

ANÁLISE AUTOMÁTICA DE SINAIS CARDIOTOCOGRÁFICOS*

J.P. MARQUES DE SÁ, A.C. MOURA, J. BERNARDES, L. PEREIRA LEITE

Faculdade de Engenharia e Faculdade de Medicina. Universidade do Porto. Porto.

RESUMO

Os sinais cardiotocográficos, usados como meio de diagnóstico perinatal, compreendem os batimentos cardíacos fetais (FHR), as contracções uterinas (UC) e os movimentos fetais (FM). A inspecção visual destes três sinais é limitada, subjectiva, fastidiosa e com baixa reprodutibilidade. O presente trabalho ilustra uma aplicação das técnicas de processamento de sinal, na análise automática dos sinais cardiotocográficos, permitindo superar as insuficiências da inspecção visual. No sistema Porto de análise automática de cardiogramas, os sinais são adquiridos de um cardiocógrafa convencional e armazenados e analisados por um computador pessoal. O *software* do sistema permite ao utilizador desencadear várias operações tais como aquisição de sinais, armazenamento ou leitura de sinais em ficheiros, análise e *display* de sinais. A análise de sinais, precedida de várias operações de condicionamento (filtragens, remoção de *spikes*, etc.), permite estimar vários parâmetros com valor diagnóstico: linha base do FHR; acelerações e desacelerações do FHR; classificação de desacelerações; contracções uterinas; variabilidade do FHR a curto e a longo prazo. O protótipo do sistema, em funcionamento de rotina no Serviço de Obstetrícia do Hospital de S. João, está a ser avaliado num largo conjunto de casos. Uma avaliação preliminar efectuada por 3 peritos em 50 casos, revelou uma concordância com as medidas do computador de 98% para a linha base, 72% a 82% para as acelerações e desacelerações e 76% para as contracções uterinas.

SUMMARY

Automated analysis of cardiotocographic signals

Cardiotocographic signals, used as a perinatal diagnostic tool, comprise fetal heart beat signals (FHR), uterine contractions (UC) and fetal movements (FM). Visual inspection of these three signals is limited, subjective, time consuming and with low reproducibility. The present paper illustrates an application of signal processing techniques to the automatic analysis of cardiotocographic signals, allowing to overcome visual inspection limitations. Porto system of cardiotocograms automatic analysis acquires the signals from a conventional cardiotocograph. The signals are stored and processed by a personal computer. System software allows the user to perform several operations such as signal acquisition, signal storage and retrieval from files, signal analysis and display. Signal analysis is preceded by various signal conditioning operations (filtering, spike removal, etc.) and consists in the estimation of several parameters with diagnostic value: FHR baseline; FHR accelerations and decelerations; uterine contractions; long and short term FHR variability. The system prototype is working on a routine basis at the Obstetrics Department of S. João Hospital (main Oporto Hospital) and is being evaluated using a large data set. A preliminary evaluation performed by 3 experts on a 50 cases set, yielded an agreement rate with computer measurements of 98% for the baseline, 72% to 82% for accelerations and decelerations and 76% for the uterine contractions.

INTRODUÇÃO

Os sinais cardiotocográficos (CTG) são um importante meio de diagnóstico na vigilância perinatal, permitindo ajuizar do bem estar fetal. O CTG compreende os batimentos cardíacos fetais (FHR) medidos em batimentos/minuto, as contracções uterinas (UC) medidas em mm Hg e os movimentos fetais (FM: presença/ausência). Por forma a superar as desvantagens óbvias da inspecção visual do CTG¹, iniciou-se em 1987 um trabalho de cooperação entre o Serviço de Obstetrícia da Faculdade de Medicina do Porto e o Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia do Porto, com vista a desenvolver um sistema original de aquisição, processamento e análise automática do CTG. Nenhum sistema semelhante existia nessa época^{2,3}.

No que se segue iremos descrever este *sistema Porto* de análise automática de cardiogramas, prestando especial atenção aos aspectos de processamento de sinal, constituindo assim uma boa ilustração dos tipos de técnicas e benefícios que delas se colhem numa aplicação concreta de processamento de sinais fisiológicos. O sistema é baseado num computador pessoal, o que facilita a divulgação desta solução tecnológica de baixo custo.

