

Fetale Bewegungen in der Vierkanaltokographie

A. Hasenburg, Ch. Soldan, C. Behrens, F. Fallenstein, L. Spätling, K. Quakernack
 Universitäts-Frauenklinik der Ruhr Universität Bochum, Marienhospital Herne

Zusammenfassung

Ziel Die Vierkanaltokographie wurde entwickelt, um mit Hilfe von vier Transducern die räumliche und zeitliche Ausbreitung von Kontraktionen zu erfassen und ihre klinische Relevanz zu beurteilen. In der vorliegenden Untersuchung wurde überprüft, ob mit der Vierkanaltokographie zusätzlich die fetalen Bewegungen registrierbar sind.

Material und Methoden In die Studie wurden 38 Frauen zwischen 28 und 43 Schwangerschaftswochen mit einer Einlingsgravidität aufgenommen. Synchron zu den über den vier Quadranten des Uterus abgeleiteten Drucksignalen wurden mittels eines handelsüblichen Ultraschallgerätes die Feten bezüglich ihrer Bewegungsaktivität beobachtet.

Ergebnisse In einer Gesamtuntersuchungszeit von 23 Stunden und 11 Minuten wurden parallel zur Vierkanaltokographie 403 Bewegungen sonographisch dokumentiert und den 405 tokographisch ermittelten Bewegungssignalen gegenübergestellt. Es konnten 76% der sonographisch gesehenen kindlichen Bewegungen auch in der Vierkanaltokographie dokumentiert werden. 70% der tokographisch registrierten Bewegungen wurden sonographisch gesehen.

Schlussfolgerung Aus den Signalen der Vierkanaltokographie können mit guter Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit fetale Bewegungen abgeleitet werden. Voraussetzung zur Nutzung in der klinischen Routine ist eine automatische Analyse, die in der Entwicklung ist.

Schlüsselwörter Fetale Bewegungen – Vierkanaltokographie – Schwangerschaft – Überwachung

Registration of fetal movement by four-channel-tocography

Introduction The four-channel-tocography was developed to register the spatial and temporal pattern of uterine contractions and to evaluate their clinical relevance. In this study it should be assessed whether the four-channel-tocography can also register fetal movements.

Material and methods The study included 38 women with a gestational age between 28 and 43 weeks and singleton pregnancy. Four pressure transducers were attached in a square around the umbilicus. Parallel to the continuous registration of four-channel-tocography fetal movements were observed by conventional ultrasound.

Results In a total of 23 hours and 11 minutes 403 fetal movements were registered by ultrasound and 405 by four-channel-tocography. 17% of the ultrasonically observed fetal movements were documented by the four-channel-tocography and 70% of the tocographically registered movements could be verified by ultrasound.

Conclusion Fetal movements can be registered by four-channel-tocography with good sensitivity and reliability. Essential for its clinical use is an automatic analysis, which is being developed.

Key words Fetal movements – four-channel-tocography – pregnancy – monitoring

Einleitung

Fetale Bewegungen sind den werdenden Müttern immer schon ein Zeichen der Vitalität ihres Ungeborenen gewesen. Systematische Untersuchungen dazu finden sich erst zu Beginn dieses Jahrhunderts, als *Ahlfeld* (1905) mit Hilfe eines Kymographen sogar Atembewegungen differenzieren konnte. *Matthews* (1972) wies auf eine kindliche Gefährdung hin, wenn die mütterliche Perzeption ein Schwächerwerden der Kindsbewegungen signalisierte. Erst mit der Einführung des Ultraschalls in die Geburtshilfe konnten differenziertere Untersuchungen erfolgen. Komplexe Bewegungsmuster bis hin zu zirkadianer Rhythmik wurden von verschiedenen Autoren beschrieben (*DeVries* u. Mitarb. 1982, *Prechtl* 1988, *Nasello-Paterson* u. Mitarb. 1988).

Heute hat die Beurteilung fetaler Bewegungen ihren festen Platz in der Zustandsdiagnostik, ganz besonders bei der Erstellung des biophysikalischen Profils (*Manning* u. Mitarb. 1980).

Die Vierkanaltokographie wurde von uns mit dem Ziel entwickelt, aus dem zeitlichen und räumlichen Ablauf einer Wehe Rückschlüsse auf deren klinische Relevanz unter der Geburt (*Spätling* et al. 1994), besonders aber bei vorzeitiger Wehentätigkeit zu ziehen (*Spätling* et al. 1997). Wie bei einkanaliger Aufzeichnung sind die durch kindliche Bewegungen ausgelösten Signale in der Vierkanaltokographie sichtbar. In der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, wie sich fetale Bewegungen im Vierkanaltokogramm darstellen und ob sich Kriterien zu ihrer Beurteilung erarbeiten lassen.

