlecht einsehbaren Lage herauszubringen [20]. Bei Problemen, einen 4-Kammerblick darzustellen [71], hatte man mit der Anwendung eines Weckreizes ebenso Erfolg wie beim Versuch, den Fetus zum Öffnen seiner Hand zu bewegen [72] und somit ein Zählen seiner Finger zu ermöglichen.

Wladimiroff und Cheung [73] sowie Maesel et al. [74] untersuchten die Durchblutung der fetalen Hirnarterien vor und 3 min nach der vibroakustischen Stimulation. Bei gesunden Feten ergab sich kein Hinweis auf Veränderungen im Muster der zerebralen Durchblutung. Maesel et al. fanden allerdings eine Abnahme des Pulsatilitätsindex (PI) der Umbilikalarterie in Folge des Weckreizes. Der PI sinkt in allen arteriellen Gefäßen ab, wenn es zu einer Herzfrequenzerhöhung kommt, was wiederum das Ziel einer erfolgreichen vibroakustischen Stimulation ist. Doch der PI-Abfall in Folge des Weckreizes ging über den Effekt der Frequenzerhöhung hinaus, musste also vaskuläre Ursachen, etwa eine Erhöhung der Kontraktilität des Herzmuskels, haben.

In einer Studie von Loy et al. [75] wurden zwei Gruppen von Feten 5 s mit einem Larynxstimulator beschallt. Bei der einen Gruppe handelte es sich um normal wachsende, bei der anderen Gruppe um intrauterin wachstumsretardierte Kinder, letztere bereits mit dopplersono-

Brezinka/Lechner/Stephan

grafisch messbarem «brain sparing effect». Es wurde an alien Feten vor und nach dem VAST eine Doppleruntersuchung der A. cerebri media und der A. umbilicalis durchgeführt. Beide Gruppen wurden so stark geweckt, dass die Doppleruntersuchung erst 5 min nach dem Weckreiz möglich war. Das brain sparing blieb bei den intrauterin wachstumsretardierten Feten bestehen, der Weckreiz änderte daran nichts.

Auch die anderen Autoren mussten mindestens 3 min warten, bis sie in der Lage waren, nach dem Weckreiz wieder Doppler-Aufzeichnungen zu machen. Da es sich um sehr erfahrene Könnern des Doppler-Ultraschalls handelte, zeigt dies, in welcher starken Bewegungen der Fetus durch den Weckreiz gebracht wurde. Über die unmittelbaren Folgen des Weckreizes auf den mit Doppler messbaren fetalen Blutfluss – in den Sekunden und Minuten danach – fehlen derzeit jegliche Informationen.

Schliesslich scheint der Ultraschallkopf selbst auch in manchen Fällen eine nicht unerhebliche Schallquelle zu sein [76]: ein Schallkopf, der im Zuge einer Ultraschalluntersuchung über das mütterliche Abdomen streicht, verursacht Geräusche «wie ein überfliegender Hubschrauber». Gehörschäden durch vibroakustische Stimulation?

Die Antwort des Neugeborenen auf Lärm – definiert als Abfolge erschreckender bzw. irritierender Laute – besteht in einem generalisierten paroxysmalen Reflex. Es wurden ähnliche Antworten in gesunden Feten nach vibroakustischer Stimulation erreicht [54]. Sorgen über den intensiven Lärm, den der Larynxstimulator im Gewebe macht und der beim Feten das abrupte Aufwachen verursacht [10], führten dazu, dass eine Reihe Untersuchungen an Kleinkindern gemacht wurde, die alle intrauterin einem Weckreiz mit Larynxstimulator ausgesetzt gewesen waren.

In Schweden wurden 460 Kinder, die vor der Geburt routinemässig im Zuge von CTG-Kontrollen mit einem Larynxstimulator beschallt worden waren, nach Spätfolgen untersucht (der Schalldruckpegel des verwendeten Larynxstimulators hatte in 2 cm Entfernung in Luft 99 dB betragen). Es handelte sich dabei um normale Schwangerschaften und Risikoschwangerschaften aus den Jahren 1985-1987. Im Alter von 4 Jahren unterzog man alle Kinder einer neurologischen Untersuchung und führte einen Hörtest mit 20-25 dB bei acht Frequenzen zwischen 500 und 8 000 Hz durch – man testete die Fähigkeit, sehr leise Töne wahrzunehmen. Es zeigte sich, dass in keinem Fall eine Hörminderung vorlag, die mit der Durchführung der vibroakustischen Stimulation mittels des Larynxstimulators in der Fetalperiode in Zusammenhang zu bringen war [77]. Andere Studien waren zu ähnlichen Ergebnissen

gekommen [78, 79]. Eine vermehrte fetale Katecholamin-ausschüttung in Folge einer vibroakustischen Stimulation konnte ebenfalls nicht festgestellt werden [80].

Fetale Habituation – fetales Lernen?

