

胎児心拍間隔時間細変動デジタル処理の諸方法の比較検討

鳥取大学医学部産科婦人科学教室 (主任: 前田一雄教授)

有 馬 忠 茂

Studies on Computer Processing of Fetal Heart Beat Intervals with
the Comparison to Several Analyzing Methods

Tadashige ARIMA

Department of Obstetrics and Gynecology, Tottori University School of Medicine, Tottori

(Director: Prof. Kazuo Maeda)

概要 直接誘導胎児心電信号R波ピーク検出によるトリガ信号とミニコンを用いて心拍間隔時間を統計学的に処理し、心拍数細変動解析を行つた。鳥取大学病院産科で分娩した78例について、連続した250個のR-R間隔時間のデータ列を合計260カ所についてそれぞれ収録した。データ検出部の心拍数図を記録し、それぞれHammacher基準により4つのoscillation typesに分類し比較検討した。またYehのinterval index (ID), differential index (DI) 及びde Haanのlong term irregularity index (LTI), short term irregularity index (STI) と、著者のbeat interval (BI), interval difference (ID) との比較検討を行つた。IDをHammacherの4型間で比較すると、type-0は平均 0.64 ± 0.54 ms, type-1は 1.5 ± 1.2 ms, type-2は 3.1 ± 4.9 ms, type-3は 9.0 ± 23.7 msで4群間の平均値に有意差を認めた。IDのヒストグラム上で1.0ms以下を占める部分の百分率を上記4型間で比較した。type-0は平均 $57.8 \pm 19.5\%$, type-1は $31.1 \pm 5.3\%$, type-2は $24.6 \pm 5.0\%$, type-3で $11.8 \pm 5.2\%$ であり4型間の平均値にはそれぞれ有意差を認めた。心拍数細変動正常例 (type-2) と異常例 (type-0) についてde HaanのSTI, YehのDI, 著者のIDを用いてそれぞれ同一症例で比較検討した。STI平均値は正常例及び異常例間に差がみられなかったが、異常例では標準偏差が正常例よりも非常に小であった。DIは正常例では3.9~5.7であったが、異常例は1.1以下の低値を示した。著者のIDの平均値と標準偏差は異常例では正常例よりも明らかに低値であり、心拍数細変動の診断に有用と考えられた。

Synopsis Fetal heart beat intervals are statistically studied with the use of direct fetal ECG signal, universal counter module, HP 2100 A computer and fetal heart rate meter. In 78 cases of labor, 260 data trains which are composed of 250 beat intervals respectively are utilized for the study. Fetal heart rate curves are classified into Hammacher's 4 oscillation types. Every beat interval (BI), beat interval difference (ID) are studied with the comparison to interval index (II) and differential index (DI) of Yeh, and long term irregularity index (LTI) and short term irregularity index (STI) of de Haan. Among 4 oscillation types, ID value is the least in type 0, the next in type 1 then 2, and the largest in type 3. The differences are significant respectively. Percentages of ID below 1 ms of ID histogram showed the largest value in type 0, the next in type 1 then 2, and the least in type 3. The differences are significant respectively. Normal type 2 and abnormal type 0 cases are compared by STI, DI and ID. Mean value of STI shows no difference between the cases, but the SD is very small in type 0. DI is small in type 0, and mean and SD of ID of the author are small in type 0. The utility of ID is suspected from the results in this study.

Key words: Beat interval•Computer processing•Direct FECG•Analyzing methods•Oscillation types

緒 言

最近急激な進歩を示した電子工学的分娩監視法は、分娩時胎児死亡を著減させ、重症新生児仮死発生予防に役立ち、さらに児のその後の障害を減

少させる方向への研究と臨床応用が進められている。

現在、広く利用されているのは胎児心拍数図による胎児仮死診断であり、その診断基準には

Hon⁸⁾, Caldeyro-Barcia⁵⁾, その他の図形分類による診断法や, 前田ら²⁾の心拍数評価点その他の定量的診断があり, またこれらを利用した胎児仮死自動診断³⁾も報告されている。

最近では, 胎児心拍数変動を客観的に解析するために, 電算機を利用した報告が年々増加しており, 心拍間隔時間を数学的, 統計学的に処理した数値による解析が行われている. de Haan et al.⁶⁾ の STI と LTI, Yeh et al.¹²⁾ の interval index と differential index などが心拍間隔時間を数量化した index である。

著者は直接誘導胎児心電信号 R 波ピーク検出によるトリガ信号を利用し, 心拍間隔時間の統計学的処理によつて胎児心拍数基線細変動 (以下細変動と略) 解析を行つたので報告する。

研究対象並びに方法

研究対象は鳥取大学医学部附属病院産科において分娩した78例であり, 年齢21~37歳, 平均27歳, 初産47例, 経産31例, 男児42例, 女児36例で, 児の生下児体重1,600~4,180g, 平均3,113gであつた。