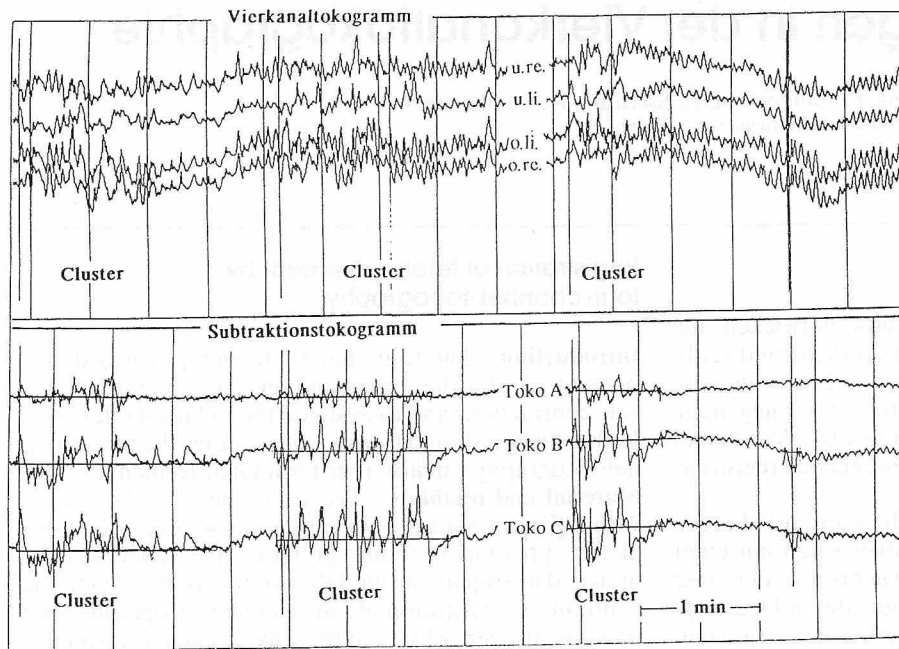


Abb. 1 Beispiel einer Filterung des Vierkanaltokogramms zur besseren Darstellung von Kindsbewegungen. Oben: Vierkanaltokogramm, u. re. = unten rechts, u. li. = unten links, o. re. = oben rechts, o. li. = oben links. Unten: Subtraktionstokogramm, A = oben links minus oben rechts, B = unten links minus unten rechts, C = Addition von A und B

Material und Methode

In die Studie aufgenommen wurden Frauen ab der abgeschlossenen 28. Schwangerschaftswoche mit einer Einlingsgravidität, die wegen kontrollbedürftiger kardiotokeographischer Befunde, Terminüberschreitung, Terminunklarheit, fraglichem Geburtsbeginn, vorzeitigem Wehentätigkeit und vorzeitigem Blasensprung hospitalisiert waren. Es wurde angestrebt, 40 Schwangere nach einem ausführlichen Aufklärungsgespräch in die Studie aufzunehmen. Zur Verifikation der Bewegungssignale in der Vierkanaltokographie wurde simultan eine Sonographie durchgeführt.

Das in dieser Studie verwendete Set-Up zur Vierkanaltokographie bestand aus einem tragbaren Personal Computer (Zenith portable PC, Typ Z 180) und 4 piezokeramischen Drucktransducern. Die Daten wurden analog-digital gewandelt und gespeichert, so daß eine rechnergeführte Analyse möglich war.

Als Referenzmethode zur Tokographie wurde die Real-Time-Sonographie eingesetzt (Picker CS-9500 mit einem 3,5 MHz Sektorscan). Mit einem an das Ultraschallgerät gekoppelten Videorecorder wurde die Ultraschalluntersuchung aufgezeichnet. Über ein Mikrofon wurden Kommentare zu mütterlichen Bewegungen und anderen Artefakten aufgesprochen. Mit Hilfe einer geräteinternen Uhr war eine exakte zeitliche Synchronisation von sonographisch und tokographisch erkannten Ereignissen möglich. Die Untersuchung der Probandinnen erfolgte in Halbseitenlagerung. Umlagerungen wurden dokumentiert. Die vier Drucktransducer wurden symmetrisch jeweils rechts und links über dem Fundus und unteren Uterinsegment plziert und mit schmalen elastischen Bauchgurten gehalten. Zu einer optimalen Übersicht während der Untersuchung wurde der Schallkopf vorwiegend über der kindlichen Wirbelsäule meist mit Anschnitt einer Extremität geführt.

