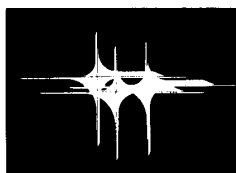


総 説



特集：注目される新技術・新製品

保育器内の音環境が児に与える影響について

山口 靖之* 小田桐直子* 池田 恵介*
志村 洋子*² 橋本 武夫*³ 和田 光弘*

はじめに

新生児医学においては、保温、栄養、および感染予防が古典的3大原則とされている。在胎37週未満で出生した早期産児は、臨床的には未熟児とされ、清潔で正しい温度管理下で養育されることが重要となる¹⁾。そのため、NICU（新生児集中治療室）では、児を至適温度環境に保護するために保育器が使用されている。

保育器内の騒音は45 dBA 未満が好ましいとされる²⁾が、NICUには、機器の警報音、同期音、あるいはスタッフの話し声などの騒音レベルが60～70 dBA あり、また、保育器内では手入れ窓の開閉音などが50～80 dBA に達する³⁾。児の聴覚は在胎26週でも発達している⁴⁾、児をとりまく音環境を考えるうえで、児がこれらの騒音にさらされ続けることは重要な課題となっている。

一方、母親の胎内で児は、より快適な音環境にあったと考えられる。胎内の児は、周期的な母親の下行大動脈の血流音、心拍音、あるいは児自身の心拍音などを聞き、また、外部からの母親や父親などの音声を胎内伝播音として聞いている⁵⁾。この外部からの胎内伝播音は強弱あるいは高低が変化し、また、断続的に聞こえてくるので、周期的な胎内音とは音の性質が異な

ると考えられ、未知の刺激として、児の注意をより強く引き付けることが考えられる⁶⁾。

われわれは、これら保育器内の音環境として、外部からの胎内伝播音に着目し、それらが児の行動発達におよぼす影響について検討したので報告する。

対象と方法

1) 音声変換のアルゴリズム

これまでに、母親の胎内における音環境については、妊娠末期の子宮腔内に小型マイクロフォンを挿入し、外界からの音の伝播特性を調べた報告で、腹壁や子宮壁では、高域音は減衰してしまうが音量が大きい場合には伝達される可能性があり、母体腹壁は低音をよく通すとされている⁵⁾。また、被験者が水を飲み、水を満たした胃を擬似的な子宮にして、小型マイクロフォンを胃の中で水没するように設置し、被験者の発声した音声の伝播特性を調べた報告では、被験者の特徴的な周波数、とりわけ低域および中域の音声は、他の外部環境音よりも大きなエネルギーで胃内に伝播するとされている⁷⁾。

本研究では、胃の中に水没したマイクロフォンで録音した被験者の音声（以下、体内音）と、体外で同時に録音した被験者の音声（以下、通常音）⁷⁾を対象に、長時間FFT（高速フーリエ変換）による周波数分析、および声紋分析を行い、比較検討した。

次に、われわれは、通常音を体内音に変換するアルゴリズムを考案し（図1）、このアルゴ

* アトムメディカル（株）浦和工場 技術部

*² 埼玉大学教育学部

*³ 聖マリア病院母子総合医療センター

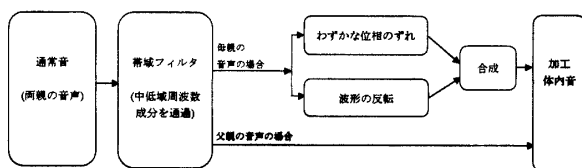


図1 音声変換アルゴリズムのブロック図

両親の音声は帯域フィルタを通して加工体内音に変換される。

リズムに従って、通常音から体内音に近づくように加工した音声（以下、加工体内音）を作成した。詳しくは、通常音を帯域フィルタ（300～2,500Hz）に通した後、反転させた波形と位相を数ミリ秒ずらした波形を合成したものと、通常音を帯域フィルタに通しただけの2種類の加工体内音を作成した。さらに、われわれは、この加工体内音と体内音の相違を感応試験で検証し、類似性あるいは同一性を検討した。

2) 音声変換システム

この音声変換システムは、加工体内音を保育器内の児に提示するもので、マイクロフォン、MDレコーダ（DMC-K9R，ケンウッド社）、およびパーソナルコンピュータ（以下、PC）を、体感音響振動システム（図2，アトムインファソニック，アトムメディカル社）に接続して構成される。詳しくは、両親の音声（通常音）をMDレコーダに録音した後、PCにプログラムした音声変換アルゴリズムに従って加工体内音を作成し、この加工体内音をアトムインファソ

