

腹壁誘導胎児心電信号による STV 測定法

京都府立医科大学産婦人科学教室

大野 洋介 辻 雅路 富岡 恵
山元 貴雄 岡田 弘二The Short Term Variability Index from Abdominal
Fetal Electrocardiogram

Yohsuke OHNO, Masamichi TSUJI, Megumi TOMIOKA

Takao YAMAMOTO and Hiroji OKADA

Department of Obstetric and Gynecology, Kyoto Prefectural University of Medicine, Kyoto

概要 妊娠34週から42週の分娩前正常妊婦16例を対象に腹壁誘導胎児心電信号(aFECG)における STV index としての absolute beat by beat difference (ABB) の平均値 (MABB), ABB が1msec 以下の百分率 (1msec%) および2msec 以下の百分率 (2msec%) を測定した。妊娠36週から41週の正常妊婦21例より得られた直接誘導胎児心電信号(dFECG)によれば1msec%や2msec%は従来の STV index のひとつである MABB と各々高い逆相関を示した。さらに LTV index と考えられる R-R 間隔の標準偏差と MABB は高い相関を示したが、1msec%や2msec%ではその相関が弱く、これらの値は LTV の影響を受けにくいと考えられた。aFECG においては dFECG で得られた結果に加えて、aFECG に含まれるエラーやノイズの混入によっても1msec%や2msec%はその値の変化が少なく、胎児の active phase または resting phase においてもこれらの値の変動は認められなかった。

以上により aFECG における1msec%や2msec%の測定は簡便でかつ適確な STV 測定の指標になると考えられた。

Synopsis Fetal heart rate monitoring was carried out on 37 patients between 34 and 42 weeks gestation, in 21 patients with direct fetal electrocardiogram (dFECG), and in 16 patients with abdominal fetal electrocardiogram (aFECG). The mean of the absolute beat by beat differences (MABB) and the percentage of beat by beat differences below 1 millisecond (1 msec %) and below 2 milliseconds (2 msec %) were measured from true fetal R-R intervals by a computerized technique. With dFECG, a significant inverse correlation was found between the MABB and the 1 msec % or the 2 msec %. The standard deviation of fetal R-R intervals as the LTV index showed a higher correlation to the MABB than to the 1 msec % or the 2 msec %. These results were similar to those with aFECG. In addition, with aFECG, the effect of fetal rest and activity on the MABB was significant, but the 1 msec % and the 2 msec % were not altered with periods of fetal rest and activity. The influence of the artifact in aFECG signals on the 1 msec % and the 2 msec % was less than on the MABB. The 1 msec % and the 2 msec % were reliable indices of the STV assessment from aFECG.

Key words: Abdominal fetal electrocardiogram • STV index • 1 msec % • 2 msec %

はじめに

周産期診療の近年の発達には目をみはるものがあり、本学においても一昨年6月に周産期診療部が開設され、最新機器が数々導入された。今日の周産期診療は出生前の胎児病学であり、母親はもちろんのこと胎児を1人の人間としてとらえていくことが必要不可欠であると考えられる。我々は胎児情報の1つとして胎児心拍数を解析することにより、胎児のいわゆる well-being の指標にも

いている。これは1966年に Hammacher⁴⁾が提唱し、1975年に Lee et al.⁸⁾, Rochard et al.¹¹⁾が non stress test (NST)として確立し、いまや NST は周産期診療に欠くべからざる検査法となつている。さらに従来の NST 評価法に加え、心拍数基線細変動 (variability) の存在の有無が胎児 well-being の指標として重要性をもつことが明らかにされるようになり⁶⁾、現在 NST は胎児にせまる危険を予知することにおいては唯一信頼される検