Die Videoaufzeichnungen wurden in einem ersten Schritt getrennt von den Tokogrammen bearbeitet. Von jeder registrierten Bewegung wurde die Art der Bewegung, ihre Anfangszeit und Dauer notiert. Es wurden 3 Gruppen von Bewegungen unterschieden:

- Gruppe A:** alle Cluster, starke und mittelstarke isolierte Rumpfbewegungen, starke Extremitätenbewegungen
- Gruppe B:** schwache isolierte Rumpfbewegungen, mittlere und schwache Extremitätenbewegungen

Isolierte Cluster: alle Cluster wurden getrennt von Gruppe A nochmals als eigene Gruppe gewertet.

Da die Auswertung der Tokogramme durch mütterliche Artefakte sehr erschwert war, wurde eine Filtermethode entwickelt, die auf der Subtraktion der Tokogrammspuren beruhte. Da mütterliche Artefakte meist symmetrisch zur Mittelachse über das Abdomen fortgeleitet wurden, während fetale Bewegungen im allgemeinen zu einer asymmetrischen Verformung des Abdomens führten, wurden jeweils die einander gegenüberliegenden fundal und isthmisch abgeleiteten Signale voneinander subtrahiert.

Diese Subtraktion wurde für beide Tokogrammspuren mit einer unterschiedlichen Gewichtung durchgeführt. Das heißt, daß über ein Rechnerprogramm eine der beiden von der anderen Spur mit dem Faktor subtrahiert wurde, der unter Bildschirmkontrolle das beste Filterungsergebnis brachte.

So entstanden aus den ursprünglich vier Tokogrammspuren zwei neue mit deutlich reduziertem Artefaktanteil: das Tokogramm A als Subtraktionskurve der beiden fundalen Transducer, Tokogramm B als Subtraktionskurve der beiden isthmischen Transducer. Zusätzlich wurde aus den beiden Tokogrammspuren A und B eine Summenkurve gebildet, um die gesamte Bewegungsinformation aller Transducer beurteilen zu können (Abb. 1).

Die Übereinstimmungen der sonographisch festgestellten Bewegungen und der Ausschläge im fundalen Subtraktionstokogramm wurden nach Bewegungsarten der Gruppe A, der Gruppe B und isoliert nur für Cluster für jede Einzelmessung ausgezählt. Um einen Maßstab für die Qualität der Methode zu erhalten, wurde ein Zuverlässigkeits- und ein Empfindlichkeitsindex definiert, da die direkte Berechnung von Sensitivität und Spezifität aus methodischen Gründen nicht möglich war. Zu deren Berechnung fehlte das Maß für eine richtig negative Registrierung.

Über den Empfindlichkeitsindex wurde die Häufigkeit der Koinkidenzen zwischen Ultraschall und Tokogramm, bezogen auf die Gesamtzahl der sonographisch erfaßten Kindsbewegungen, bestimmt. Der Empfindlichkeitsindex (EI) drückt also analog der Sensitivität aus, wieviel der sonographisch diagnostizierten Kindsbewegungen auch von der Tokographie als solche erkannt werden.

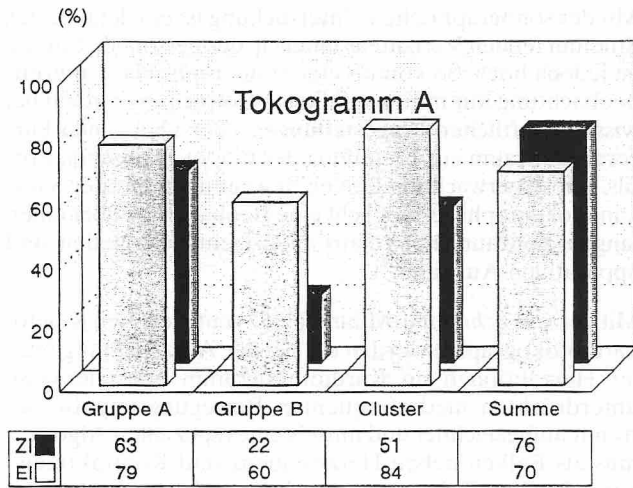


Abb. 2 Zuverlässigkeits- und Empfindlichkeitsindizes des fundalen Subtraktionstokogramms A für Bewegungen der Gruppe A, B und Cluster

$$EI = 100\% \cdot \frac{\text{Anzahl der tokographisch und sonographisch erkannten Bewegungen}}{\text{Anzahl der sonographisch erkannten Bewegungen}}$$

