

胎児心拍信号の等間隔 Sampling 法と Interval Measurement 法の比較

香川医科大学母子科学

原 量 宏, 柳 原 敏 宏
神 保 利 春

はじめに

胎児心拍数細変動の分析にあたって、Computerの利用は不可欠であるが、この場合常に問題となるのがA/D変換の方式である。心拍信号をDigital信号に変換する方法として等間隔のSampling rateでA/D変換するSampling法と心拍信号(R波)の発生するたびに、その時間間隔をDigital信号に変換するInterval measurementが代表的である。

前者には通常のA/D変換器を利用できるが、後者には心拍一拍ごとに信号を発生する特殊なA/D変換器(Interval Counter)を必要とする。心拍細変動が一拍ごとの変化により生ずるという事実から細変動の分析は後者によるものが多い。一方Computer Systemには前者の方が使いやすいとされており、この点に関して未だ統一された見解は得られていない。本研究の目的は、両方式を種々の観点から比較し、両者の特徴および問題点を明らかにすることにある。

2. A/D変換の方式

1) Sampling 法

この方法はA/D変換の方法としては最も標準的な方式で、信号波形の変化を電圧の変動として一定のsampling rateでA/D変換する方法である。図1は分娩監視装置の心拍数の出力端子電圧の変動をみたものである。瞬時心拍数の値は次の心拍が発生するまでホールドされるため一連の階段波としてとらえられる。

胎児心拍数は通常最高200bpmを越えることは少ないので、sampling rateは一秒間に4回(240/分)とすれば心拍数の情報は失われることはないといえる。逆に4/sec以下のsampling rateでは心拍数の情報が失われ、細変動

の分析には適さないともいえよう。心拍数の分解能についてはA/D変換のbit数に依存するが、8bit(256)では約一拍の精度となる。Bit数を増すほど分解能は向上するが、最終的には分娩監視装置の精度に規定される。

Sampling法の問題点はsampling rateが一定であることから生じてくる。Sampling rateが4/secとは一分に240回のsamplingを行うわけであるが、胎児心拍数が120 bpmの場合には120、120と2回、80bpmの場合80、80、80と3回、60bpmの場合には4回A/D変換することになる。すなわち心拍数の大小によりsampling回数変動すること、および隣接する二組相互の関係が失われる事になる。

2) Beat to beat法(interval measurement)

すでに述べた様に心拍動(R波)の発生するつど心拍周期(beat to beat interval)をDigital信号に変換する方法である。一拍ごとにA/D変換するためSampling法の様に隣接データの相互関係が失われることはないが、特殊かつ精密なInterval Counterを必要とする。以上二種類の方法が実際に用いられているわけであるが、いずれの方法が実際の臨床で使いやすいのであろうか。以下両方式について信号の入出力時、雑音、誤動作時、心拍パターンの分析、心拍数のHistogram、分析、LTV、STVの分析、フーリエ解析、データの記録等種々の観点から比較してみた。

3. 両方式の比較

1) 信号入力時

Sampling法では通常のA/D変換器を利用できるが、Beat to beat法では特別に設計し

た Counter を必要とする。複数の分婭監視装置からの入力信号を同時に扱う場合 Sampling 法では Multiplexer を用いるのみでよいが、Beat to beat 法では複数の Counter を必要とする。また Computer は常に Counter からのパルスを待機する形となり多チャンネル化しにくい。

2) 信号出力時

一般の Recorder は紙送り速度が一定であることが多い。Sampling 法では等間隔で心拍数情報が記録されているため、紙送り速度を一定 (3 cm/min) としても、Original Curve に近い記録が出力される (実際にはややことなつた階段波として表示される)。

一方 Beat to beat 法では紙送り速度を一定とした場合心拍周期の長短により、時間軸の縮尺が異なってしまう。心拍周期に応じて時間軸の速度を変化させれば Original Curve と同等のものが得られるが、時間軸速度を変化させることは Plotter や Graphic display を用いる場合には容易であるが、分婭監視装置の Recorder を利用する場合困難である。図 2 の上は beat to beat 法、下は sampling 法による心拍波形であるが、プロッターにより時間軸の移動速度を変れば、両者とも全く同様なカーブを得ることができる。ただし Beat to beat 法の問題点はノイズである。この場合は時間軸が不正確になりノイズのあとに時間のずれが生じてしまう。

3) 心拍パターンの分析

心拍パターンを定量的に分析しようとする場合、通常 Deceleration, Acceleration の高さ、持続時間、面積等を計測することが多いが、この場合 Sampling 法では時間軸が一定であるため、演算が容易である。Beat to beat 法では時間軸の補正が必要となる。