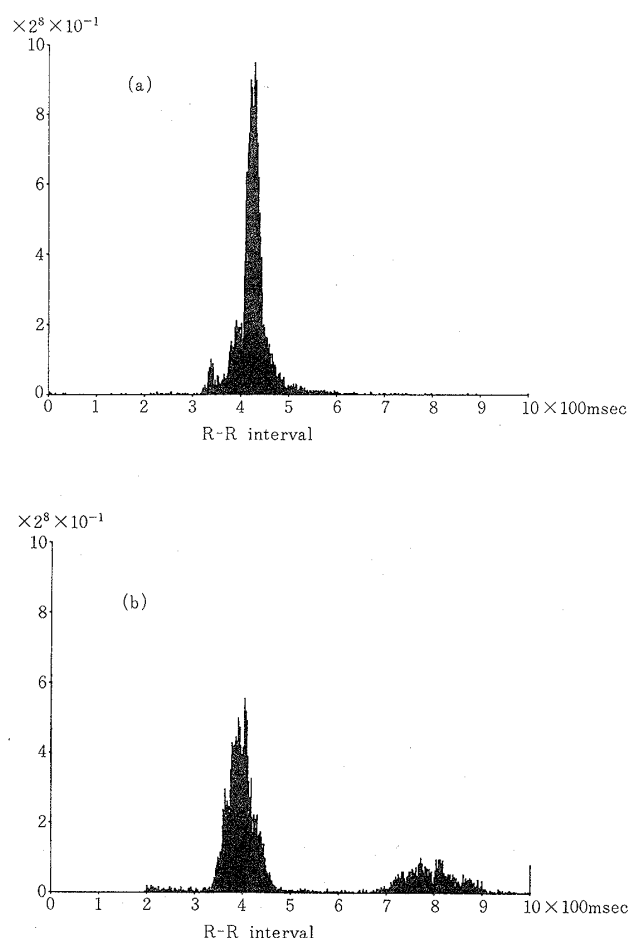
査法であることが明らかにされている³⁷⁾。我々はNSTの評価法をさらに明確にすることを目的に従来の超音波ドップラー法によらず、腹壁誘導胎児心電信号をもちいて胎児心拍数基線細変動の測定および評価法を検討し、若干の知見を得たので報告する。

方 法

妊娠34週から42週の正常妊婦16例に、のべ18回腹壁誘導胎児心電信号 (aFECG) により NST を施行した。前期破水 (PROM) の診断で入院し、未だ陣痛発来のない妊娠36週より41週の正常妊婦21例を対象に直接誘導胎児心電信号 (dFECG) による胎児監視を施行した。胎児監視装置 (コロメトリックス, FMS 112) により得られた aFECG, dFECG 各々の胎児心電 R 棘検出パルス256個をオンラインにてデーター処理装置 (日本光電社製 ATAC-450) に入力し、胎児の R-R 間隔 (t_i) をタイムベース0.1msec の精度にて測定し、さらに隣接する R-R 間隔の差の絶対値 (absolute beat by beat difference, $ABB = |t_{i+1} - t_i|$) を求めた。しかしながら aFECG における R-R 間隔にはかなりのエラーが混入しており、これらの偽 R-R 間隔を除去し、真の R-R 間隔および ABB を検出すべく、以下の検討を加えアルゴリズムを決定した。

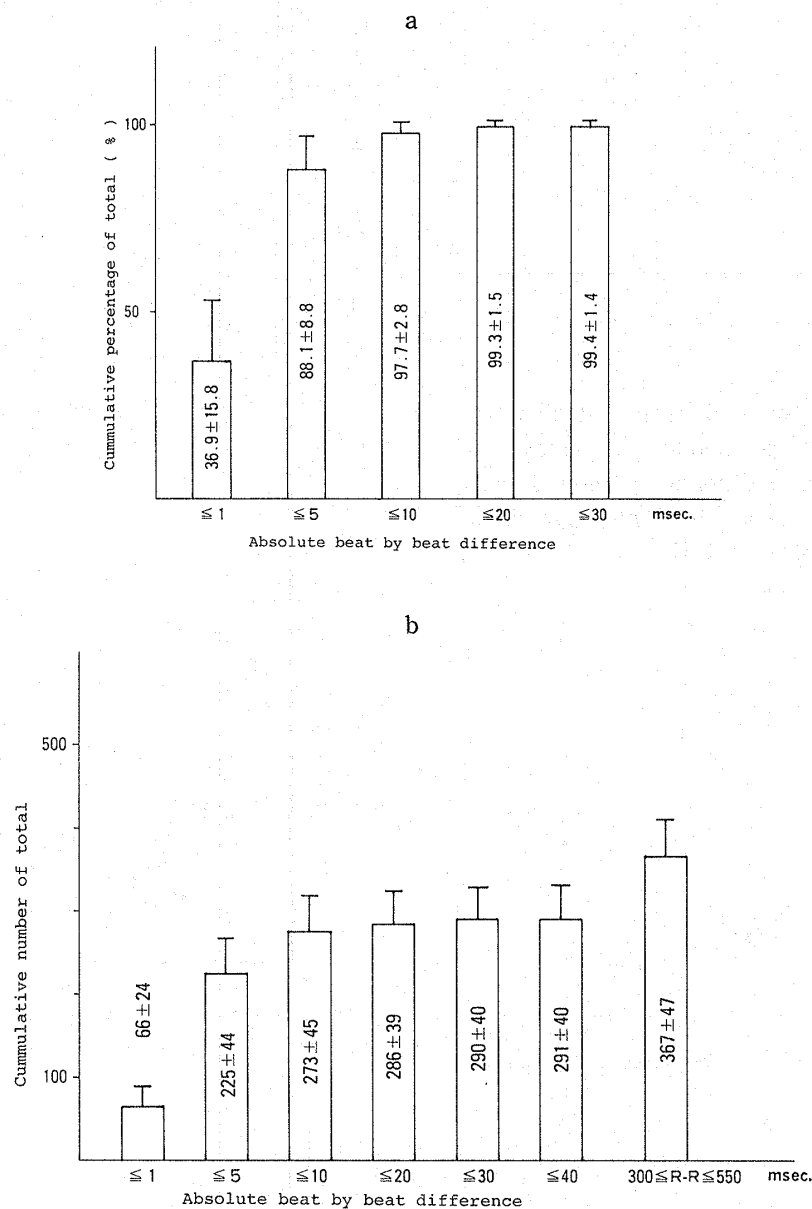
PROM 妊婦 5 例の dFECG により得られた各 2,000 拍計 10,000 拍の R-R 間隔のノンシーケンシャルヒストグラムによるとほとんどすべての R-R 間隔が 300msec 以上 550msec 以下の範囲に認められた (図 1a)。さらに aFECG による 5 例各 2,000 拍計 10,000 拍を同様にヒストグラムによつて表わすと、300msec 以上 550msec 以下に dFECG と同様のピークが認められ、さらに 700msec から 900msec の間に第 2 のピークが認められた (図 1b)。第 2 のピークは母体の QRS 信号に胎児の QRS 信号が重なったことにより、胎児の R 棘を検出できずに 2 個の R-R 間隔が 1 個の R-R 間隔として測定されていることによる。これらの偽 R-R 間隔は 300msec 以上 550msec 以下の帯域フィルターの通過により除去される (アルゴリズム 1)。しかしながらフィルターの通過のみではさらに細かいノイズの混入を避けることはできな