正常妊娠分娩65例, 妊娠中毒症軽症6例, 重症1例, 早産1例であり, 分娩時の胎児心拍数図所見によつて fetal distress と診断したものは13例で, うち帝切6例, 他の急速遂娩7例であつて, また妊娠中毒症重症の1例は分娩中に細変動が消失していて, Hammacher⁷⁾ の oscillation 分類では type-0 であつた. 吸引分娩により急速遂娩したが, Apgar スコアは5分後3点であり蘇生術を要した。

1. 胎児心電信号検出方法

分娩第1~2期に人工破膜後, または自然破水後に Hewlett Packard (以下 HP) 製スパイラル電極を胎児先進部に装着し, 電極導出線を HP 8811A 増幅器に接続して心電信号を増幅検出した. 中性点電極は母体大腿部に装着した. 増幅器出力は日本光電 SDR-813型データレコーダに入れ, 子宮収縮信号と同時に磁気テープに記録した。

2. 胎児心電信号 R 棘ピーク検出によるトリガ

形成

上記のデータレコーダの再生出力をトーン型心拍数計に導き, 心電図 R 棘ピーク検出方式によりトリガ信号パルスを形成し, 心拍間隔時間計測に用いた。

3. 胎児心拍間隔時間測定法

HP 2100A ミニコンピュータの制御下に, YHP 製の universal counter module (以下 UCM と略) を用いて胎児心拍間隔時間を測定するようにした. 上記の心電信号 R 棘ピークによるトリガ信号パルスを UCM に入力し, continuous time interval (以下 CTI と略) 測定モードで計測した. トリガ間隔は0.1ms の精度で連続的に測定し, 電算機メモリに収納した。

4. 子宮収縮の検出方法

外測子宮収縮検出法を用いた. トーン型ガードリング型外測子宮収縮トランスデューサを母体前腹壁上で子宮のほぼ上1/3に相当する部位に弾力性ベルトを用いて装着し, トーン TD 400増幅器に接続して, その出力をデータレコーダに入れ, 胎児心電信号と同時に磁気テープに記録した。

5. 胎児心拍数図及び子宮収縮曲線の記録法

トーン型心拍数計の心拍数信号出力及びデータレコーダの子宮収縮出力を横河3047型2ペンレコーダで記録し, 胎児心拍数図及び外測子宮収縮曲線の同時記録を行い, これを Hammacher の Oscillation 分類に用いた。

図1 本研究に用いた機器の構成

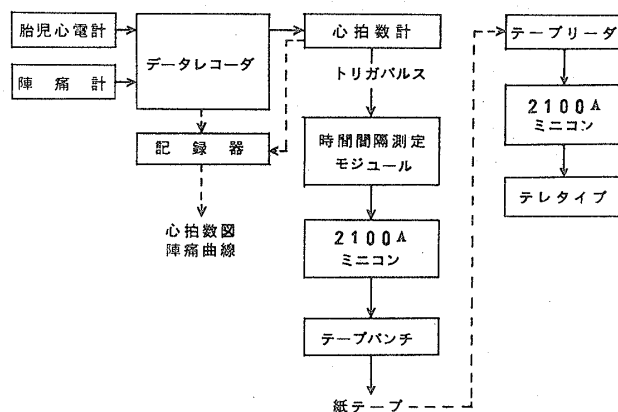


表1 諸家の胎児心拍数細変動検討方法 (いずれも相隣る心拍間隔時間を t_n 及び t_{n-1} とする)

1. Yeh, S. et al.	
a) Interval index (II) = R-R 間隔時間の変動係数	$= \frac{\text{標準偏差}}{\text{平均値}} \times 100$
b) Differential index (DI) = d_{n-1} の標準偏差	
	ただし, $d_{n-1} = \frac{t_{n-1} - t_n}{t_{n-1} + t_n} \times 100$
2. de Haan, J. et al.	
a) Long term irregularity index (LTI) = modulus	$= \sqrt{(t_{n-1})^2 + (t_n)^2}$
b) Short term irregularity index (STI) = argument	$= \tan \phi_n = t_n / (t_{n-1})$
3. Hammacher	
a) Oscillation type-0: 細変動の振幅が 5 bpm 以下で, かつ 1 分間に 2 回以内の変動をみる状態が 10 分以上続く	
b) Oscillation type-1: 細変動の振幅が 5 ~ 10 bpm の間にあるもの	
c) Oscillation type-2: 細変動の振幅が 10 ~ 25 bpm の間にあり, 変動数が 1 分間 2 回をこえるもの	
d) Oscillation type-3: 細変動の振幅が 25 bpm 以上のもの	
4. 著者	
a) Beat interval (BI) = t_n	
b) Interval difference (ID) = $t_n - t_{n-1}$	