HARDWARE DO SISTEMA

O *hardware* do sistema consiste num monitor fetal convencional ligado a um computador pessoal por meio de uma placa paralela de aquisição de sinais e de um adaptador com acoplamento óptico de sinais, desenvolvido na Faculdade de Engenharia do Porto. A aquisição de sinais CTG de monitores fetais com saída série, em vez de paralelo, é uma possibilidade que está ser desenvolvida.

* Trabalho apoiado pela JNICT (contrato 87.160/MIC) e pelo projecto do COMAC-BME da CEE *New Methods for Perinatal Surveillance*.

Comunicação apresentada no III Encontro Nacional de Investigação em Saúde, Faculdade de Medicina de Lisboa, 8 a 11 de Maio de 1991.

Recebido para publicação: 8 de Maio de 1991

Os sinais FHR e UC são digitalizados com uma quantificação de 8 bits. O sinal FM é quantificado num bit (existe/não existe). O CTG é recolhido em segmentos de 20 minutos e armazenado em suporte magnético. Com a recolla sucessiva de segmentos de 20 minutos podem assim obter-se longos traçados permitindo uma monitorização arbitrariamente longa (sujeita apenas aos limites físicos do espaço em disco) das grávidas.

SOFTWARE DO SISTEMA

O *software* do sistema permite ao utilizador desencadear várias operações tais como aquisição de sinais, armazenamento ou leitura de sinais de ficheiros, análise e *display* de sinais. O utilizador pode especificar uma sequência de comandos de acordo com regras sintácticas apropriadas, podendo o sistema *correr* de um modo praticamente autónomo, sem necessitar da atenção do utilizador ou de um modo mais interactivo, em que o utilizador vai especificando passo a passo a operação a efectuar. As regras sintácticas utilizadas na operação do sistema são simples e proporcionam um ambiente fácil e confortável de interacção com o computador.

Para cada grávida e para cada gravidez é criado um ficheiro de exame individual, contendo os segmentos de CTG e um cabeçalho com várias informações de interesse, como por exemplo o período de gestação. Estes ficheiros podem também ser acedidos por um sistema de gestão de base de dados que desenvolvemos.

A análise de sinais, em cada segmento de vinte minutos, compreende as seguintes fases típicas das aplicações biomédicas dos sistemas de processamento de sinal:

1. PRÉ-PROCESSAMENTO

Também denominada fase de condicionamento de sinal, tem como objectivo preparar os sinais por forma a possibilitar ou facilitar a extracção das suas características. No caso presente são efectuadas as seguintes operações:

a) Remoção de *spikes* e suavização do FHR

Conforme se mostra na Figura 1 o sinal FHR sofre duas *correções*.

Numa primeira fase são detectados os *spikes* correspondentes a zonas de descontinuidade do sinal. Para tal são aplicados critérios que permitem classificar uma região do sinal como estável ou não: uma região estável, elemental, do FHR, corresponde a uma sequência de 5 valores consecutivos com diferenças absolutas não superiores a 10 batimentos por minuto.

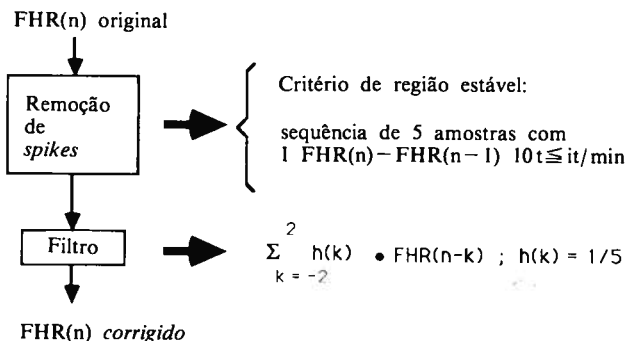


Fig. 1 — Condicionamento do sinal FHR: remoção de *spikes* seguida de suavização por média aritmética de 5 amostras. FHR (n) é o valor no instante n do sinal FHR.

As zonas não estáveis, correspondentes aos *spikes*, são marcadas e não contribuem para o processamento subsequente (tudo se passa como se fossem removidas).

Numa segunda fase, o sinal FHR é suavizado, através da filtragem de componentes de alta frequência. Tal filtragem é obtida substituindo cada valor discreto, amostra do FHR, pela média das 5 amostras que a rodeiam. A escolha deste processo aritmético de filtragem baseia-se em considerações do espectro dos sinais.

b) Suavização de UC

Semelhante à filtragem do FHR, utilizando uma média pesada de 9 amostras. A determinação dos pesos — projecto do filtro —, tal como anteriormente, obedeceu a considerações especiais do espectro do sinal UC.