In einer schwedischen Studie wurde Feten im Abstand von 1 min 20mal ein 3000 Hz hoher und 110 dB lauter akustischer Stimulus zugespielt. Nach drei derartigen Reizen war keine körperliche Bewegung als Reizantwort mehr zu beobachten [11], die Feten hatten sich an die Geräusche gewöhnt.

Eine Möglichkeit, Informationen über das Hörvermögen des Feten zu gewinnen, sind Rückschlüsse bei der Beobachtung von Reaktionen Neugeborener auf Geräusche, die sie bis zur Geburt nur im Mutterleib erfahren hatten. In diesen Studien wurden Schwangere verschiedenen Lautmustern (z.B. Strassenlärm, Musik, Maschinenlärm) ausgesetzt, um dann nach der Geburt die Reaktion des Kindes auf dasselbe Lautmuster zu prüfen [81, 82]. Einige Studien befassten

sich mit der Reaktion, die der mütterliche Herzschlag in Neugeborenen auslöst. Neugeborene schreien weniger, verlieren weniger Gewicht und sind im allgemeinen ruhiger, wenn ihnen ein Band mit dem mütterlichen Herzschlag (72 bpm) vorgespielt wird, verglichen mit Kindern, denen dieser Laut nicht angeboten wird [6, 83, 84]. Der mütterliche Herzschlag wirkt im weitesten Sinne beruhigend auf das Kind [85]. In einer japanischen Studie, bei der 5 Tage alten Neugeborenen entweder ein Tonband mit Aufnahmen der mütterlichen Herzaktion oder ein Tonband mit einer in gleicher Frequenz geschlagenen japanischen Trommel vorgespielt wurde, trat bei den Kindern, die die «authentischen» mütterlichen Geräusche vorgespielt bekommen hatten, eine raschere Beruhigung ein als bei jenen Kindern, die die Trommelgeräusche gehört hatten [84].

Der zweite Stimulus, der ausführlich untersucht wurde, ist die mütterliche Stimme. Neugeborene ziehen die Stimme ihrer Mutter anderen Stimmen vor [82, 86-88]. Sie bevorzugen auch Textstellen, welche ihnen die Mutter während der Schwangerschaft vorgelesen hat, gegenüber unbekannten Texten [89]. Es ist wahrscheinlich, dass die mütterliche Stimme nur als vertrauter Klang wahrgenommen und dann erst einige Zeit später mit der Mutter in Verbindung gebracht wird [90]. Schliesslich wurde noch beobachtet, dass Feten auch auf Musik, welcher sie während der Schwangerschaft ausgesetzt sind, reagieren: In einer Studie sah sich die Mutter täglich, von Beginn der Schwangerschaft an, die Fernsehserie «Neighbours» an. Auf das mütterliche Abdomen wurden Lautsprecher geschallt, sodass das Kind Gelegenheit hatte «mitzuhören». Die Mutter stellte eine Zunahme an Kindesbewegungen auf die sehr charakteristische Titelmelodie ab der

Der Fetus und der Lärm

Gynäkol Geburtshilfliche Rundsch 1997;37:119-129

125

Tabelle 3. Lärmstufenschema nach Lehmann [94]

Lärm- Lautstärke Reaktion stufe dB

30-65 nur psychische Wirkungen

65-90 psychische und vegetative Wirkungen

90-120 psychische, vegetative und gehörschädigende

Wirkung

26. SSW fest, nach der 30. SSW liess dieser Effekt wieder nach – das Kind hatte sich an die Titelmelodie gewöhnt [81]. Ein ähnliches Erkennungs-Gewöhnungserlebnis wurde von Fejoo [91] beschrieben, der Kindern prä- und postnatal die charakteristische Fagott-Melodie aus «Peter und der Wolf» vorspielte.

Es gibt auch Musiker, die behaupten, sie hätten bestimmte Stücke nie üben müssen, weil ihre Mutter sie schon spielte, als sie mit ihnen schwanger war. Die bekannte Cellistin Jacqueline du Pre erklärte wiederholt, verschiedene Stücke seien ihr aus diesem Grund bekannt gewesen, und sie hätte sie deshalb nie einstudieren müssen [persönliche Mitteilung Prof. Dr. E. Schmid, Düsseldorf].

Bei zahlreichen Vögeln konnte nachgewiesen werden, dass das Küken bereits im Ei hören kann [92]. Da der Mensch zu den Tieren gehört, die schon vor der Geburt hören können, ist anzunehmen, dass erste Grundlagen für das spätere Sprachlernen – Intonation, Phonation, Sprachmelodie – bereits intrauterin gelegt werden [8]. Allerdings steht fest, dass den Fetus nur jeweils der niederfrequente Anteil – unter 500 Hz – der Stimme bzw. des Musikstückes erreicht. Die Schädlichkeit des Lärms in der Schwangerschaft

Prinzipiell unterscheidet man zwischen Dauerlärm (Maschinen, Generatoren, Verkehr) und Impulslärm (pneumatische Werkzeuge, Schusswaffen, Sprengladungen) [93]. Bei Dauerbelastung mit Schall muss beim erwachsenen Menschen ab einer Intensität von 90 dB mit Hörschäden gerechnet werden. Wird am Arbeitsplatz ein derartiger Pegel regelmässig überschritten, wird Tragen eines Gehörschutzes (Schallschutzkapseln über dem Ohr oder Gehörschutzstöpsel im Gehörgang) verbindlich vorgeschrieben (Industriebetriebe, Flughäfen, Schiessplätze).