6. 計算機及び周辺機器

計算機には HP 2100A ミニコンピュータ, 周辺機器には HP 2748 高速テープリーダ, HP 2895B テープパンチ及びテレタイプを用いた。プログラミングには, UCM, テープ読み取り, テープパンチ, AD 変換などのサブルーチンでコンフィギャした HP-BASIC インタプリタを用いた (図1)。

7. 胎児心拍間隔時間データ収録方法

R 棘ピーク・トリガ間隔時間信号出力を CTI 測定モードで動作する UCM に入力し, トリガ間隔を計測した。トリガ間隔は 250 回連続して計測し, さらにこれを 4 回反復して, 計 1,000 個のトリガ間隔, すなわち胎児心拍間隔時間を紙テープにパンチした。この際, オシロスコープで R 波の波形を観察しながら, できるだけ波形の明瞭な部分についてデータ集録を行うようにした。また, 同時に胎児心拍数図・子宮収縮曲線を記録し, 胎児心拍間隔時間データは胎児心拍数一過性変動をさけて行うようにした。

8. 紙テープに集録したデータの自動解析方法

a. データの確認

上記データをパンチした紙テープをテープリーダで読みとり, 心拍間隔時間をすべて印字するプ

ログラムにより, データをテレタイプで印字して誤りのないことを確かめた。

b. Beat interval (心拍間隔時間, BI と略)

心拍間隔時間 (表1の4) の平均値, 標準偏差, 5ms ステップヒストグラムを求めるプログラムを作成し, 紙テープに集録されたデータを自動解析した。

c. Interval difference (隣接心拍間隔時間差, ID と略)

隣接心拍間隔時間差 (表1の4) の平均値, 標準偏差, 0.2ms ステップヒストグラムを求めるプログラムを作成し, 上記のデータテープを自動解析した。

d. Yeh et al. の interval index と differential index

Yeh et al.¹²⁾ は比較的長い心拍数変動を interval index (II と略) とし, 短時間の心拍数変動を differential index (DI と略) と呼んでいるが (表1の1), この II と DI を計算するプログラムを作成し, 紙テープに集録した上記のデータを自動解析して, II と DI を求めた (図9)。

e. de Haan et al.⁶⁾ の short term irregularity index と long term irregularity index

de Haan et al.⁶⁾ は short term irregularity

index (STI) と long term irregularity index (LTI) により胎児心拍間隔時間変動を検討したが (表1の2), これを求めるプログラムを作成し, II 及び DI と同様に自動解析を行つた (図8).

9. Hammacher⁷⁾ の oscillation 分類

胎児心拍間隔時間データ集録期間に一致して記録した胎児心拍数図上の細変動 (いわゆる oscillation または baseline variability) で変動の周期が20秒以内のものを, Hammacher⁷⁾ の基準 (表1の3) にしたがって肉眼的に計測し分類した.

成 績

1. 自動解析結果の実例

a. 正常例の1例

胎児心拍数基線が140~160bpmの正常整脈で, 胎児心拍数一過性変動は早発一過性徐脈, 細変動は type-2 oscillations の1例を自動解析したところ次の結果がえられた (図2の1).

1,000個の心拍間隔時間から計算した beat interval は平均 412.2 ± 35.8 ms で, 365ms から475ms までに分布し, ヒストグラム上のピークは410~415ms にあり, 17.5%を占めていた. 996個の心拍間隔時間差から interval difference を計算すると平均 2.61 ± 5.13 ms で正規分布を示さなかつた. 一方250個の心拍間隔時間について Yeh の interval index と differential index を計算し, こ

れを8回反復したところ II は2.0から7.1の間で変動し, DI は4.1から29.8の間で変動していた.

b. 異常例の1例

心拍数基線が179~184bpmの頻脈で, 胎児心拍数一過性変動は遅発一過性徐脈, 細変動は type-0 の妊娠中毒症例では次の結果がえられた (図2の2).

正常例と同様に beat interval を計算すると平均 339.2 ± 12.7 ms で, 320~375ms に分布し, ヒストグラムのピークは平均値に一致し, 30.1%であつた. interval difference は平均 0.60 ± 0.46 ms で, ヒストグラムでは 2ms 以下が全体の99%を占めた. 正常例と同様に II と DI を求めると, II は1.0から1.3の間で変動し, DI は0.8から1.1の間で変動していた.

2. 自動解析結果の分析

a. 各種の解析方法と Hammacher⁷⁾ 分類の比較検討

1) 著者の方法

a) beat interval

type-0 の1例の平均値と標準偏差は 422 ± 7.7 ms (N=1,000), type-1 の1例は 393 ± 6.0 ms (N=1,000), type-2 の1例は 390 ± 18.0 ms (N=1,000), type-3 の1例は 481 ± 80.0 ms (N=1,000) であつた. 4群の変動係数は type-0 が1.8%, type-1 が

図2 自動解析に用いた正常及び異常の各1例. 図2の1 (向つて左): 正常妊娠経過, 正常分娩, Apgar スコア10点. 図2の2 (右): 妊娠中毒症重症, 吸引分娩, 5分後Apgar スコア3点.