4) 心拍数 (周期) の Histogram 表示

心拍パターンの分析を行う場合、しばしば心拍数 (周期) の Histogram を演算する必要がある。Beat to beat 法を用いた場合には得られた心拍数 (周期) の頻度をそのまま用いることができる。いっぽう Sampling 法の場合には、すでにのべた様に、心拍数 120 bpm の場合には 2 倍、60 bpm では 4 倍の頻度となってしまう。この点が Sampling 法の弱点とも考えられる。ただしこ

の点は得られた頻度を、心拍数 120 bpm の場合は 2 で、80 bpm の場合は 3 で、60 bpm の場合には 4 で割ることにより統計的に補正することが可能である (図 3)。

心拍数基線の測定、すなわち心拍数の平均値を求める場合にも同様の問題が生じるが、以上の方法で補正することができる。

5) LTV の分析

LTV の振幅を計算する場合には Beat to beat 法の方が容易で、Sampling 法では一度頻度を補正した後に、計算しなくてはならない。しかし LTV に関しては、振幅に平行して LTV の変動周期を分析する必要がある。この場合 Sampling 法では時間軸が一定であるため周期の演算は容易である。Beat to beat 法では瞬時心拍の周期に応じて時間軸を補正する必要があり LTV 周期の演算はかなり煩雑となる。

6) STV の分析

STV の分析、演算にあたっては、隣接する心拍数 (周期) の差を用いることが多い。Beat to beat 法では隣接データの差をそのまま用いればよいので演算は容易である。Sampling 法では、同一心拍数が繰り返されるため、隣接心拍数差の計算が一見困難の様に思われる。心拍数が 120, 118 bpm と変化した場合 (隣接心拍数差は 2)、Sampling 法では 120, 120, 118, 118 と A/D 変換されることになる。隣接心拍数差を計算すると、0, 2, 0 となり、差の絶対値の和は 2 となり、演算結果は Beat to beat 法と同一になる (図 4)。

ただし ΔF の Histogram を演算する場合はこの $\Delta F = 0$ の頻度が実際以上の値となってしまうが 4) でも用いた手法で頻度の補正を行うことができる (図 5)。

7) De Haan の Vector Method

De Haan により報告された、Vector Method は隣接心拍周期の二組のデータをベクトルとし、偏角の変動を STV、ベクトル長の変動を LTV として用いるものとしてよく知られている。本法では原理的に隣接する一組の心拍周期データを必要とするため、Beat to beat 法しか用いることができない。この点が Sampling 法の唯一の弱点ともいえるが、逆に Vector Method

の弱点ともいえよう。ただしすでに我々が報告したように、Vector Method と他の Variability 表示法との相関は非常に高いので、研究目的以外に Vector Method を使う機会は少ない。

8) Spectral Analysis (フーリエ解析)

Variability の分析、とくに LTV の分析法の一手段として Spectral analysis を用いることがある。本法は LTV の振幅のみでなく、周期まで同時に分析できるために非常に優れた解析法である。本法では原理的に時間軸が常に基本となるため Sampling 法が使いやすい。Beat to beat 法を用いた場合には、事前に時間軸を補正を高速に行う必要があり、ソフト的にも煩雑となる。

9) 雑音、誤動作の場合の時間軸の精度に関して

生体信号を扱う場合、誤動作はつきものである。Sampling 法では誤動作が生じて、等間隔 Sampling であるため時間軸に関して誤差は生じないが、Beat to beat 法では検出値そのもの

に時間軸が依存しているため、大幅な誤差が生じてしまう。このことはいったん Disc に記録したデータから、心拍パターンを再現する場合非常に困難を伴うことになる。また長時間の記録では、一拍ごとの誤差が加算され、時間軸に誤差が生じてくることになる。

以上を総合してみると以下のようにまとめられる。

- (1) Sampling 法は通常の A/D 変換器が使える、ソフト的にも使いやすい。
- (2) LTV, STV に関しては何れの方式でも演算可能である。
- (3) 複数の分岐監視装置からのデータを扱う場合には Sampling 法が優れている。
- (4) 心拍パターンを Recorder 等で再現する場合、Sampling 法が容易である。
- (5) 雑音、誤動作時に対しては Beat to beat 法は利用しにくく、Sampling 法が有利
- (6) De Haan の Vector 表示には Beat to beat 法が必要である。