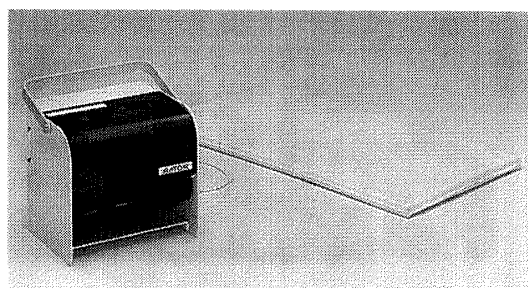


図2 アトムインファソニック

構成：本体（CDプレーヤ，アンプ），専用マットレス。電源：AC 100V，40VA，50/60Hz 共用。寸法：本体幅26×奥行21×高22cm。専用マットレス幅約64×奥行約34×厚2cm。重量：本体約5.5kg，専用マットレス約1.5kg。左の本体は、CDプレーヤとアンプで構成され、右の専用マットレスには8コの振動トランスジューサが埋め込まれている。

ニックに入力して、専用マットレスに埋め込まれたトランスジューサ（スピーカ）から、加工音声と加工音声の低音域に伴う振動を出力するものである。

このアトムインファソニックの専用マットレスは、従来から、保育器内のマットレスの下に敷いて使用されており、今回の音声変換システムでも同じ取り扱いとした。専用マットレスのトランスジューサから出力される音声と音声の低音域に伴う振動，すなわち，音源と振動源は、児の直下にあるので音圧レベルが低くても児の聴覚，および全身に伝達しやすく，また，保育器外に騒音として漏れる心配がないことが特徴である。

3) 臨床「前」試験

GCU（成長児治療室）における保育器内の新生児8名（出生体重 $1,367 \pm 260$ g，在胎週数 30.7 ± 2.5 週，日齢 58 ± 26 日〔SD〕）を対象に，加工体内音を提示して反応を調べ，臨床試験の評価項目などを検討した。ただし，試験結果を整理する都合から，一症例について図表を示し，報告することとした。

音声変換システムのアトムインファソニックは，保育器のサイドフレームに取り付け，アトムインファソニック専用マットレスは，従来どおり保育器内のマットレスの下に敷いて使用した（図3）。また，パルスオキシメータ2000（アトムメディカル社）で児の SpO_2 （動脈血酸素

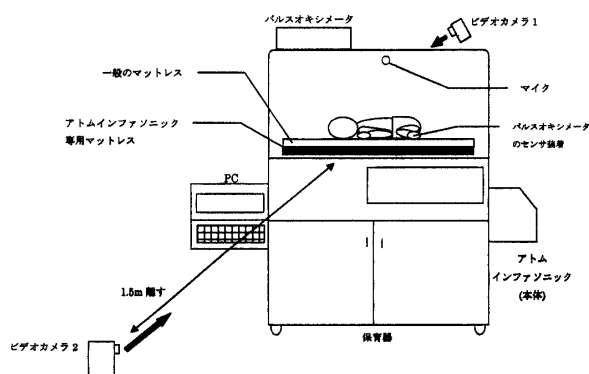


図3 臨床「前」試験の概略図

マイクは児の30cm直上に設置した。ビデオカメラ1は児全体が写るように足側上方に設置し，ビデオカメラ2は児の顔の表情が写るように保育器側面から撮影した。パルスオキシメータのデータは，PCに取り込んだ。

(30) 医 器 学 Vol. 69, No. 8 (1999)

飽和度), および脈拍数を測定した. これらを, 2方向からデジタル・ビデオカメラ (ハンディカム DCR-TRV9, および DCR-PC1, ソニー社) で撮影し, 経過を観察した.

児に提示した加工体内音は, 両親の音声を音声変換システムで処理したもので, 次の順序で聞こえるように編集した. すなわち, 無音10分間, 加工体内音 3.5 分間, 無音10分間, 通常音 3.5 分間, および無音 5 分間である.