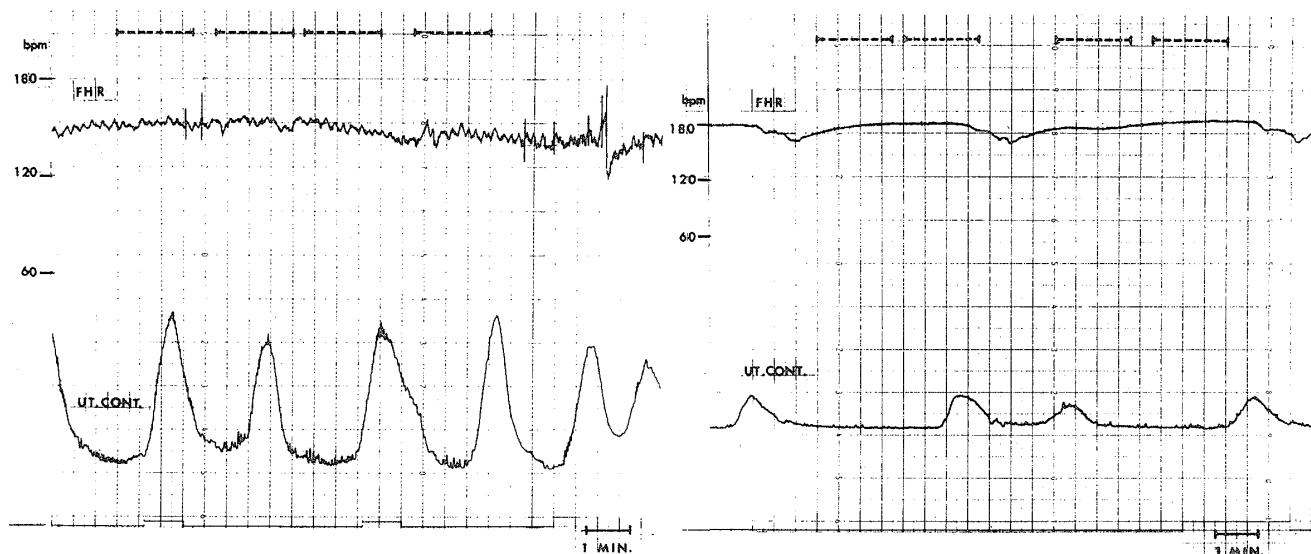
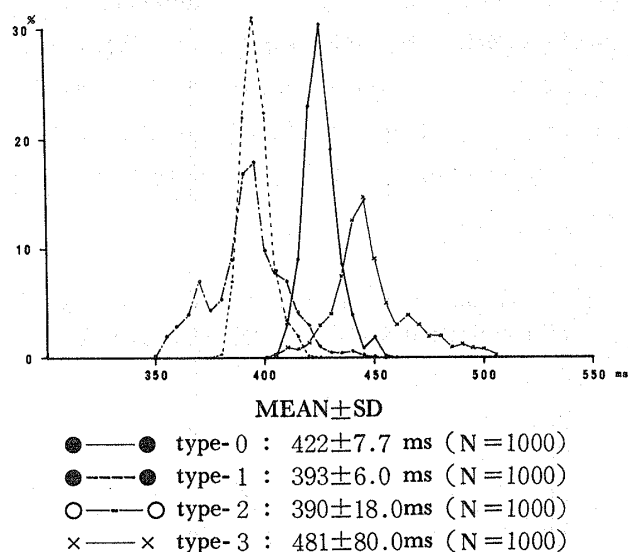


図3 beat interval (BI) の5ms ステップのヒストグラム (Hammacher の oscillation 分類による検討)



1.5%, type-2 が4.6%, type-3 が16.6%であった (図3).

b) interval difference

(1) 1,000個の ID の平均値とヒストグラム
 type-0の1例では平均 0.64 ± 0.54 ms (N=996), type-1の1例では 1.5 ± 1.2 ms (N=996), type-2の1例では 3.1 ± 4.9 ms (N=996), type-3の1例では 9.0 ± 23.7 ms (N=996)であった。4群の平均値間には有意差が認められた ($p < 0.01$)。0.2ms ステップのヒストグラムで1.4ms 以下に分布する部分の百分率は、高いものから順にならべると、type-0, type-1, type-2, type-3 となつた。1.0ms 以下の分布をみると、この傾向はさらに明瞭であった。type-0 は2.4ms 以下にかぎって分布していたが、他の3群では広い分布がみられた (図4)。