Comparison of equinterval Sampling Method and Interval Measurement Method

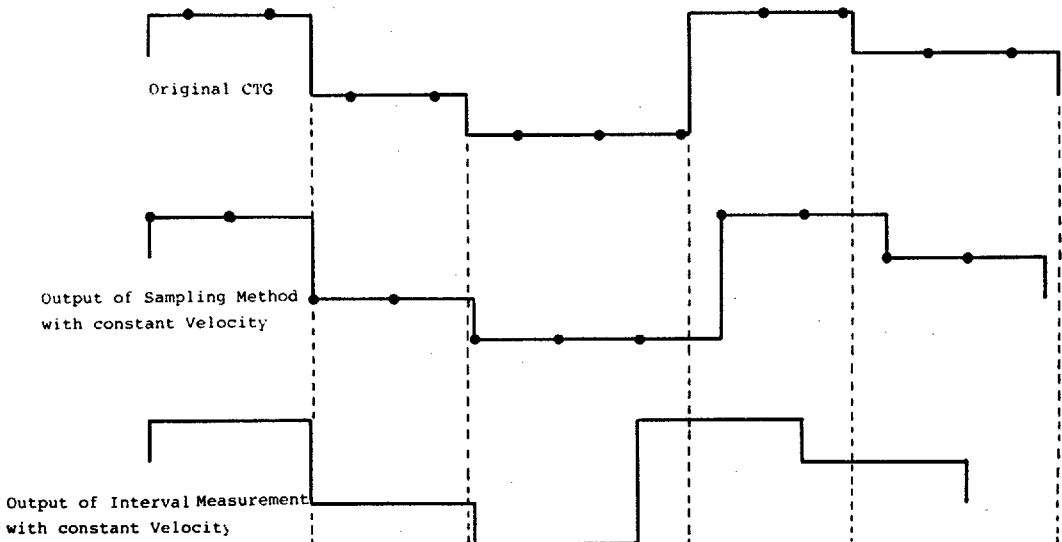


図1 上段は原波形、等速度で記録計を作動させた場合、等間隔 Sampling 法(中段)ではほぼ原波形と同じ波形が得られるが、Interval法では時間軸に誤差が生じる。

Comparison of Interval Measurement and Sampling Method with Plotter

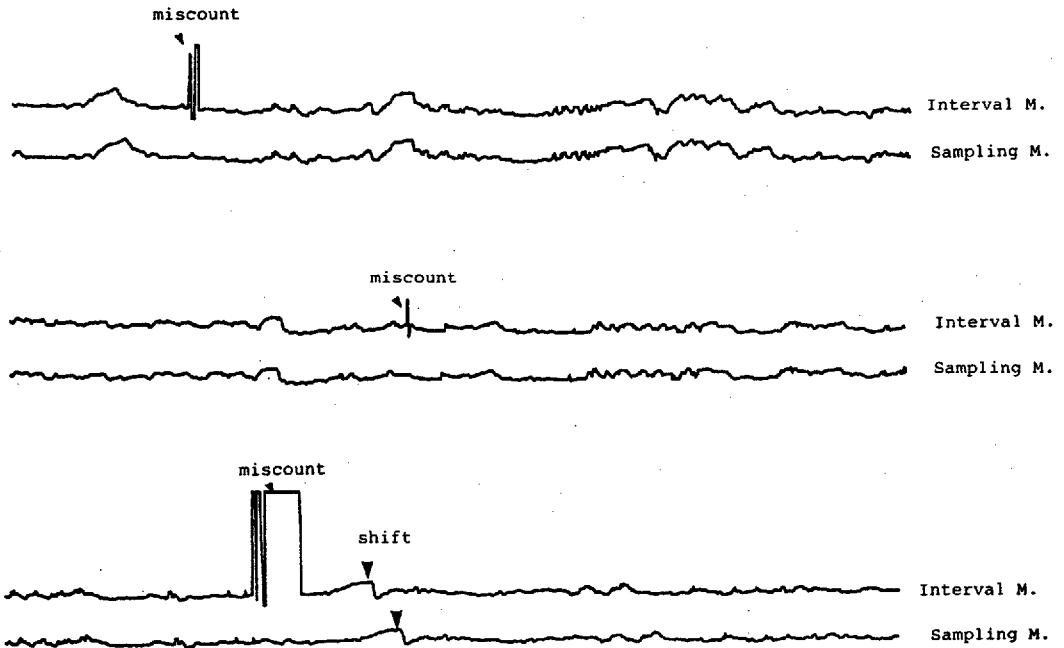


図2 Interval法の場合、ノイズによる誤動作で、時間軸に誤差が生じやすい

Correction of Histogram (FHR)