Die deutsche Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund, handhabt als allgemeine Richtlinie für die Beurteilung von Lärmbelastung am Arbeitsplatz das Lärmstufenschema nach Lehmann (Tab. 3).

Tabelle 4. Lärmstufenschema des österr. Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie [95]

Lautstärke Reaktion dB

Ab 35 Aktivierung des zentralen und vegetativen Nervensystems, Störung von Entspannungsphasen und

Schlafstörungen sind möglich
Ab 55 Beeinträchtigung der Kommunikation und der akustischen Orientierung sowie Störung konzentrierter

Arbeit möglich
Ab 85 Schädigung und bei Langzeiteinwirkung Gefahr der Zerstörung der empfindlichen Sinneszellen im Innenohr

In Österreich wurde 1996 vom Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie eine ähnliche Aufstellung von Lärmgrenzwerten veröffentlicht (Tab. 4).

Beim Kind und beim Erwachsenen tritt ein Hörschaden im Audiogramm als «Knick» im höherfrequenten Bereich auf (z.B. der G-3-Knick bei Schalltrauma von Soldaten). Da der Fetus in einem für höhere Frequenzen teilweise schallgedämpften Universum heranwächst, müssen allfällige Schäden eher im niederfrequenten Bereich zu finden sein [38]. Es existieren spärliche Informationen über die Auswirkungen von Lärm auf die Schwangerschaft [96]. Kinder von Frauen, die während der Schwangerschaft im Arbeitsprozess Lärm mit mehr als 90 dB ausgesetzt waren, haben ein signifikant geringeres Geburtsgewicht als die Neugeborenen arbeitender Mutter, die keinen extremen Lärmbelastungen ausgesetzt waren [97]. Da Arbeitsplätze mit 90 dB und mehr auch stets starken Vibrationen und Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, ist der isolierte Risikofaktor «Lärm» am Industriearbeitsplatz kaum anzutreffen. Starke Vibrationen wurden mit Fehl- und Totgeburten in Zusammenhang gebracht [98].

In epidemiologischen Studien wurden Zusammenhänge zwischen der Exposition an Flugzeuglärm und Frühgeburtlichkeit sowie einer Zunahme grössenretardierter Neugeborener vermutet [99, 100]. Andererseits fand eine japanische Arbeitsgruppe, dass Flugzeuglärm auf Kinder, deren Mutter während der Schwangerschaft in der Einflugschneise des Flughafens von Osaka gelebt hatten, einen beruhigenden Einfluss hatte – dies zu einer Zeit, als Düsenflugzeuge noch ohne jede Schalldämpfung an den Triebwerken fliegen durften [101]. R.C. Niemtow [102], Leiter eines Hospitals der US Air Force, untersuchte auf einem Luftwaffenstützpunkt lebende Schwangere, die der oft erheblichen Lärmbelastung durch Militärflugzeuge ausgesetzt waren. Er fasste diese und eine Anzahl weiterer Studien über die möglichen Auswirkungen von Lärm auf das fetale Befinden dahingehend zusammen, dass man den Feten am besten durch Anwendung der geltenden Richtlinien zur Vermeidung von Schädigung des mütterlichen Gehörs schütze.

1997;37:119-129

Brezinka/Lechner/Stephan

In Finnland wurde unter Laborbedingungen die Auswirkung der Lärmexposition der Mutter auf den Feten untersucht. 27 normal hörenden Schwangeren wurde über Kopfhörer «Lärm» zugespielt. Man verwendete Kopfhörer, um die direkte Stimulation des Feten zu vermeiden. Die einzige signifikante Reaktion des Feten war eine Akzeleration der Herzfrequenz, es liess sich keine Erhöhung von Stresshormonen feststellen. Die Änderung der fetalen Herzfrequenz wird als indirekte Folge der mütterlichen Reizverarbeitung angenommen [103].