(2) ID ヒストグラムの1ms 以下の部分の百分率

連続した250個の R-R 間隔時間データを78例について合計260個所から収録した。各250個のデータについてえられた ID ヒストグラム (0.2ms ステップ) 上で ID が1ms 以下の部分の百分率を求め、心拍数基線細変動を Hammacher 基準にしたがって分類し、検討した。ID が1ms 以下

図4 interval difference (ID) の0.2ms ステップのヒストグラム (Hammacher の oscillation 分類による検討)

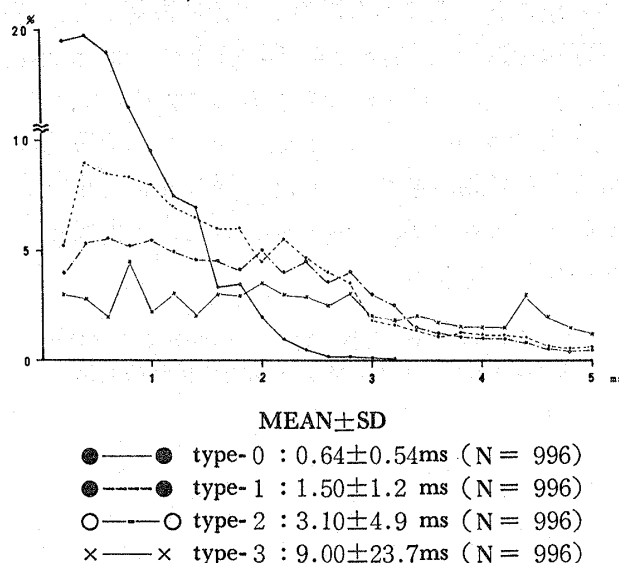
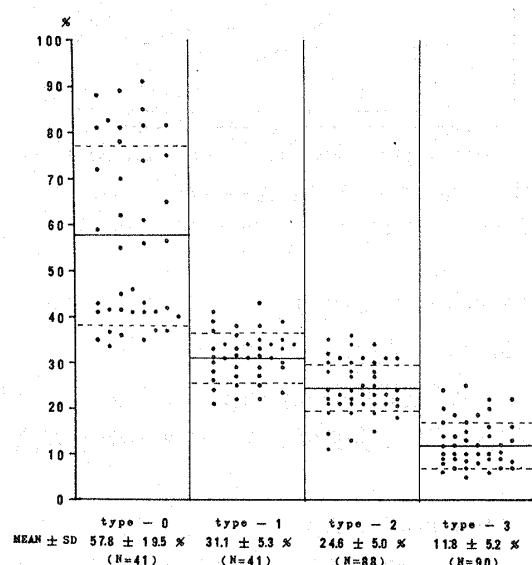


図5 interval difference (ID) 0.2ms ステップヒストグラム上における1ms 以下の部分の百分率と Hammacher 分類 (●: 250個の ID 中の1ms 以下の部分の百分率を表わす)

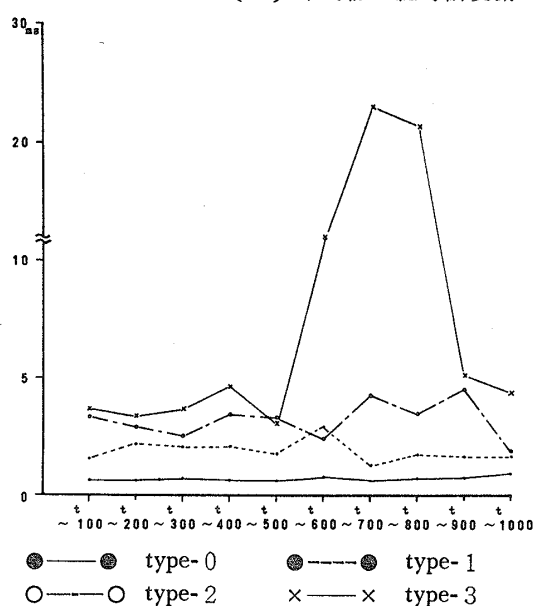


の部分の百分率の平均値と標準偏差は、type-0 で 57.8 ± 19.5 % (N=41), type-1 で 31.3 ± 5.3 % (N=41), type-2 で 24.6 ± 5.0 % (N=88), type-3 で 11.8 ± 5.2 % (N=90) であった。4群の平均値のあいだにはそれぞれ有意差を認めた ($p < 0.001$) (図5)。

(3) 時間経過を追って検討した ID

連続100個の心拍間隔について ID の平均値を求め、これを連続して10回反復し、Hammacher の4型の各1例につき計算して比較検討した。時間経過を追った場合でも ID 値をつらねた曲線は、小さい方から順にならべると type-0, type-1, type-2, type-3 となり、また type-3 では時間的にも大きな変動があつた。type-2 及び 1 にも小さい変動がみられたが、type-0 にはほとんど変動をみなかった (図6)。