図 1 Histogram of 10,000 R-R intervals measured with direct FECG (a) or abdominal FECG (b). Each five patients between 38 and 41 weeks gestation were recorded.



い。そこで dFECG における ABB の分布について検討した。正常妊婦 10 例、各 1,024 拍の dFECG による ABB の分布をみると 30msec 以下の ABB が全 ABB の 99.4 ± 1.4 (%) を占め、ABB はほとんど 30msec 以下であると考えられた (図 2a)。さらにここで注目すべきは 1msec 以下の ABB が 36.9 ± 15.8 (%) とかなり高率に認められることである。一方 aFECG においても、正常妊婦 10 例各 512 個の R 棘検出パルスについてその分布をみると、フィルターを通過した ABB 数は 367 ± 47 個で、ABB の分布は先に示した dFECG と同様に 30msec でほぼ飽和していると考えられた (図 2b)。そこで aFECG では ABB が 40msec 以内であるものを以下の測定にもちいることにした (アルゴリズム 2)。以上の条件を満たす ABB, R-R 間

図2 Cumulative distribution of 10,125 R-R interval differences measured with direct FECG from ten patients between 36 and 41 weeks gestation (a). Cumulative distribution of 5,110 R-R interval differences measured with abdominal FECG from ten patients between 35 and 42 weeks gestation. Intervals of less than 300 msec. or more than 550 msec. were excluded (b). Each value represents mean $\pm$ SD.



隔について、各々平均および標準偏差を演算させ、さらに ABB については 1msec 以下の百分率 (1 msec%), 2msec 以下の百分率 (2msec%) を求め、これらの演算値をプリンターに出力させた。

結 果

従来より STV の評価法として ABB の平均値 (MABB) や標準偏差値 (SDABB) がその指標のひとつとしてもちいられている。dFECG による

MABB と SDABB の関係をみると相関係数 $r = 0.963$ と高い正の相関を示した (図 3)。そこで、以下 MABB を各種計測値との比較にもちいることにした。

dFECG における MABB と 1msec% (図 4a) および 2msec% (図 4b) との関係を検討すると、相関係数は各々 1msec% で -0.83 、2msec% で -0.92 と高い負の相関を示していた。指数回帰による決

図3 Correlation between the mean and the standard deviation of absolute beat by beat differences from direct FECG.