Der Stellenwert des Faktors «Lärm» in den Mutterschutzbestimmungen

In alien Ländern mit verbindlichen Mutterschutzbestimmungen ist die Berufstätigkeit an «Lärmarbeitsplätzen» während der Schwangerschaft verboten – dies vor allem, um die werdende Mutter selbst vor der körperlichen Belastung durch den Lärm zu schützen. In Österreich wurde das Mutterschutzgesetz mit 1.1.1993 novelliert. Die Beschäftigungsverbote wurden erweitert. Unter anderem wurden auch «Arbeiten, bei denen die Gefahr einer Berufskrankheit gegeben ist, z.B. Laborantin, Lärmarbeitsplätze» verboten [104]. Die deutsche Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung gibt folgende Empfehlungen für Lärmgrenzwerte für werdende Mutter am Arbeitsplatz [105]: Schwangere sollten nicht impulshaltigem Arbeitslärm ausgesetzt sein, da Geräusche, die in 0,5 s um 40 dB und mehr ansteigen, zu starker Aktivierung nach Art einer Schreckreaktion führen. Es sei anzunehmen, dass die starke vegetative Aktivierung auf den Feten übertragen wird, darüber hinaus sei mit fetalen Reaktionen zu rechnen, die zwar kaum direkt als schädlich bezeichnet werden könnten, aber mangels gesicherter Erkenntnisse vermieden werden sollten. Für die überwiegend vorkommenden Arbeitsgeräusche mit schwankendem Pegelverlauf oder relativ homogenen Dauengeräuschen wird ein Lärmgrenzwert von 80 dB(A) empfohlen. In einer älteren Studie an 5000 Frauen hatte sich bei diesem Geräuschpegel niemand über eine Störung des Wohlbefindens beklagt [106]. Das Komitee «Hearing, Bioacoustics and Biomechanics» des US-Arbeitsministeriums (Department of Labor) empfiehlt in einer Richtlinie, dass Schwangere längerdauernde Lärmexposition über 90 dB vermeiden sollten [107].

Schlussbetrachtung

Der menschliche Fetus ist ab dem 3. Schwangerschaftstrimenon fähig, Geräusche wahrzunehmen. Die akustische Umgebung, in der er heranwächst, ist durch die Pulsation der mütterlichen Gefässe, Atem- und Darmgeräusche der Mutter und auch die mütterliche Stimme geprägt. Durch die spezifische Isolation der «Klangwelt Mutterleib» können von aussen vor allem tiefe, niederfrequente Töne zu ihm durchdringen.

Der Wert der vibroakustischen Stimulation für die pränatale Überwachung im 3.

Schwangerschaftstrimenon ist umstritten. In über 90% der Fälle wird die Anwendung des Weckreizes der Entwarnung dienen, wenn zufällig die CTG-Untersuchung zeitlich mit einem physiologischen Schlafzustand des Feten zusammengefallen ist und ein entsprechend eingeschränktes oder silentes CTG das Ergebnis war. Der Vorteil der vibroakustischen Stimulation besteht primär darin, dass man CTG-Untersuchungen abkürzen kann. Ein positiver Weckreiz bei scheinbar silentem CTG zeigt, dass der Fetus nicht gefährdet ist. Gegen die Durchführung von Weckreizen bei alien Schwangeren spricht, dass man in den meisten Fällen den physiologischen Ruhezustand des Feten mit unphysiologisch lauten Stimuli durchbricht. Befürchtungen, das Gehör des Feten könne durch VAST geschädigt werden, konnten zwar nach umfangreichen Studien entkräftet werden. Dennoch – der Fetus erschrickt, man kann auch bei dem noch schwach entwickelten Bewusstsein des Feten annehmen, dass Erschrecken eine

unangenehme und eventuell schmerzhaft Sensation ist [108]. An Abteilungen, wo VAST im Rahmen der CTG-Überwachung durchgeführt werden, werden immer sehr viele solcher Tests durchgeführt: das japanische Sprichwort «mit einem Hammer in der Hand sieht jedes Problem wie ein Nagel aus» lässt sich nach eigenen Beobachtungen an verschiedenen Kliniken in den USA und in Europa leicht auf «mit einem Larynxstimulator in der Hand sieht jedes CTG silent aus» umdeuten.

Eine Schwangere wird kaum am Flughafen Düsenjets und Hubschrauber in ihre Parkpositionen einweisen. Sie kann aber als Kellnerin in einer Disco, als Musikerin in einer Kapelle der «modernen Volksmusik» beruflich einer dem Flughafenlärm vergleichbar intensiven, stundenlangen Schallexposition ausgesetzt sein. Da gerade im Gastgewerbe und in der Live-Unterhaltungsmusik viele Tätigkeiten ohne reguläres Arbeitsverhältnis und damit ausserhalb der Kontrolle der Aufsichtsbehörden verrichtet werden, ist hier eine mögliche Gefährdung junger Schwangerer zu vermuten. Wer bei Pop- und Punkkonzerten gesehen hat, wie die Stehplätze unmittelbar vor den Grosslautsprechern bei den Fans am begehrtesten sind, wer am Zebrastreifen an einem GTI vorbeigeht, der mit seiner Stereoanlage auch bei geschlossenen Fenstern einen ganzen Strassenzug beschallen kann, wird die Lärm-Gefährdung von Mutter und Kind überhaupt mehr im Freizeitbereich lokalisieren als im Berufsleben.