図6 Hammacher 分類 type-0～type-3 における interval difference (ID) 平均値の経時的変動



2) Yeh et al. の方法

a) interval index

II は心拍間隔時間の変動係数であり、したがって著者の BI の変動係数と一致するため数値は省略する。

b) differential index

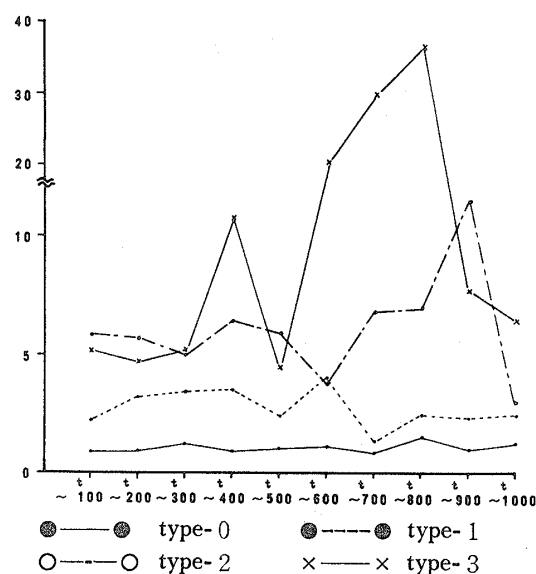
(1) 1,000 個の DI の平均値の Hammacher 分類との比較

1,000個の心拍間隔について求めた DI の平均値は、type-0 の1例では1.1, type-1 の1例では2.6, type-2 の1例では5.7, type-3 の1例は14.9であつた。4型の平均値のあいだには有意差が認められた ($p < 0.01$)。DI の平均値は小さい方から順にならべると type-0, 1, 2, 3 となつた。

(2) 時間経過を追って検討した DI

連続100個の心拍間隔について DI の平均値を求め、これを連続10回反復し Hammacher の4型間で比較検討した。時間経過を追った曲線についてみても、小さい方から type-0, 1, 2, 3 の順となつた。また type-3 は時間的な変動が最も大きく、ついで type-2, 1, 0 の順で変動が小さくなつた (図7)。

図7 Hammacher 分類 type-0～type-3 における differential index (DI) 平均値の経時的変動



3) de Haan の方法

a) long term irregularity index

1,000個の心拍間隔について求めた modulus (LTI) の平均値は type-0 の1例では 597 ± 3.6 , type-1 の1例では 566.5 ± 45.9 , type-2 の1例では 552 ± 51 , type-3 の1例では 649 ± 23.8 であつた。4型の平均値のあいだには有意差は認められなかつた。連続100個の心拍間隔について LTI を求め、これを10回反復し、Hammacher の4型各1例につき計算し、比較検討した。時間経過を追った場合でも LTI 値をつらねた曲線はバラツキが多く4型の判別はできなかつた。

b) short term irregularity index

1,000個の心拍間隔から求めた de Haan の argument (STI) の平均値は type-0 の1例では

1.000 $\pm$ 1.725, type-1 は1.001 $\pm$ 4.633, type-2 は0.999 $\pm$ 7.72, type-3 は0.99 $\pm$ 8.832であつた. 4型の平均値のあいだには差がなく, 標準偏差は小さい方から type-0, 1, 2, 3 の順となつた.

連続100個の心拍間隔について STI を求め, これを10回反復し, Hammacher の4型各1例につき計算して比較した. 時間経過を追つた場合でも STI をつらねた曲線は4型間に差は認められなかつたが, 標準偏差は type-0 では他の3型よりも小であつた.

b. 同一症例での STI, DI 及び ID の比較

本研究で検討した指標のうち, STI 及び DI は特に心拍ごとの short term variability をよく表現するとされるので, 著者の ID と比較検討した.

250個の心拍間隔について STI を計算し, 8回

図8 正常(上図)及び異常(下図)各1例において時間経過を追って算出した de Haan の short term irregularity index (STI). 正常例(図2の1)と異常例(図2の2)は図9と同じ.