児の反応は, 児の顔の表情と泣き声を 1 分間毎に判定して, 最大値をスコア化した⁶⁾. すなわち, 顔の表情が, 穏やかな状態を 0 点, わずかにゆがむ状態を 1 点, ゆがむ状態を 2 点, および大きくゆがむ状態を 3 点とした. また, 泣き声が, 泣いていない状態を 0 点, かすかに泣いている状態を 1 点, 泣いている状態を 2 点, および大声で泣いている状態を 3 点として, それぞれ 4 段階に分類した. さらに, 児の脈拍数

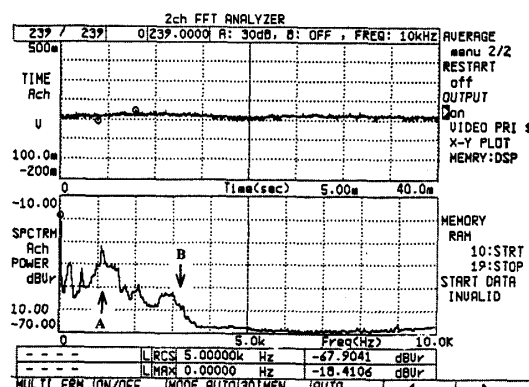
と SpO_2 の変化についても検討した.

結 果

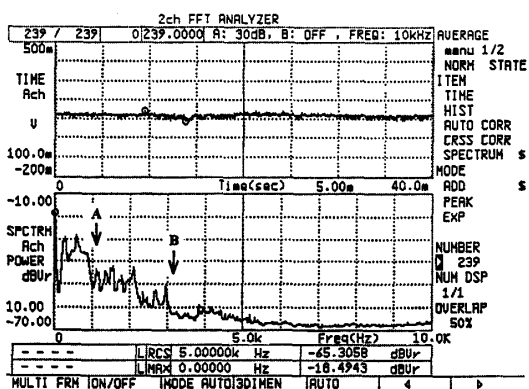
1) 音声変換のアルゴリズム

胃の中に水没させたマイクロフォンで録音した体内音と, 体外で同時に録音した通常音を比較すると, 通常音に比べ, 体内音は音声は不明瞭で口を手でふさいで発声しているような印象を受けた. また, 体内音であっても, 被験者以外の者からの音声に比べ, 被験者自身の音声は極端に不明瞭だった.

通常音と体内音を長時間 FFT による周波数分析結果 (図 4, a 体内音, b 通常音) で比較すると, 通常音に比べ体内音は, 1 kHz 未満の周波数成分では音圧レベルが低かったが, 1 kHz 付近の周波数成分が増幅された音圧レベルが高かった (図 4, A). また一方で, 通常音に比べ体内音は, 3 kHz 付近で徐々に減衰され, 3.5 kHz 以上の周波数成分がほとんどなかった (図 4, B). 通常音と体内音を, 音声の特徴を表す声紋分析で比較すると, 通常音に比べ体内音では, 3 kHz 以上の周波数成分は消滅していたが,

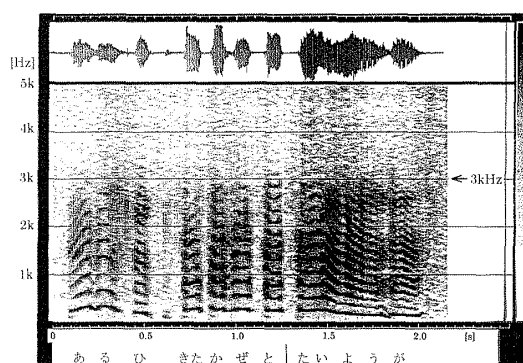


(a) 体内音

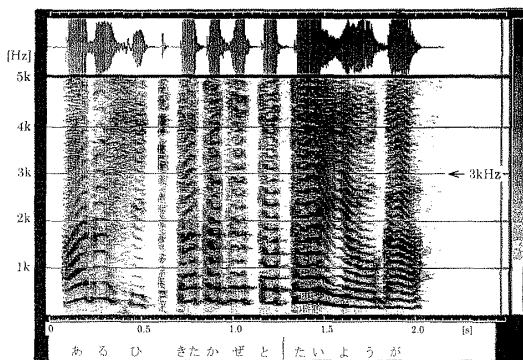


(b) 通常音

図 4 長時間 FFT 解析による体内音と通常音の比較
通常音に比べ体内音は, 1 kHz 付近の周波数成分が増幅され(A), また, 3 kHz 以上の周波数が徐々に減衰された(B).



(a) 体内音



(b) 通常音

図 5 声紋分析による体内音と通常音の比較
通常音に比べ体内音は, 3 kHz 以上の周波数成分が消滅していた.