Schutz der Schwangeren vor vermeidbarem Lärm -iatrogenem, berufsbedingtem und freizeitbedingtem Lärm – bleibt eine wichtige Aufgabe der Schwangeren-betreuung.

Der Fetus und der Lärm

Gynäkol Geburtshilfliche Rundsch 1997;37:119-129

127

Literatur

Lechner GM: Maria Gravida – zum Schwangerschaftsmotiv in der bildenden Kunst. München, Schnell & Steiner, 1981.

Uffelman J: Das zentrale Nervensystem des Kindes und das Seelenleben desselben; in Handbuch der Hygiene. Wien-Leipzig, 1890, pp 700-715.

Hollien H, Feinstein S: Contribution of the external auditory meatus to auditory sensitivity underwater. J Acoust Soc Am 1975;57: 1488-1492.

Pujol R, Lavigne-Rebillard M, Uziel A: Physiological correlates of development of the human cochlea. Semin Perinatol 1990;14:275-280.

Fitzgerald M: Development of pain pathways and mechanism; in Anand KIS, McGrath PJ (eds): Pain in Neonates. Amsterdam, Elsevier, 1993, pp 19-38.

Murooka H, Koie Y, Suda N: Analyse de sons intra-utérins et leurs effets tranquillisants sur le nouveau-né. J Gynecol Obstet Biol Reprod 1976;5:367-376.

Gnirs J, Schneider KTM: Fetale Verhaltenszustände und Bewegungsaktivität. Gynäkologe 1994;27:136-145.

Gerhardt KJ, Abrams RM: Fetal hearing: Characterization of the stimulus and response. Semin Perinatol 1996;20:11-20.

Richards DS: The fetal vibroacoustic stimulation test: An update. Semin Perinatol 1990; 14: 305.

Nyman M, Arulkumaran S, Hsu T, Ratnam S, Till O, Westgren M: Vibroacoustic stimulation and intrauterine sound pressure levels. Obstet Gynecol 1991;78:803-806.

Johansson B, Wedenberg E, Westin B: Fetal heart rate response to acoustic stimulation in relation to fetal development and hearing impairment. *Acta Obstet Gynecol Scand* 1992;71: 610-615.

Graham EM, Peters AJM, Abrams RM, Gerhardt KJ, Burchfield DJ: Intra-abdominal sound levels during vibroacoustic stimulation. *Am J Obstet Gynecol* 1991; 164:1140-1144.

Gerhardt KJ, Otto R, Abrams RM, Colle JJ, Burchfield DJ, Peters AJM: Cochlear micro-phonics recorded from fetal and newborn sheep. *Am J Obstet Gynecol* 1992; 13:226-233.

Vince MA, Billing AE, Baldwin BA: Maternal vocalizations and other sounds in the fetal lamb's sound environment. *Early Hum Dev* 1985;11:179-190.

Querleu D, Renard X, Crepin G: Perception auditive et réactivité fœtale aux stimulations sonores. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 1981; 10:307-314.

Gagnon R, Hunse C, Carmichael L, Fellows F, Patrick K: Human fetal response to vibratory acoustic stimulation from 26 weeks to term. *Am J Obstet Gynecol* 1987;157:1375-1381.

Grimwade JG, Bartlett M, Walker DW, et al: Human fetal heart rate change and movements in response to sound and vibration. *Am J Obstet Gynecol* 1971;109:86-90.

Hepper GP, Shahidullah B: The development of fetal hearing. *Fetal Matern Med Rev* 1994;6: 167-179.

Birnholtz J, Benacerraf B: The Development of human fetal hearing. *Science* 1987;222:516– 518.

Crade M, Lovett S: Fetal response to sound stimulation: preliminary report on exploring the use of sound stimulation in routine obstetrical ultrasound examinations. *J Ultrasound Med* 1988;7:499-503.

Leader L, Bailie P, Vermeulen E: The assessment and significance of habituation to a repeated stimulus by the human fetus. *Early Hum Dev* 1982;7:211-219.

Gagnon R: Stimulation of human fetuses with sound and vibration. *Semin Perinatol* 1989; 13: 393-402.

Kisilevsky BS, Muir DW: Maturation of responses elicited by a vibroacoustic stimulus in a group of high-risk fetuses. *Matern Child Nurs J* 1990;19:239-250.

Park MI, Kim DS: The acoustic stimulation test in the anencephalus: preliminary results. *J Perinat Med* 1989;17:329-332.

Ohel G, Simon A, Linder M, Mor-Yosef S: Anencephaly and the nature of fetal response to vibroacoustic stimulation. *Am J Perinatol* 1986;3:344-347.

Peiper A: Sinnesempfindungen des Kindes vor seiner Geburt. *Monatsschr Kinderheilkd* 1925; 29:237-241.

Forbes HS, Forbes HB: Fetal sense reactions. *Hear J Comp Physiol Psychol* 1927;7:353.

Son tag L, Wallace R: The movement response of the human fetus to sound stimuli. *Child Dev* 1935;6:253-258.