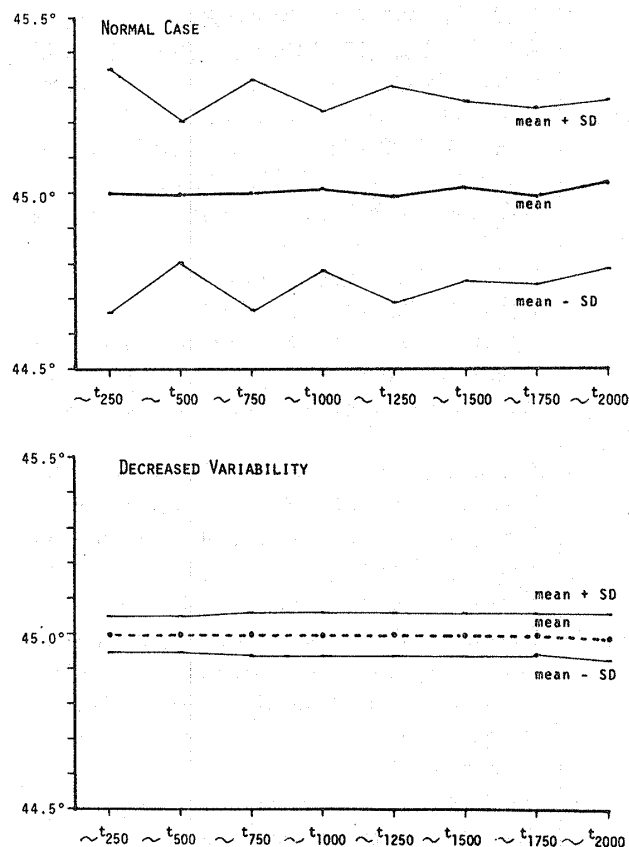
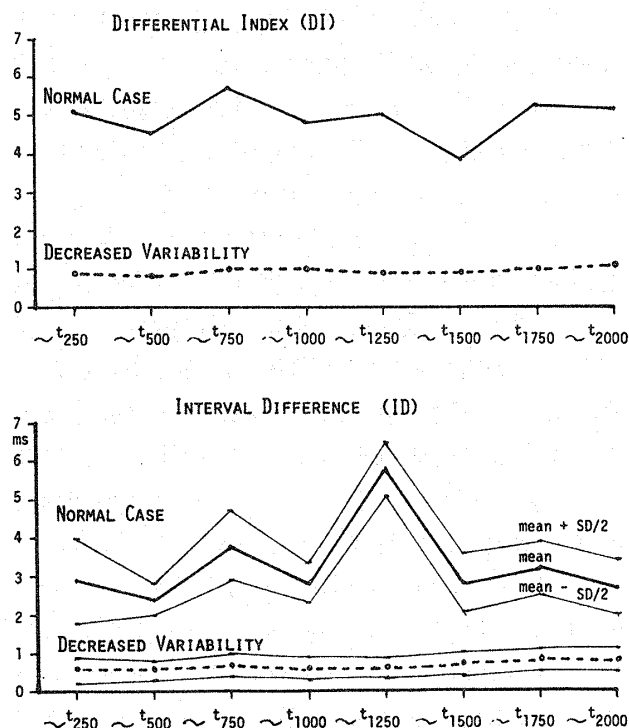


図9 正常(各図上段)及び異常(各図下段)において時間経過を追って算出した Yeh の differential index (DI) (上図)と著者の interval difference (ID) (下図)



反復して時間経過を追つたところ, 正常例(図2の1)と頻脈, 遅発一過性徐脈及び細変動消失の異常例(図2の2)では, STI 平均値はほとんど同一であり, 標準偏差は異常例(Hammacher 分類 type-0)に非常に小であつた(図8).

以上と同じ症例について, 250個の心拍間隔について DI 及び ID を計算し, 8回反復して時間経過を追つたところ, DI では前記の正常例では大きな値, 異常例で小さい値が連続してえられたが, ID でも平均値は前記の正常例に大で異常例に小であり, ID の標準偏差も異常例に小であつて, DI と同様に両例を区別することができた(図9).

考 案

胎児心拍間隔時間計測処理による細変動研究の最初の報告は Hon の arrhythmia index⁹⁾があり, 3個のシフトレジスタに次々に心拍間隔時間を入れ, 1つの心拍間隔とその次の間隔との時間差を求めて棒グラフの系列で変化を表わしたが, わず

か数例における各10秒間の検討にすぎなかつた。de Haan et al.⁶⁾ は細変動を LTI 及び STI として報告しているが、表現法が複雑で、著者の追試では STI の平均値には正常例と異常例の間に差を認めず、標準偏差値に相違を認めた。Yeh et al.¹²⁾ は1分間に120~180サイクルの胎児心拍数変化を細変動と定義し、30秒間の連続した心拍間隔時間の差と和の比(百分率)の標準偏差を DI として表現して、グラフでその変動を示した。Demerol を母体に投与すると、投与前の DI は8~16のあいだで変化し、投与後には2~6に減少したと報告した。著者の追試では通常3.7~5.7のあいだで変化し、細変動消失例では1.1以下で変動した。これも多数の臨床例を重ねて DI の正常及び異常の診断基準を求める必要がある。諸家の細変動に関する指数の比較研究による報告には Laros et al.¹⁰⁾ 及び Organ et al.¹¹⁾ の報告がある。Laros et al. は Hon⁸⁾ の肉眼的診断による細変動の分類と de Haan et al.⁶⁾ の STI, Yeh et al.¹²⁾ の DI を比較検討したが、症例により index にばらつきがあり数多くの症例を検討しなければ臨床的価値は見出されないと結論づけた。Organ et al.¹¹⁾ は instantaneous variability を30秒間の瞬時心拍数差の平均値の絶対値と定義し、de Haan et al.⁶⁾ の STI, Yeh et al.¹²⁾ の DI を同一症例で比較し、3指数間で高い相関を示したと報告しているが、わずか1例についてのグラフ上の比較であり、まだ検討の余地がある。