基本周波数,あるいは声紋の倍音構造に顕著な差は認められなかった(図5).

次に,体内音と音声変換のアルゴリズムに従って作成した加工体内音を,長時間FFTによる周波数分析で比較すると,体内音に比べ加工体内音は,400 Hz以下の低音域の音圧レベルが低く,2,500 Hz以上の周波数成分が消失していた(図6).また,体内音と加工体内音を感応試験で比較すると,声の明るさ,やわらかさ,大きさ,強さ,および響きぐあいでは類似性は認められたが,声の明瞭度,透明度,あるいは澄みぐあいには類似性は認められなかった(図7).

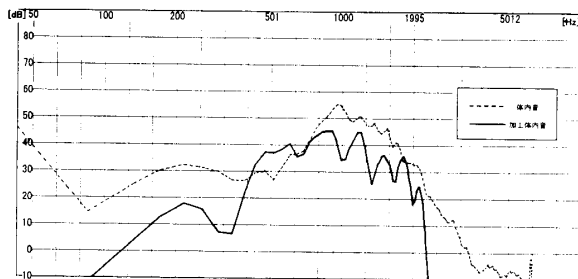


図6 FFT解析による体内音と加工体内音の比較

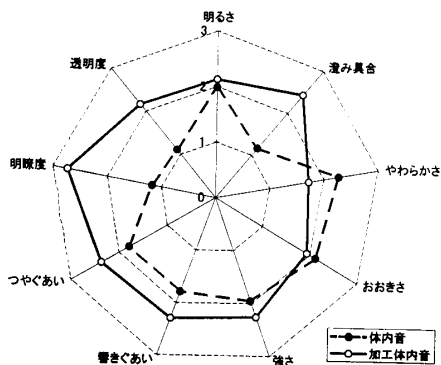


図7 感応試験による体内音と加工体内音の比較
点の位置に近い声の明るさ, 大きさ, および強さなどは類似性が高く, 逆に, 明瞭度, あるいは透明度などは類似性が低かった.

2) 音声変換システム

録音した両親の音声(通常音)を, 音声変換のアルゴリズムに従って加工体内音に変換し, 保育器の児に約58 dBAで提示した. ここでは, 音声変換システムを保育器のサイドフレームに設置して使用した(図3).

3) 臨床「前」試験

保育器内の児に, 専用マットレスに内蔵され

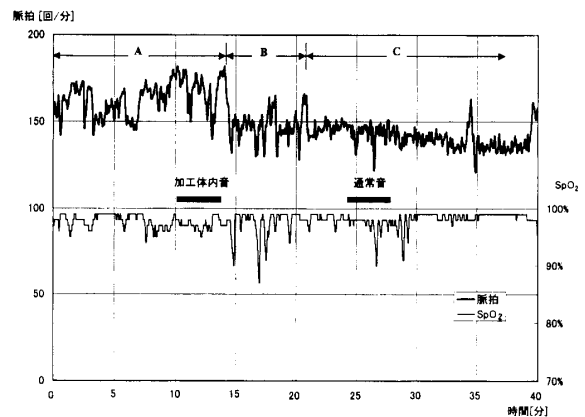


図8 児の脈拍数とSpO₂の変化

試験開始前から児は啼泣しており, 脈拍数が160〔回/分〕を超えるピークが30回出現したが(A), 加工体内音が終了した頃から啼泣がおさまリ, 脈拍数が160を超えるピークは5回に減少した(B). さらに7分後には児は熟睡し, 脈拍数が160を超えるピークは2回にとどまった(C).

たトランスジューサから加工体内音と通常音を提示した. 児の脈拍とSpO₂の変化を1例について示す(図8).

試験直前から児は啼泣をくり返し, 脈拍数160(回/分)を超えるピークが30回出現した. そのうち, 脈拍数170を超えるピークは17回だった(図8, A). また, 児の表情と泣き声の変化を0点から3点まで4段階に分類すると, 表情は大きくゆがむ状態の3点, 泣き声も大声で泣いている状態の3点だった. しかし, 加工体内音が終了したところから啼泣がおさまリ, 脈拍数160を超えるピークは5回に減少し, また, 脈拍数170を超えるピークは認められなかった(図8, B). この時の表情は, ゆがむ状態と大きくゆがむ状態の中間の2.5点, 泣き声は泣いている状態と大声で泣いている状態の間の2.3点だった. さらに, 加工体内音が終了してから7分後に児は熟睡し, 脈拍数160を超えるピークは2回出現しただけだった(図8, C). この時の表情は穏やかな状態の0点, 泣き声も泣いていない状態の0点だった. 通常音を提示した時に児はすでに熟睡していたので, その前後で, 児の反応の変化は認められなかった.