Mit dem umgekehrten Quotienten, dem Zuverlässigkeitsindex (ZI) wurde der Anteil der sonographisch bestätigten Bewegungen an der Gesamtzahl der tokographischen Registrierungen bestimmt.

$$ZI = 100\% \cdot \frac{\text{Anzahl der sonographisch und tokographisch erkannten Bewegungen}}{\text{Anzahl der tokographisch erkannten Bewegungen}}$$

Die Zuverlässigkeits- und Empfindlichkeitsindizes wurden sowohl für die unterschiedlichen in der Sonographie dargestellten Bewegungsgruppen (Gruppe A, Gruppe B und Cluster) als auch für die Tokogrammspuren A, B und C getrennt ermittelt und anschließend verglichen.

Ergebnisse

Von vierzig befragten Frauen nahmen unter Berücksichtigung der Einschlusskriterien 38 Schwangere an der Untersuchung teil. Die probandenbeschreibenden Daten sind der Tab. 1 zu entnehmen.

Tab. 1 Mütterliche und kindliche Daten zum Zeitpunkt der Untersuchung

	Median	Minimum	Maximum
Mutter (n=38)			
Alter (Jahre)	26	17	38
Gravidität (n)	1	1	7
Parität (n)	0	0	6
Länge (cm)	161	156	179
Gewicht (kg)	62	46	95
Kind			
Gestationsalter (Tage)	266	196	301
Schätzwert (g)	2800	1600	4000

Qualitative Auswertung

Die qualitative Auswertung fetaler Bewegungen mit Hilfe der Vierkanaltokographie beschränkte sich auf eine rein visuelle Beschreibung der tokographisch nachweisbaren Phänomene, um deren typische Kriterien herauszuarbeiten. Sie erfolgte ausschließlich im Subtraktionstokogramm A + B.

Uterine Kontraktionen ließen sich aufgrund ihrer isolierten sinusoiden Kurvenform und der längeren Dauer gut von Kindsbewegungen abgrenzen. Im Wechselspiel zwischen uterinen Kontraktionen und kindlichen Bewegungen zeigten sich Wehen meist im Anschluß an fetale Bewegungen.

Mütterliche Atmung wurde als kontinuierliches, mehr oder weniger hohes Ansteigen und Abfallen des Signalverlaufs registriert. Husten wurde als schnelle Folge mehrerer starker Ausschläge und Sprechen als deutliche Modifikation der Ausatemphase aufgezeichnet. Diese durch mütterliche Zwerchfellbewegungen ausgelösten „Störungen“ zeichneten sich durch vorwiegende Manifestation in den fundalen Drucktransducern mit zur Mittelachse symmetrischer Ausbreitung über das mütterliche Abdomen aus.

Fetale Bewegungen fielen durch besonders komplexe Kurvenverläufe mit Beteiligung aller 4 Transducer auf, wobei im Gegensatz zu mütterlichen Zwerchfellbewegungen die Transducer jeweils völlig unterschiedliche Kurven aufzeichneten. Eine Zuordnung der verschiedenen Kurven zu definierten Bewegungstypen war nicht möglich. Nur die seltenen isolierten stärkeren Extremitätenbewegungen führten zu identifizierbaren Einzelspikes.

Quantitative Auswertung

Bei einer Gesamtmeßzeit von 1391 Minuten wurden 403 fetale Bewegungen *sonographisch* beobachtet, deren Dauer zwischen weniger als 1 Sekunde und 360 Sekunden lag, 241 (59,8%) der Bewegungen waren der Gruppe A und 162 (40,2%) der Gruppe B zuzuordnen. In 208 Fällen (51,6%) handelte es sich um isolierte Cluster, d.h. komplexe Rumpf- oder Extremitätenbewegungen längerer Dauer. Die individuelle Anzahl der Bewegungen schwankte innerhalb des Meßzeitraumes zwischen 1 und 32. Berechnet auf 10 Minuten fanden sich 0,3 bis 7,6 Bewegungen.