著者は、これまでの諸家の報告よりも簡明な表示法で78例の症例について細変動の研究を行った。beat interval (BI) は心拍間隔時間であり、BI の変動係数は type-0, type-1 の細変動消失例では type-2, type-3 よりも小さくなつた。interval difference (ID) は beat to beat difference を示すもので、その平均値と標準偏差は type-0, type-1, type-2, type-3 の順に大きくなり、4群間の平均値には有意差を認めた。以上の結果から細変動消失の診断には ID の平均値と標準偏差を指標にすることが可能である。また ID のヒストグラム上で1.0ms 以下を占める部分の百分率を求める

と、type-0, type-1, type-2, type-3 の順に大きくなり、type-0 は57.8±19.5%と他の群より非常に高い値を示し、4群の平均値間には有意差を認めた。この百分率も細変動消失の診断の1つとして有用であると考えられる。正常例と細変動消失例についての de Haan et al.⁶⁾ の STI, Yeh et al.¹²⁾ の DI 及び著者の ID を図上で対比して検討した結果、3者とも2群間の判別が可能であつたが、ID の平均値と標準偏差の併記による表示が、より明らかに細変動消失を定量的に表現するものと考えられる。

稿を終るに臨み、御指導下さつた前田一雄教授に深甚の謝意を表し、また寺原賢人元講師に感謝する⁴⁾。

本論文の要旨は第29回日本産科婦人科学会学術講演会⁴⁾、第18回日本 ME 学会大会¹⁾において発表した。なお本研究の一部は文部省科学研究費及び厚生省心身障害研究費によつた。

文 献

1. 有馬忠茂, 前田一雄: 胎児心拍間隔時間細変動デジタル処理の諸方法の比較検討。医用電子と生体工学, 17: 74, 1979.
2. 前田一雄, 木村制哉, 福井儀郎, 小沢修一, 小坂 亘, 王張富美, 田村迪子, 高田大陸, 中野仁雄, 三苦守行: 胎児の生理ならびに病理に関する研究。日産婦誌, 21: 877, 1969.
3. 前田一雄, 有馬忠茂: 胎児仮死自動診断プログラムの開発。第29回日産婦学術講演会, 1977.
4. 寺原賢人, 有馬忠茂, 前田一雄: 連続的間隔時間測定モジュール及び電算機によるデータ処理を用いた胎児心拍間隔時間微細変動の検討。日産婦誌, 29: 1485, 1977.
5. Caldeyro-Barcia, R.: Diagnosis and treatment of fetal disorders. Edited by Adamsons, K., 205, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
6. de Haan, J., Van Bommel, J.H., Versteeg, B., Veth, A.F.L., Stole, L.A.M., Jansens, J. and Eskes, T.K.A.B.: Quantitative evaluation of fetal heart rate pattern. I. Processing methods. Europ. J. Obstet. Gynaec., 3: 95, 1971.
7. Hammacher, K.: The clinical significance of cardiotocography. In "Perinatal medicine (ed. by Huntingford, P. et al.)", Georg Thieme, Stuttgart, Academic Press, New York & London, 1969.
8. Hon, E.H.: An atlas of fetal heart rate patterns. Harty Press, New Haven, 1968.

9. *Hon, E.H. and Yeh, S.*: Electronic evaluation of fetal heart rate. X. The fetal arrhythmia index. *Med. Res. Eng.*, 8: 14, 1969.
10. *Laros, R.K. Jr., Wong, W.S., Heilbron, D.C., Parer, J.T., Shnider, S.M., Naylor, H. and Butler, J.*: A comparison of method for quantitating fetal heart rate variability. *Am. J. Obstet. Gynec.*, 120: 381, 1977.
11. *Organ, L.W., Hawrylyshyn, P.A., Goodwin, J.W., Milligan, J.E. and Bernstein, A.*: Quantitative indices of short and long term heart rate variability. *Am. J. Obstet. Gynec.*, 130: 20, 1978.
12. *Yeh, S., Forsythe, A. and Hon, E.H.*: Quantification of fetal heart beat to beat interval differences. *Obstet. Gynec.*, 41: 355, 1973.

(特別掲載 No. 4803 昭55・11・10受付)