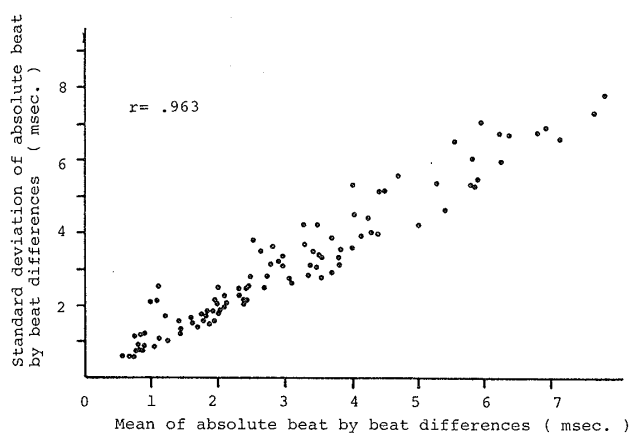


図4 Correlations between the mean of absolute beat by beat differences and the percentage of absolute beat by beat differences below 1 millisecond (1msec%) (a) or below 2 milliseconds (2 msec%) (b) from direct FECG.

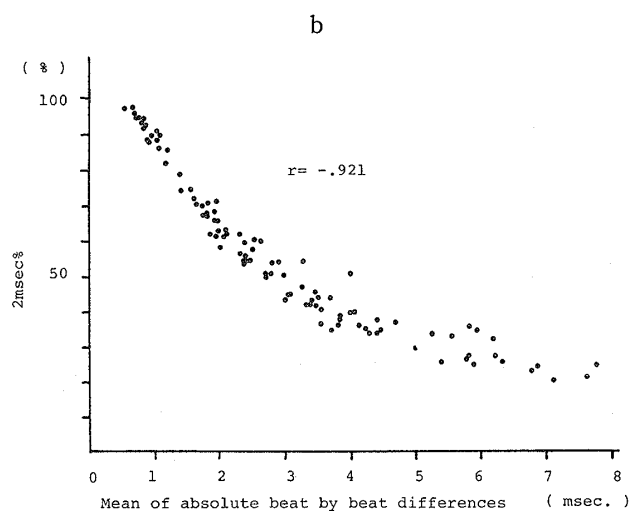
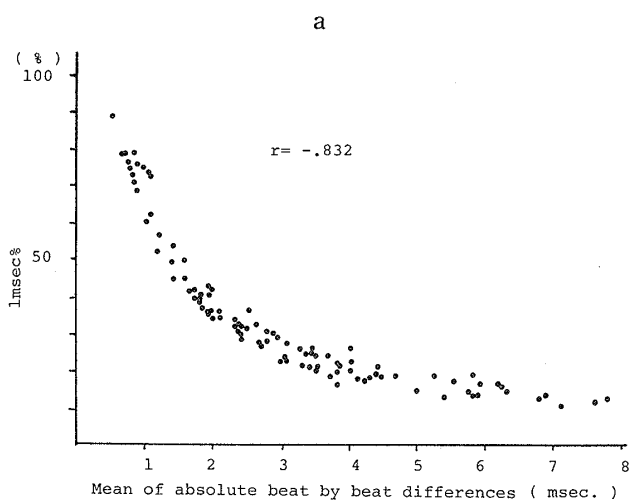
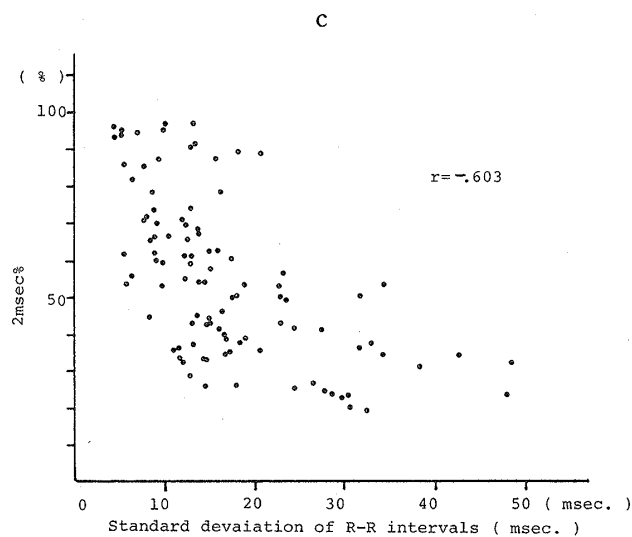
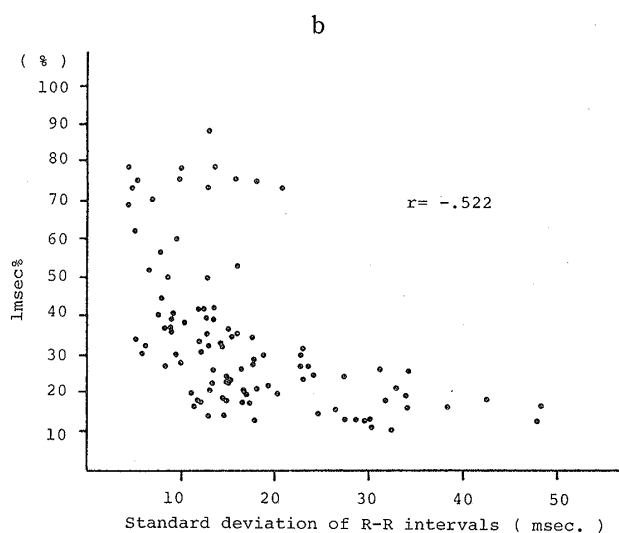
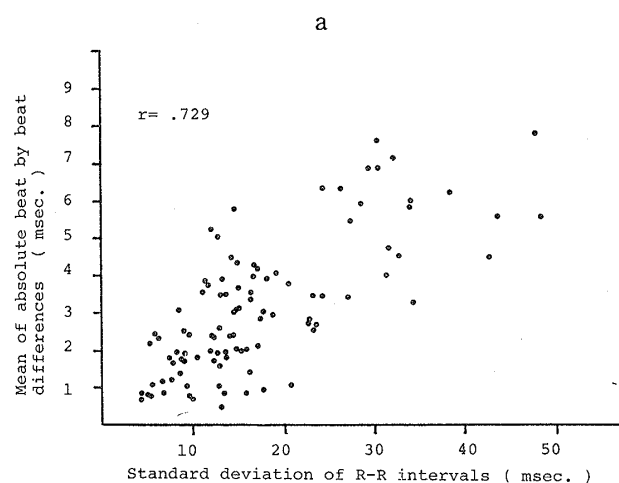