Im Gesamtmeßzeitraum wurden 405 Ereignisse *tokographisch* registriert. Der Median der Ereignisdauer im fundalen Subtraktionstokogramm lag bei 14 Sekunden. Tokogrammereignisse über 15 Sekunden Dauer fielen signifikant häufiger mit sonographisch nachgewiesenen Bewegungen zusammen als kürzere Tokogrammausschläge. Von 191 Tokogrammausschlägen über 15 Sekunden (Subtraktionstokogramm A) wurden 176 (92%) durch fetale Bewegungen hervorgerufen. Bei den Tokogrammereignissen unter 15 Sekunden (n=186) waren es nur 110 (59%) (p<0,001).

Von allen tokographisch aufgezeichneten Bewegungen konnten 72% (288) sonographisch bestätigt werden. Bei den Ereignissen, die nicht sonographisch verifiziert wurden, handelte es sich um mütterliche Bewegungen, technische Artefakte und Wehen, die kindlichen Bewegungen ähnelten. In 34 Fällen konnte keine Ursache für den Tokogrammausschlag gefunden werden.

Die Zuverlässigkeitsindizes (Anteil der sonographisch bestätigten Bewegungen an der Gesamtzahl der tokographischen Registrierungen = ZI) und Empfindlichkeitsindizes (Häufigkeit der Koinzidenzen zwischen Ultraschall und Tokogramm, bezogen auf die Gesamtzahl sonographisch erfaßter Kindsbewegungen = EI) zeigten für die unterschiedlichen in der Sonographie darstellbaren Bewegungsgruppen in jedem der Subtraktionstokogramme A, B und C folgende Ergebnisse: Das fundale Subtraktionstokogramm (Toko A) erwies sich als die effektivste Aufzeichnungsmethode für fetale Bewegungen. Eine Kombination der fundalen mit den isthmischen Signalen durch Addition (Toko C) ergab keine Verbesserung der Aufzeichnungsqualität. Beim Vergleich der fetalen Bewegungsgruppen fanden sich deutlich höhere Empfindlichkeits- und Zuverlässigkeitsindizes bei den Bewegungen der Gruppe A (EI 79%, ZI 63%) im Vergleich zu denen der Gruppe B (EI 60%, ZI 22%). Cluster wiesen mit 84% einen besonders hohen Empfindlichkeitsindex auf, d. h. sonographisch erkannte Bewegungen wurden auch tokographisch erfaßt. Der Zuverlässigkeitsindex lag jedoch mit 51% deutlich unter dem der Gruppe A. Die höchste Zuverlässigkeit (76%) bei ebenfalls guter Empfindlichkeit (70%) trat bei der Summe der Bewegungen aus der Gruppe A und B, d. h. bei der Gesamtheit aller registrierten Bewegungen auf (Abb. 2).

Der mütterliche Ernährungszustand, die Parität, das Gestationsalter, die fetale Lage und der Sitz der Plazenta hatten keinen wesentlichen Einfluß auf die Aufzeichnungsqualität der fetalen Bewegungen.

Diskussion

Die vorliegende Arbeit zeigt, daß kindliche Bewegungen mit zufriedenstellender Zuverlässigkeit und Empfindlichkeit mit der Vierkanaltokographie erfaßbar sind. Zu ihrer Analyse sind nur die zwei fundalen Transducer der vier zur räumlichen Beschreibung der Wehenausbreitung genutzten Transducer notwendig.

Allerdings wurde die Vierkanaltokographie nicht primär zur Erfassung von Kindsbewegungen entwickelt, sondern um die Entstehungsorte und die räumliche bzw. zeitliche Ausbreitung von Kontraktionen zu erfassen. In erster Linie sollten vorzeitige Wehen (*Spätling* u. Mitarb. 1997), aber auch Wehen unter der Geburt (*Spätling* u. Mitarb. 1994) in ihrer physiologischen bzw. pathologischen Bedeutung eingeordnet werden können.

Seit längerer Zeit befassen wir uns mit der wehengesteuerten Medikamentenabgabe zur Tokolyse. Hierzu ist eine effiziente Langzeitaufzeichnung der Wehen notwendig. Die Möglichkeit, während dieser Zeit eine zusätzliche Information über das Wohlbefinden des Feten zu erhalten, stimulierte uns zu der vorliegenden Untersuchung.

Die Erfassung kindlicher Bewegungen zur Beurteilung eines *fetal distress* wird bereits, wie z. B. beim NST und biophysikalischen Profil (*Manning* u. Mitarb. 1980), diagnostisch genutzt und könnte gerade bei der Überwachung des Risikokollektivs der Frauen mit vorzeitigen Wehen hilfreich sein.