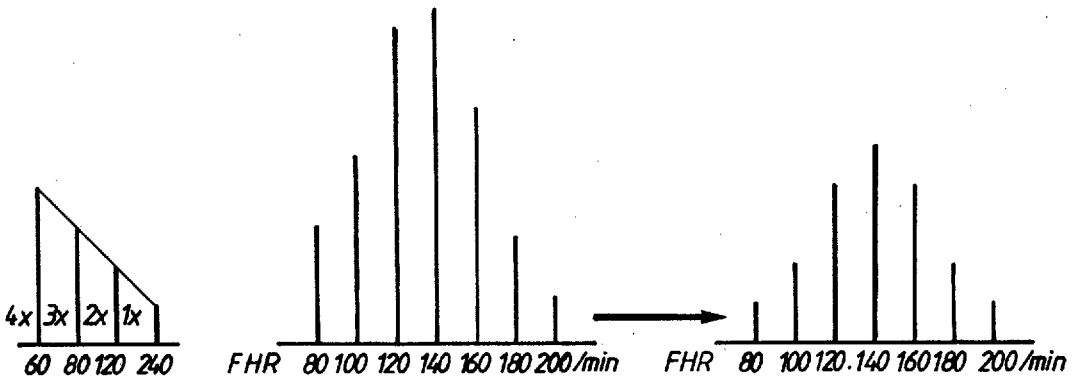


図3 等間隔 Sampling 法ではHistogramを補正する必要がある

SAMPLING OF FHR

STV

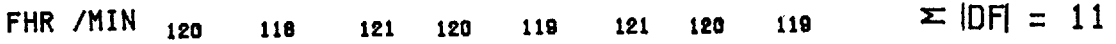
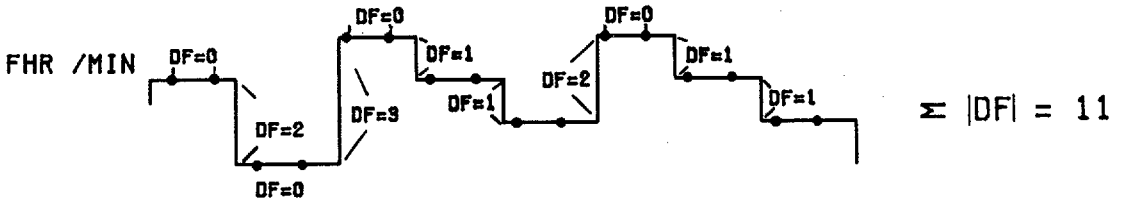


図4 Sampling 法でも STV の演算は可能である

Correction of Histogram (delta-FHR)

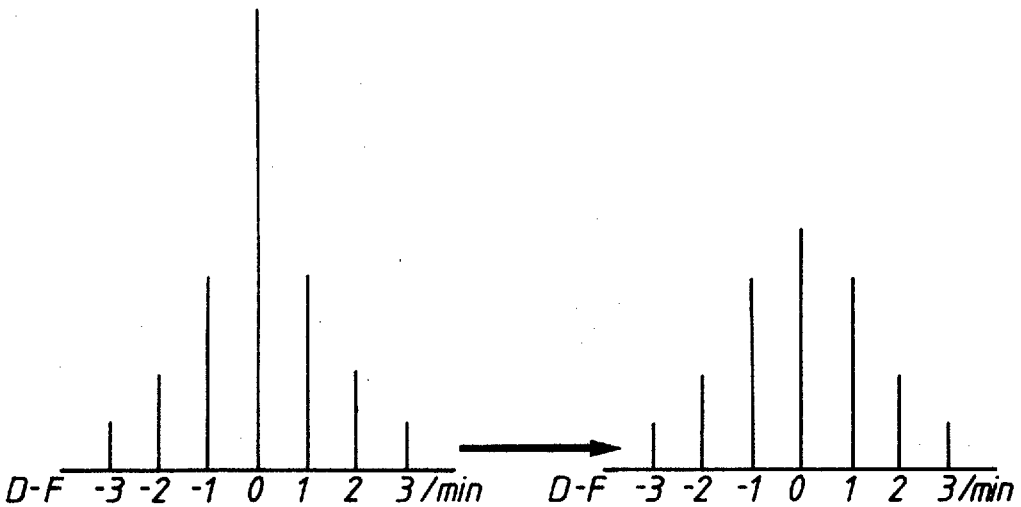


図5 Sampling 法では $\Delta F = 0$ の頻度を補正する必要がある



検索用テキスト OCR(光学的文字認識)ソフト使用

論文の一部ですが、認識率の関係で誤字が含まれる場合があります



はじめに

胎児心拍数細変動の分析にあたって、Computer の利用は不可欠であるが、この場合常に問題となるのが A/D 変換の方式である。心拍信号を Digital 信号に変換する方法として等間隔の Sampling rate で A/D 変換する Sampling 法と心拍信号(R 波)の発生するたびに、その時間間隔を Digital 信号に変換する Interval measurement が代表的である。前者には通常の A/D 変換器を利用できるが、後者には心拍一拍ごとに信号を発生する特殊な A/D 変換器 (Interval Counter)を必要とする。心拍細変動が一拍ごとの変化により生ずるという事実から細変動の分析は後者によるものが多い。一方 Computer System には前者の方が使いやすいとされており、この点に関して未だ統一された見解は得られていない。本研究の目的は、両方式を種々の観点から比較し、両者の特徴および問題点を明らかにすることにある。