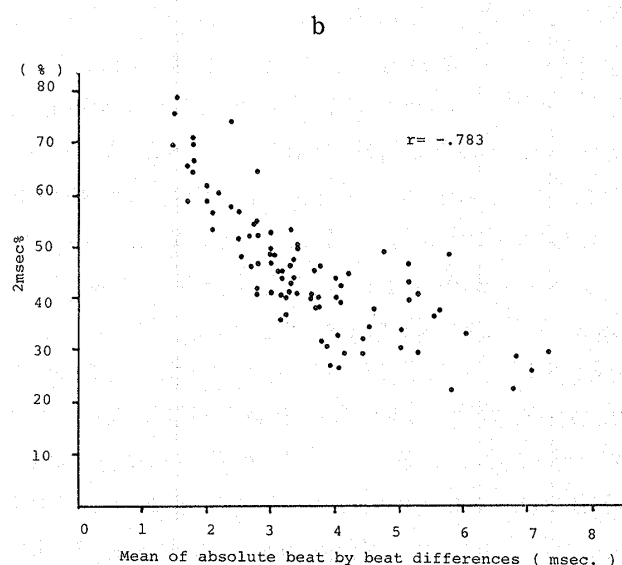
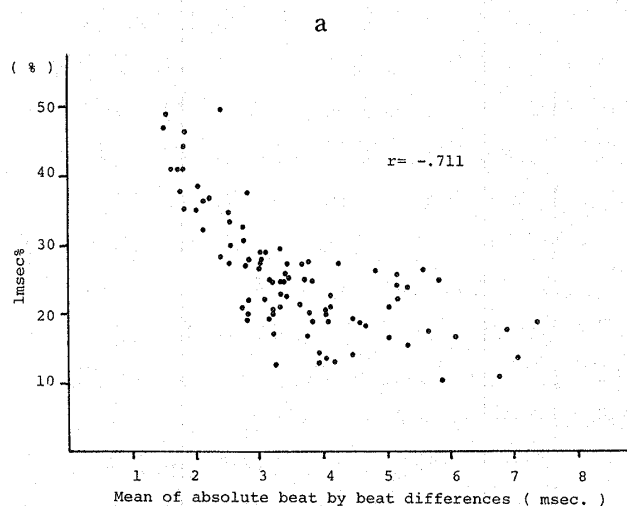
図5 Correlations between the standard deviation of R-R intervals and the mean of absolute beat by beat differences (a), the 1msec% (b) or the 2 msec% (c) from direct FECG.