Read JA, Miller FC: Fetal heart rate acceleration in response to acoustic stimulation as a measure of fetal well-being. *Am J Obstet Gynecol* 1977;129:513-517.

Trudinger MB, Boylan P: Antepartum fetal heart rate monitoring: Value of sound stimulation. *Obstet Gynecol* 1980;55:265-269.

Serafmi P, Lindsay B, Nagey DA, et al: Antepartum fetal heart rate response to sound stimulation: The acoustic stimulation test. *Am J Obstet Gynecol* 1984;148:41.

Westgren M, Almstrom H, Nyman M, et al: Maternal perception of sound-provoked fetal movements as a measure of fetal well-being. *Br J Obstet Gynaecol* 1987;94:523-529.

Abitbol MM, Udom-Rice I, Martin AK, Toledo RB, Karimi A: Fetal sound stimulation using maternal voice. *J Matern Fetal Invest* 1992;2:233-239.

Sohmer H, Groitein K, Freeman S: Improvement in sensoneurinal auditory threshold of the guinea pig following delivery. *Hear Res* 1994;73:116-120.

Griffiths SK, Pierson LL, Gerhardt KJ, Abrams RM, Peters AJM: Noise induced hearing loss in fetal sheep. *Hear Res* 1994;74:221-230.

Richards DS, Abrams RM, Gerhardt KJ, McCann ME: Effects of vibration frequency and tissue thickness on intrauterine sound levels in sheep. *Am J Obstet Gynecol* 1991; 165: 438-442.

Pierson LL, Gerhardt KJ, Abrams RM, Griffiths SK, Peters AJ: Effect of impulse noise on the auditory brainstem response of the fetal sheep and the adult ewe: Case study. *Military Med* 1994;159:676-680.

Pierson LL: Hazards of noise exposure on fetal hearing. *SeminPerinatol* 1996;20:21-29.

Hakemeyer U, Keding G: Zum Aufbau der Hebammenschulen in Deutschland im 18. und frühen 19. Jahrhundert; in Beck L (Hrsg): *Zur Geschichte der Gynäkologie und Geburtshilfe in Deutschland*. Berlin, Springer, 1986, pp 63-88.

Brioschi PA, Extermann P, Terracina D, Weil C, Mao WT, Beguin F: Antepartum nonstress fetal heart rate monitoring: A systematic analysis of baseline patterns and decelerations as an adjunct to reactivity in the prediction of fetal risks. *Am J Obstet Gynecol* 1985;153:633-640.

de Vries JIP, Visser GHA, Prechtl HFR: The emergence of fetal behavior. *Early Hum Dev* 1982;7:301-322.

Okado N, Kojima T: Ontogeny of the central nervous system: Neurogenesis, fibre connection, synaptogenesis and myelination in the spinal cord; in Prechtl HFR (Hrsg): *Continuity of Neural Functions from Prenatal to Postnatal Life*. Philadelphia, Blackwell, 1984, pp 31-45.

Soronkin Y, Bottoms SF, Dierker LJ, Rosen MG: The clustering of fetal heart rate changes and fetal movements in pregnancies between 20 and 30 weeks of gestation. *Am J Obstet Gynecol* 1982;143:952-957.

Nijhuis JG, Prechtl HFR, Martin CB: Are there behavioural states in the human fetus? *Early Hum Dev* 1982;7:301-322.

Nijhuis JG: Behavioural states: concomitants, clinical implications and the assessment of the condition of the nervous system. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1986;21:301-308.

Hepper P, Shahidullah S: Trisomy 18: Behavioral and structural abnormalities: An ultrasonographic case study. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1992;2:48-50.

Visser GH: Assessment of fetal well-being in growth-retarded fetuses; in Hanson MA, Spencer JAD, Rodeck CH (eds): *Fetus and Neonate*. Cambridge, Cambridge University Press, 1995, pp 327-345.

Valentin L, Marsal K: Pregnancy outcome in women perceiving decreased fetal movement. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1987;24:23-32.

Grant A, Elbourne D: Fetal movement counting to assess fetal well-being; in Chalmers I, Keirse M (Hrsg): *Effective Care in Pregnancy and Childbirth*. Oxford, Oxford University Press, 1992, pp 440-454.

Schmidt W, Cseh I, Hara K, Neusinger J, Kubli F: Die mütterliche Perzeption fetaler Bewegungen im letzten Schwangerschaftsdrittel. *Ge-burtsh Frauenheilkd* 1982;42:798-802.

de Muylder X: The kick-chart in high-risk pregnancies: A two-year experience in Zimbabwe. *IntJ Gynecol Obstet* 1988;27:353-357.

Nijhuis JG: Registratie van foetale bewegingen. *Ned TijdschrObst Gyn* 1989; 102:272.

Sohmer H, Geal-Dor M, Weinstein D: Human fetal auditory threshold improvement during maternal oxygen respiration. *Hear Res* 1994; 75:145-150.