Mit der sonographischen Untersuchung ist ein detailliertes Studium fetalen Verhaltens möglich, der personelle Einsatz ist jedoch hoch. So kommt eine sonographische Langzeitbeobachtung nur in Einzelfällen in Betracht, vor allem bei wissenschaftlichen Fragestellungen oder über einen kürzeren Zeitraum zur Erstellung des biophysikalischen Profils. Die Überwachung fetaler Bewegungen mit der Vierkanaltokographie ermöglicht eine Beobachtung über einen langen Zeitraum mit relativ niedrigem personellen und apparativen Aufwand.

Mit der von *Schmidt* u. Mitarb. (1983) entwickelten Kinetokardiokographie werden die bei der Aufzeichnung fetaler Herzaktionen im Kardiokogramm normalerweise unterdrückten niederfrequenten Bewegungsimpulse getrennt aufgezeichnet und mittels eines speziellen Algorithmus als Balken neben Herzfrequenz und Kontraktionen ausgedruckt. *Gnirs* und Mitarbeiter (1991) fanden bei Feten zwischen 32 und 42 Schwangerschaftswochen eine gute Korrelation von sonographisch und kinetokardiographisch nachgewiesenen fetalen Bewegungen.

Der große Vorteil der rein passiven Aufzeichnung von Bewegungen mittels der Vierkanaltokographie ist das Fehlen der Dauereinstrahlung von Ultraschallwellen, die eine Voraussetzung für die Kinetokardiokographie und die Sonographie ist. Darüberhinaus bietet die gemeinsame Aufzeichnung von Wehen und Kindsbewegungen mit Hilfe der Vierkanaltokographie die Möglichkeit, deren wechselseitige Beeinflussung zu untersuchen.

In der vorliegenden Arbeit wurden die kindlichen Bewegungssignale computerunterstützt erfaßt und aufgezeichnet. Die Auswertung erfolgte jedoch visuell. Um eine klinische Akzeptanz der Methode zu erreichen, müßte eine vollautomatische Signalanalyse entwickelt werden. An Auswertungsmöglichkeiten mittels verschiedener Korrelationstechniken bzw. neuronalen Netzwerken wird zur Zeit gearbeitet.

Literatur

- Ahlfeld, F.*: Die intrauterine Tätigkeit der Thorax- und Zwerchfell-Muskulatur. Intrauterine Atmung. Monatsschr. Geburtsh. und Gynäkol. 21 (1905) 143
- De Vries, J. P., G. H. Visser, H. F. Prechtl*: The emergence of fetal behaviour. I. Qualitative aspects. Early um. Dev. 7 (1982) 301–302
- Gnirs, I., R. Boos, W. Schmidt*: Automatische zeitsynchrone Registrierung des fetalen Bewegungsverhaltens und des Kardiokogramms bei unauffälligen und pathologischen Schwangerschaften. In: *Dudenhausen, J. W., E. Saling* (Hrsg.): Perinatale Medizin XIII. Thieme, Stuttgart (1990) 405–407
- Manning, F. A., L. D. Platt, L. Sipos*: Fetal movements in human pregnancies in the third trimester. Obstet. Gynecol. 136 (1980) 787–795
- Matthews, D. D.*: Fetal movements and fetal wellbeing. Lancet II (1973) 1315
- Nasello-Paterson, C., R. Natale, G. Connors*: Ultrasonic evaluation of fetal body movements over 24 hours in the human fetus 24–28 weeks gestation. Am. J. Obstet. Gynecol. 158 (1988) 312–316
- Prechtl, H. F.*: Beurteilung fetaler Bewegungsmuster bei Störungen des Nervensystems. Gynäkologe 21 (1988) 130–134
- Schmidt, W., L. Cseh, K. Hara*: Die Erkennung von fetalen Bewegungen im Tokogramm. Geburtsh. Frauenheilk. 43 (1983) 598–601
- Spätling, L., F. Fallenstein, R. Danders, A. Hasenburg*: External four channel tocography during delivery. Int. J. Gynecol. Obstet. 46 (1994) 291–295
- Spätling, L., C. Behrens, A. Hasenburg, F. Fallenstein*: External four channel tocography in preterm labour. J. Perinatal. Med. (im Druck)

Prof. Dr. Ludwig Spätling

Frauenklinik
Städtisches Klinikum Fulda
Pacelliallee 4
D-36043 Fulda