定係数は1msec%で0.87, 2msec%で0.94であつた。以上により, 1msec%や2msec%によつてもSTVの評価が可能であると考えられた。

さらにLTVの指標としてもちいられているR-R間隔の標準偏差(SDRR)とMABB, 1msec%, 2msec%との関係をみてみると, SDRRとMABBでは相関係数が0.728と高い相関を示した(図5a)のに対して, SDRRと1msec%では-0.522(図5b), 2msec%では-0.604(図5c)と各々やや低い負の相関を認めた。このことから1msec%や2msec%はMABBに比し, LTVの影響を受けにくいのではないかと考えられた。

図6 Correlations between the mean of absolute beat by beat differences and the 1msec% (a) or the 2msec% (b) from abdominal FECG.



aFECGによるMABBと1msec%(図6a)および2msec%(図6b)との関係をみると, dFECGでみられた同様の負の相関を示したが相関係数は各々1msec%で0.717, 2msec%で0.783, さらに指数回帰による決定係数は1msec%で0.5, 2msec%で0.63とdFECGの場合に比しかなりばらつきが大きくみられた。このばらつきは, aFECGに含まれるエラーやノイズの影響と考えられMABBはこれらの影響を受けやすく, 一方1msec%や2msec%の値はこれらの影響によつても変動が少ないことによる為と考えられる。すなわち前者は平均値をもちいている為に, たとえ1つのエラーの混入によつてもその誤差が大きければ平均値は大きく変化するのに対し, 1msec%や2msec%では大きなエラー混入があつてもその値はエラーの大きさとは関係がない。この為aFECGによるSTVの評価法として, 1msec%や2msec%は, MABBやSDABBによる評価法に比し優れていると思われた。

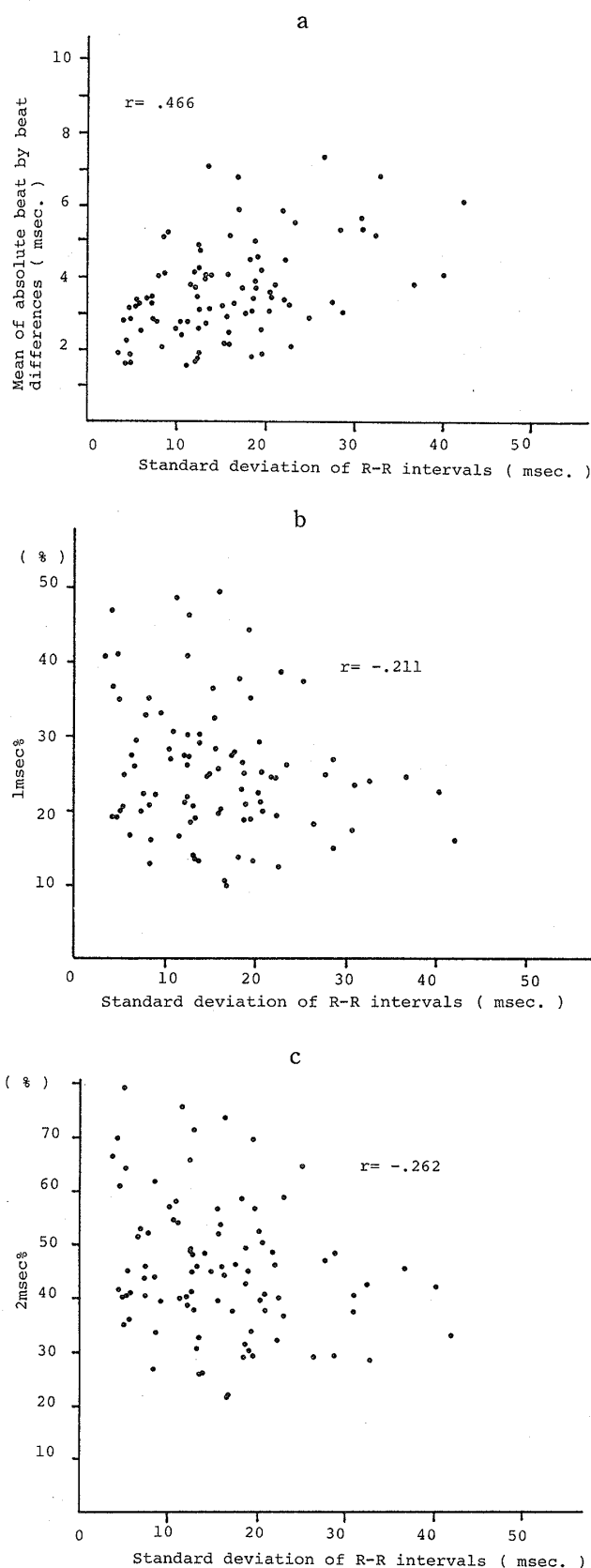
次にLTVの影響を検討してみると, SDRRとMABBにおける相関係数が0.466であるのに対して1msec%では-0.211, 2msec%では-0.262と各々相関を示さず(図7a, b, c), ここでもまた1msec%や2msec%がLTVの影響をも受けにくいことが示唆された。さらにNST施行時の胎児心拍数図上に胎動のみられるactive phaseと胎動の全くないresting phaseにおけるMABB, 1msec%および2msec%の値を比較すると, MABBではactive phaseがresting phaseに比べて有意に増加していた($p < 0.01$)のに対し, 1msec%や

表1 Variable indices of STV from abdominal FECG during fetal active phase or resting phase.