Divon MY, Platt LD, Cantrell CJ, Smith CV, Yeh Sze YA, Paul RH: Evoked fetal startle response: A possible intrauterine neurological examination. *Am J Obstet Gynecol* 1985;153: 454-456.

Wedenberg E: Prenatal tests of hearing. *Acta Otolaryngol* 1965;206:27-32.

128 Gynäkol Geburtshilfliche Rundsch
1997;37:119-129

Brezinka/Lechner/Stephan

Granier-Deferre C, Lecanuet JP, Cohen H, Busnel MC: Feasibility of prenatal hearing test. *Acta Otolaryngol* 1985;421:93-101.

Müller H, Meinel K, Hampe K: Methode, Aus-sagefähigkeit und Grenzen pränataler Hördia-gnostik. *Zentralbl Gynäkol* 1996; 118:435-440.

Ingemarsson I, Ingemarsson E, Spencer JAD: Fetal heart rate monitoring, a practical guide. Lund, Oxford University Press, 1993.

Hammer LH, Latter DJ, Mastroianni MA, Grossman JH: Efficacy and safety of fetal acoustic stimulation testing. *J Matern Fetal Invest* 1993;3:113-116.

Inglis SR, Druzin ML, Wagner WE, Kogut E: The use of vibroacoustic stimulation during the abnormal or equivocal biophysical profile. *Ob-stetGynecol* 1993;82:371-374.

Keegan KA, Paul RH: Antepartum fetal heart rate testing: the non-stress-test as a primary approach. *Am J Obstet Gynecol* 1980; 136:75-79.

Leader LR, Bailie P, Martin B, Molteno C: Fetal responses to vibrotactile stimuli: A possible predictor of fetal and neonatal outcome. *Aust NZ J Obstet Gynecol* 1984;24:251-256.

Jensen OH: Fetal heart rate response to a controlled sound stimulus as a measure of fetal well-being. *Acta Obstet Gynecol Scand* 1984; 63:97-101.

Arias F: Vibroacoustic stimulation test; in *Practical Guide to High-Risk Pregnancy and Delivery*. St. Louis, Mosby Year Book, 1993, pp 15-16.

Gelman SR, Wood S, Spellacy WN, Abrams RM: Fetal movements in response to sound stimulation. *Am J Obstet Gynecol* 1982;143: 484-485.

Visser GH, Mulder HH, Wit HP, Mulder EJ, Prechtl HF: Vibro-acoustic stimulation of the human fetus: effect on behavioural state organization. *Early Hum Dev* 1989;19:285-296.

Devoe LD, Murray C, Faircloth D, Ramos E: Vibroacoustic stimulation and fetal behavioral state in normal term human pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 1991;163:1156-1161.

Lechner T: Der Weckreiz – die vibroakustische Stimulation des Feten in der Schwangerenbe-treuung; Diss Universität Innsbruck, 1997.

Hepper PG, Leader LR: Fetal habituation. *Fetal Matern Med Rev* 1996;8:109-123.

Groome LJ, Singh KP, Burgard SL, Neely CL, Deason MA: Motor responsivity during habituation testing of normal human fetuses. *J Peri-nat Med* 1995;23:159-166.

Lazebnik N, Hill LM, Costantino JP, Many A, Martin JG: Vibroacoustic stimulation enhances visualization of the four-chamber cardiac view in the third trimester. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1996;8:309-311.

Rosenberg JC, Vintzileos AM, Egan S, Sharma S, Thapar J: The use of abdominal stimulation by ultrasound probe to induce fetal hand opening (abstract). *J Ultrasound Med* 1995; 14(suppl):94.