その他, さまざまな条件で児を観察した結果, 試験前から試験終了まで眠っていた例, 音が出てすぐ反応して眠ってしまった例, あるいは, 眠っているが音が出るとのびをするように体を

(32) 医器学 Vol. 69, No. 8 (1999)

動かした例などが認められた。

考 察

胃の中で録音した被験者自身の体内音は、体内組織を直接伝播した音声と、体外に発声された後、腹壁を通して伝播した音声とが、わずかな時間差で体内に到達し合成されたものと考えられる。このことが、体内音が不明瞭で、また、被験者以外の音声に比べ、被験者自身の体内音が極端に不明瞭に聞こえる原因のひとつと考えられる。被験者自身の音声を体外で録音した通常音に比べ、体内音では 3 kHz 以上の周波数成分は消滅していたが、基本周波数は変化せず、音声の特徴を表す声紋の倍音構造にも顕著な差は認められなかった(図 5)。そこで、音声変換のアルゴリズムでは、通常音を帯域フィルタに通した後、反転させた波形と位相を数ミリ秒ずらした波形を合成し、加工体内音を作成した(図 1)。これは、フィルタに通すことで 1 kHz 付近の中低音域を強調しながら 3 kHz 以上の周波数成分を徐々に減衰させ、また、波形を合成することで体内音特有の不明瞭さを出すことを試みたものである(図 4, 5)。しかし、体内音に比べ加工体内音では、体内音に特有な音声の不明瞭さを、充分には再現できなかった(図 6, 7)。

一般に、体内を伝播する時の音声の音圧エネルギー、あるいは音質には、開口状態、咽喉の状態、あるいは舌の位置などが影響すると考えられる。また、発声する単語によっては、体外には音圧エネルギーが伝わりやすく通常音としては大きく聞こえるが、体内組織を伝播した時に体内音としては小さく聞こえるものがある。われわれは、さまざまにアルゴリズムの各要素を変えて、体内音に特有な音声の不明瞭さを特定することを試み、また、加工体内音を体内音に近似させることを試みたが、周波数分析や声紋分析を用いるだけでは困難だった。今後、音声の伝播経路を考慮した検討、微少時間単位の時間軸波形の解析、あるいは、母音や子音の発声に関わる口腔や咽喉の諸条件などを検討する必要がある、音響工学分野からの協力が必要と考えられた。

体感音響振動システム(図 2, アトムインファソニック)は、本来、保育器内の児に音楽を聞かせるもので、トランスジューサから出力される音楽と、音楽の低音域に伴う振動によって、児に鎮静効果を与えようとするものである。本研究では、このアトムインファソニックを用いて、音楽ではなく音声を変換するシステムを構成した。すでに述べたように、保育器内の騒音は 45 dBA 未満が好ましいとされるが²⁾、手入れ窓の開閉時には 50~80 dBA に達すると報告されている³⁾。児の音環境として両親の音声を提示する場合、暗騒音に応じた最適音圧レベルの検討と、トランスジューサの振動強度・振動方法をさらに工夫する必要があると考えられた。なお、トランスジューサから音声の低音域に伴い出力される振動は、保育器内を胎内の環境に近づける重要な一要因と考えられるので、振動が児に与える影響については、今後の検討が必要と考えられた。

今回の臨床「前」試験では、泣いていた児が加工体内音を聞いて泣き止んだ例が認められた。われわれは、児の鎮静の程度を脈拍数、SpO₂ 値、顔の表情、および泣き声で評価したが、泣き止んだ児が母親の音声に興味を引かれたのか、あるいは、児が単純に音に反応したのかを判定するのは困難だった。一方、たとえば児の喜びの程度などを評価するためには、呼吸状態、あるいは四肢の動きの活発さの程度を加えて調べることが必要と考えられた。また、同じ音源であっても、NICU(新生児治療室)のハイリスク児と GCU(成長児治療室)の児では、異なる反応を示す可能性があると考えられる。さらに、これらの指標の他にも、室内の騒音レベル、授乳の時間、あるいはオムツの状態など、児の反応に関わる要因を充分考慮して、試験方法を決定する必要があると考えられた。