STV index	A or R	Mean	SD	N	p
1 msec%	A	24.77	8.67	71	NS
	R	28.12	9.36	19	
2 msec%	A	44.52	12.1	71	NS
	R	50.61	12.86	19	
MABB (msec.)	A	3.82	1.32	71	<0.01
	R	2.89	1.01	19	

A: active phase R: resting phase

図7 Correlations between the standard deviation of R-R intervals and the mean absolute beat by beat differences (a), 1msec% (b) or the 2msec% (c) from abdominal FECG.



2msec%は active phase において減少傾向が認められるもののその変化は推計学的有意差をもたなかった(表1)。すなわち1msec%や2msec%の計測は aFECG をもちいた STV 評価の指標として, MABB や SDABB に比し, はるかに優れていることが強く示唆された。

考 案

胎児心拍数基線細変動は大きく LTV と STV に分類され, 1 分間に 2 ~ 6 回の比較的緩やかな細変動を LTV とし, STV は細変動のうち最もはやくて周波数の高い変化で胎児心拍数図上で肉眼的にこれを認めることは困難であるとされている。STV の測定法は数多く報告されているがそのほとんどは dFECG をもちいた検討によるものである。dFECG による評価法では分娩時のみの計測しかできない為 STV の評価法は数多く報告されているにもかかわらず, その臨床的意義を明らかにしたものは見られない。STV の臨床的意義を明らかにする為には分娩前の STV 測定が必要となる。分娩前胎児の STV 測定の為には現在のところ aFECG をもちいる以外に方法がない。ところが aFECG により得られた信号は SN 比が悪く, いかにこれらのノイズを除去し, より正確な STV の評価を行いうるかが基本的な問題となる。従来報告されている aFECG をもちいた STV 評価法は dFECG と同様の評価法をもちいており, エラーやノイズ除去に各々独自の方法をもちいて検討している。Kariniemi et al.⁵⁾は R-R 間隔の極端に長いもの, 短いものをまず除去し, さらに 5 bpm 以上の ABB を除外する方法をもちいているが, STV index は Yeh et al.¹³⁾の提唱した differential index (DI) をもちいている。Wheeler et al.¹²⁾も妊娠 21 週から 41 週までの正常妊婦 59 例に対し aFECG による STV の解析をこころみているが, Kariniemi et al. と同様 R-R 間隔が 300 msec 以下または 600 msec 以上のものについてまず除外し, さらに細いノイズについては前の ABB との変動率がある一定値を越えた場合にこれを除外している。こうして得られた 256 個の ABB より得られた平均値, 標準偏差値を STV index としている。Nageotte et al.¹⁰⁾は R-R 間隔

の変動が10bpm以上のものについて除外し、Modanlou⁹⁾の方法に準じR-R間隔より求めた瞬時心拍数の差の絶対値の平均値(VQ)をSTV indexとしてもちいている。このようにエラーやノイズの除去法については我々がとつた方法もほぼ同様である。しかし、DIやABBの平均値、標準偏差値、VQはSTV indexとしてどれをもちいてもほとんど変わりのないことが明らかにされており¹⁾、aFECGのようにエラーやノイズを完全に除去することが難しい信号に対してこれらのSTV indexをもちいることは不適當であると考えられた。

ABBが1msec以下のものはどれほど存在するのかについては、従来にも報告がみられDalton et al.²⁾は羊をもちいた実験系で46%が1msec以下であつたとしている。一方、ヒト胎児においてはWheeler et al.¹²⁾は12~34%、平均で20%が1msec以下であると報告している。ところが我々の成績ではaFECGにおける1msec以下のABBの占める割合は10~47%、平均で25.5%、dFECGにおいては10~89%と広い範囲にわたつて分布し、平均で34.2%であつた。さらに2msec以下の割合はaFECGで22~79%に分布し平均で45.8%、dFECGでは20~98%平均で55.0%であつた。これら1msec%や2msec%とMABBやSDABBはdFECGにおいて高い逆相関を示していた。このことは1msec%や2msec%をSTV indexとしてもちいうことを意味しており、またこれらの値はaFECGにおいてはMABBやSDABBに比べてエラーやノイズの混入によつてもその値の変化率が小さい為にaFECGにおけるSTV indexとして優れていると考えられた。

aFECGにおけるSTV測定のもう1つの問題は、その測定時期と測定時間である。STV測定時期によつてSTV indexが大きく変化するようであれば、いつたいどの時期に測定したものをSTV indexとするのかが問題となつてくる。Wheeler et al.¹²⁾はSTV indexの1つであるSDABBは胎児のactive phaseでresting phaseに比し有意に増加し、LTV indexと考えられるSDRRもactive phaseでresting phaseに比し有