- Wladimiroff JW, Cheung K: Vibratory acoustic stimulation and the flow velocity waveform in the fetal internal carotid artery. *Early Hum Dev* 1989;19:61-66.
- Maesel A, Sladkevicius P, Valentin L, Marsal K: Effect of vibroacoustic stimulation on blood circulation in the middle cerebral artery and umbilical arteries in the healthy term fetus. *J Matern Fetal Invest* 1994;4:69-72.
- Loy GL, Kim JS, Chiang LM, Lin CC: Role of cerebrovascular to umbilical vascular resistance in fetal growth retardation after vibroacoustic stimulation (abstract). *J Ultrasound Med* 1996; 15:117.
- Arulkumaran S, Talbert DG, Nyman M, Westgren M, Hsu TS, Ratnam SS: Audible in-utero sound from ultrasound scanner. *Lancet* 1991;338:704-705.
- 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.
- Arulkumaran S, Talbert D, Hsu TS, Chua S, Anandakumar C, Ratman SS: In-utero levels when vibroacoustic stimulation is applied to the maternal abdomen: an assessment of the possibility of cochlea damage in the fetus. *Br J Obstet Gynaecol* 1992;99:43-45.
- Ohel G, Horowitz E, Linder N, Sohmer H: Neonatal auditory acuity following in utero vibratory acoustic stimulation. *Am J Obstet Gynecol* 1987;157:440-441.
- Fisk NM, Nicolaidis PK, Arulkumaran S, Weg MW, Tannirandorn Y, Nicolini U, Parkes MJ, Rodeck CH: Vibroacoustic stimulation is not associated with sudden fetal catecholamine release. *Early Hum Dev* 1991;25:11-17.
- Hepper P: An examination of fetal learning before and afterbirth. *Irish J Psychol* 1991; 12: 95-107.
- Hepper P, Scott D, ShahiduUah S: Newborn and fetal response to maternal voice. *J Reprod Infant Psychol* 1993;11:147-154.
- Salk L: Mother's heartbeat as an imprinting stimulus. *Trans NY Acad Sci* 1962;24:753-763.
- Kurihara H, Chiba H, Shimizu Y, Yanaihara T, Takeda M, Kawakami K, Takai-Kawakami K: Behavioural and adrenocortical responses to stress in neonates and the stabilizing effects of maternal heartbeat on them. *Early Hum Dev* 1996;46:117-127.
- Detterman D: The effect of heartbeat on neonatal crying. *Infant Behav Dev* 1978;1:36-48.
- Mehler J, Bertoncini J, Barrier M, Jassik-Gerschenfeld D: Infant recognition of mother's voice. *Perception* 1978;7:491-497.
- De Casper AJ, Fifer WP: Of human bonding: Newborns prefer their mother's voices. *Science* 1980;208:1174-1176.
- Querleu D, Lefebvre C, Renard X, Titran M, Morillion M, Crepin G: Réactivité du nou-veau-né de moins de deux heures de vie à la voix maternelle. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 1984;13:125-134.
- De Casper AJ, Spence MJ: Prenatal maternal speech influences newborns perception of speech sound. *Infant Behav Dev* 1986;9:133– 150.
- Hepper P: Fetal psychology: an embryonic science; in Oxford University Press (ed): *Fetal Behaviour: Developmental and Perinatal Aspects*. Oxford, Oxford University Press, 1992, pp 129-156.
- Feijoo J: Pierre et le loup; in: *L'aube des sens*. Paris, Stock, 1981, pp 192-209.
- Gottlieb G: Species identification of avian neonates: Contributory effect to perinatal auditory stimulation. *Anim Behav* 1966; 14: 282-290.

Henderson D, Hamernik RP: Impulse noise: Critical review. J Acoustic Soc Am 1986;80: 569-584.

Klosterkötter W, Gono F, Loch EG, Arens H, Karama U, Schulte FN: Experimentelle Untersuchungen zur Frage der Lärmgrenzwerte für werdende Mutter am Arbeitsplatz. Dortmund, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, 1974.

Bundesministerium für Umwelt JuF: Laut ist out! (Broschüre). Wien, 1996.

Laciak J, Majcherska-Matuchniak B: Hearing in children whose mothers are working in noise; in Meleck J, Baradin T (eds): Pamiet-nik XXVII Zjasdu Otolaryngologow Pol-skick. Warszawa, 1968, pp 155-168.

Hartikainen AL, Sorri M, Anttonen H, Tui-mala R, Laara E: Effect of occupational noise on the course and outcome of pregnancy. Scand J Work Environ Health 1994;20:444-450.

Seidel H: Selected health risks caused by long-term, whole body vibration. Am J Indust Med 1993;23:589-604.

Rehm S, Jansen G: Aircraft noise and premature birth. J Sound Vib 1978;59:133-135.

Edmonds LD, Layde PM, Erickson JD: Airport noise and teratogenesis. Arch Environ Health 1981;34:243-246.

Ando Y, Hattori H: Statistical studies on the effects of intense noise during human fetal life. J Sound Vibrat 1973;27:101-110.

Niemtzow RC: Loud noise and pregnancy. Military Med 1993;158:10-15.

Hartikainen-Sorri A, Kirkinen P, Sorri M, Anttonen H, Tuimala R: No effect of experimental noise exposure on human pregnancy. Obstet Gynecol 1991;77:611.

Arbeitsinspektorat für Frauenarbeit und Mutterschutz: Neuerungen im Mutterschutz-gesetz (Informationsblatt), 1994.

MuSCHG: Gesetz zum Schutze der erwerbs-tätigen Mutter («Mutterschutzgesetz»). Deutsches Bundesgesetzblatt 1994;BGB1.IS. 1170.

Reinhardt J, Harms HH: Gedanken zum Be-schäftigungsverbot werdender Mutter bei Lärmeinwirkung. ASA 1966;443.

Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics: Prenatal Effects of Eposure to High-Level Noise. Washington, US Department of Labor, 1982;NAS3-82.

Derbyshire SWG, Furedi A, Glover V, Fisk NM, Szawarski Z, Lloyd-Thomas AR, Fitzgerald M: For Debate: Do fetuses feel pain? BrMedJ 1996;313:795-799.

Der Fetus und der Lärm

Gynäkol Geburtshilfliche Rundsch 1997;37:119-129