一般に、母親の胎内が児の最適環境だったと予測されるので、早期産児を取り囲む音環境についても、いかに胎内環境に近付けるかが大きな課題と考えられる。保育器内に音が流れ、また、揺りかごのように揺れるなど、胎内環境に近付けて児を養育した研究では、児の無呼吸発作が減少し、早期から吸吮行動が表れ、早期に

挿管栄養補給が不要になり、体重増加率が上昇し、児の発達が促進され、入院日数が減少したと報告されている⁹⁾。われわれは、一般的な胎内音 CD などとは異なり、母親自身、あるいは両親の肉声を加工体内音として児に提示し、児の音環境を胎内に近付けようと試みた。ただし、加工体内音による音環境が、長期的な児の行動発達に与える影響については、経過観察を含めて検討する必要があると考えられた。

われわれは、母親の胎内伝播音に着目し、保育器内の音環境を検討した。本研究の特徴のひとつは、被験者である児の母親の協力が必要不可欠だったことで、われわれは、母親自身から録音したメッセージなどをもとに、加工体内音を作成した。スタッフからの依頼に、いずれの両親も協力的で、快く録音に応じてくれ、録音の中には、時間を大幅に超過して児への想いと期待を語る例もあった。長期入院を必要とする早期産児にとって、両親の声を聞くことができるのは面会の時だけである。同様に、両親が児に触れ、あるいは児に声をかけることができるのも面会の時だけである。両親の音声を録音し、児に加工体内音を提示した今回の手順は、児の音環境を検討することを主目的としていた。しかし、これらが両親にとっては、児への愛着心を深めるきっかけ、すなわち、児への愛着形成への有効な手がかりになる可能性が示唆された。胎響（あるいは胎教）の大切さが指摘され⁹⁾、出生直後の新生児にはカンガルーケアが紹介されている¹⁰⁾。母子相互のコミュニケーションを考える時に、体感音響振動システムを使用して保育器内の音環境を胎内に近似できるならば、それは保育器による「ハイテク胎響システム」、あるいは、「声のカンガルーケア」への糸口となるかもしれない。

結 論

- 1) 室内環境で録音された音声（通常音）を、母親の胎内で聞こえる音声（胎内音）に変換するアルゴリズムを考案した。

- 2) 通常音から胎内音に近づくように変換した音声（加工体内音）を保育器内の児に提示する音声変換システムを開発した。
- 3) 音声変換のアルゴリズム、および音声変換システムの有効性を検討し、臨床による評価項目を決定するため、症例数を限って児に加工体内音を提示し反応を調べた。
- 4) 当面、加工体内音に対する児の反応は、脈拍数、SpO₂、顔の表情、あるいは啼泣の変化で調べることが有効と考えられた。
- 5) 加工体内音による音環境が児の行動発達に与える影響については、経過観察を含めて検討する必要があると考えられた。

文 献

- 1) 仁志田博司：体温調節と保温。新生児学入門，医学書院，東京，pp. 158-167, 1997.
- 2) American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health: Noise; A Hazard for the Fetus and Newborn. Pediatrics, 100, 724-727, 1997.
- 3) Bess FH, Finlayson-Peek B, Chapman JJ.: Further Observation of Noise Levels in Infant Incubators. Pediatrics, 63, 100-106, 1979.
- 4) 仁志田博司：発育・発達とその評価。新生児学入門，医学書院，東京，pp. 29-49, 1997.
- 5) 室岡 一：胎児期の母子相互作用。周産期医学，13, 2133-2137, 1983.
- 6) K. Kawakami, K. Takai et al: The Effect of Sounds on Newborn Infants under Stress. Infant Behavior and Development, 19, 375-379, 1996.
- 7) 志村洋子，山内逸郎，他：胎児をとりまく音環境。騒音制御，13, 197-201, 1989.
- 8) James D. Gatts et al: A Modified Newborn Intensive Care Unit Environment may Shorten Hospital Stay. Journal of Perinatology, 14, 422-427, 1994.
- 9) 志村洋子：胎教よりも胎響。小児看護，19, 631-635, 1996.
- 10) 堀内 勁：カンガルーケア新生児医療の新しい出発。日本小児科学会雑誌，101, 1259-1262, 1997.