意に増加していたとしている。我々の成績においてもSDRRとMABBは、dFECGで有意の相関を示し、aFECGにおいても相関を有していた。さらに胎児心拍数図上active phaseでのMABBはresting phaseに比し有意に増加していた。このことは、これらSTV indexはLTVの影響を強く受けていると考えられ、STVの測定時期がSTV indexに大きな誤りをもたらすことも考えられた。しかしながら1msec%や2msec%におけるSDRRとの相関をみるとaFECGにおいては、各々相関せず、さらにactive phase, resting phaseにおけるこれらの値にも有意の差を認めなかつた。すなわち1msec%や2msec%におけるLTVの影響は従来のSTV indexに比して少なく、さらに胎児心拍数図上におけるactive phase, resting phaseでも変化せず、測定時期による変動の少ないことから胎児個有のSTV indexを表現することが可能となる。STVの臨床的意義が現在あいまいである理由として考えられることはdFECGによる分娩時のみのSTV評価法のみが数々開発されてはいるものの、妊娠経過中を含めたSTVの評価を行つた成績が少ない。この目的の為にaFECGによるSTVの評価にdFECGにもちいられたと同様のSTV indexを使用していることに問題があるように考えられた。

以上のように、現在我々はaFECGにおけるSTV indexとして1msec%、2msec%をもちいており、各症例の妊娠週数におけるSTV indexを算出し、これらの妊娠週数による変化や、過期妊娠、妊娠中毒症等のhigh risk pregnancyでのSTV indexの値やその週数による変化を検討している。STVは現在その臨床的意義のあいまいさから、胎児well-beingの指標としての有用性は少ないとされているがSTVの指標のとり方によつては今後再注目される可能性が考えられた。

文 献

1. 久保武士, 重充貞彦, 稲葉淳一, 赤塚孝雄: Variability (STV, LTV) index のシミュレーションデータによる比較検討. 日産婦誌, 35: 134, 1983.
2. Dalton, K.J., Dawes, G.S. and Patrick, J.E.: Diurnal, respiratory, and fetal heart rate in

- lambs. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 127 : 414, 1977.
3. *Freeman, R.K., Anderson, G. and Dorchester, W.* : A prospective multi-institutional study of antepartum fetal heart rate monitoring. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 143 : 771, 1982.
 4. *Hammacher, K.* : Discussion in prophylaxe fruhkindlicher hirnschaden. edited by R. Elert, K.A. Juter., Stuttgart, George Thieme Verlag, 1966.
 5. *Kariniemi, V., Katila, T. and Ämmälä, P.* : On-line quantification of fetal heart rate variability. *J. Perinat. Med.*, 8 : 213, 1980.
 6. *Lauersen, N.H., Wilson, K.H., Bilek, A., San Jeeva Pao, V. and Kurkulos, M.* : A new modality in nonstress testing: Evaluation of beat-to-beat fetal heart rate variability. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 141 : 521, 1981.
 7. *Lauersen, N.H., Kurkulos, B., Graves, Z.R. and Lewin, K.* : Reliability of antenatal testing: Estriol levels versus nonstress testing. *Obstet. Gynecol.*, 62 : 11, 1983.
 8. *Lee, C.Y., DiLoreta, P.C. and O'Lane, J.M.* :
A study of fetal heart rate acceleration patients. *Obstet. Gynecol.*, 45 : 142, 1975.
 9. *Modanlou, H.D.* : Biophysical neonatal monitoring: Neonatal heart rate. *Perinatol. Neonatol.*, 2 : 13, 1978.
 10. *Nageotte, M.P., Freeman, R.K., Freeman, A.G. and Dorchester, W.* : Short-term variability assessment from abdominal electrocardiogram during the antepartum period. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 145 : 566, 1983.
 11. *Rochard, F., Schiffrin, B.S., Goupil, F., Legrand, H., Blottiere, J. and Surean, C.* : Nonstressed fetal heart rate monitoring in the antepartum period. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 126 : 699, 1976.
 12. *Wheeler, T., Cooke, E. and Murrills, A.* : Computer analysis of fetal heart rate variation during normal pregnancy. *Br. J. Obstet. Gynaecol.*, 86 : 186, 1979.
 13. *Yeh, S., Forsythe, A. and Hon, E.H.* : Quantification of fetal heart beat-to-beat interval differences. *Obstet. Gynecol.*, 41 : 355, 1973.

(No. 5475 昭59・4・24受付)