2. PROCESSAMENTO

Corresponde à fase de extracção de características. No caso presente são extraídas as seguintes características: linha base do FHR; acelerações e desacelerações do FHR; classificação de pontos singulares dos sinais (máximos e mínimos, cruzamentos por determinados limiares de referência, etc.) e na obtenção de certos descritores estatísticos, e.g. histogramas.

Os algoritmos de processamento baseiam-se na determinação de pontos singulares dos sinais (máximos e mínimos, cruzamentos por determinados limiares de referência, etc.) e na obtenção de certos descritores estatísticos, e.g. histogramas.

a) Detecção de contrações uterinas

É efectuada por um algoritmo de detecção de picos e *cruzamentos por valor de referência*, que aplica o seguinte critério: amplitude do sinal UC maior que 15 mm de Hg, durante um intervalo de tempo de 45 a 90 segundos.

b) Estimação de linha base

O valor basal do FHR é um parâmetro de grande importância clínica. É contudo de definição algo controversa, revelando-se uma apreciável variabilidade interobservador na sua estimação visual. No sistema Porto a linha base é estimada a partir do máximo do histograma do FHR, já que, em princípio, a linha base corresponde ao valor mais frequente dos batimentos cardíacos fetais na ausência de contrações uterinas e de movimentos fetais.

A realização de um número elevado de ensaios (cerca de 300 traçados), abrangendo situações distintas de traçados normais, fortemente acelerativos e desacelerativos, ensaios esses em que se inspecionaram os respectivos histogramas do FHR, levou a ajustar a estimativa da linha base através da consideração de picos alternativos do histograma do FHR que satisfizessem certos critérios empiricamente determinados.

c) Acelerações e desacelerações do FHR

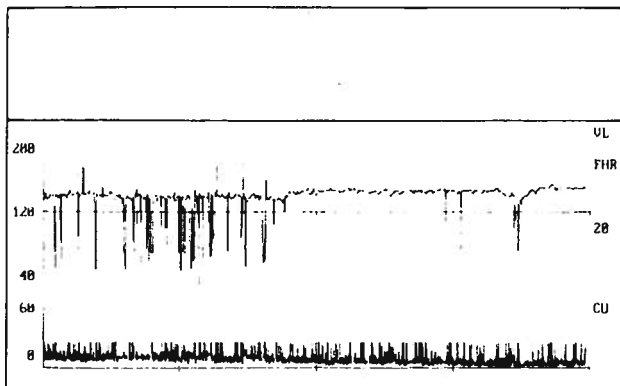
São estimadas tendo em conta os afastamentos relativos à linha base, de acordo com o seguinte critério: desvio da linha base de pelo menos 15 batimentos por minuto, durante pelo menos 15 segundos.

d) Variabilidade a longo e curto prazo

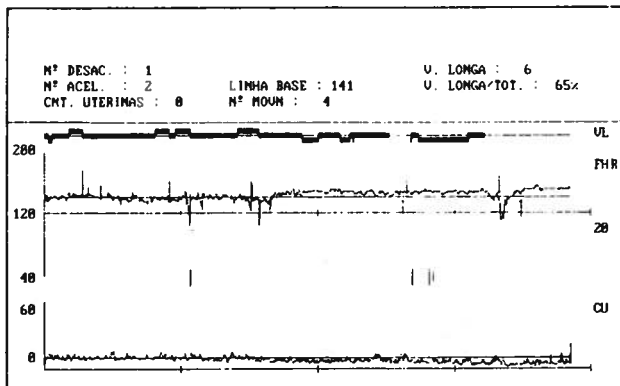
São estimadas a partir das diferenças correntes em valor absoluto entre o valor máximo e mínimo do FHR, respectivamente em intervalos de meio minuto e de dois segundos.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

A Figura 2 mostra um cardiocotograma antes e depois de processado. Os benefícios do processamento de sinal são evidentes: O FHR e o UC depois de processados aparecem praticamente *limpos* de ruídos e *spikes* permitindo uma estimação fiável de parâmetros. No cardiocotograma proces-



a)



b)

Fig. 2 — CTG antes - a) - e depois - b) - de processado. Os traços verticais entre FHR e UC são os movimentos fetais. Notar em b) a suavização de sinais e a remoção de *spikes*.

sado, de que se pode obter cópia em papel (constituindo o respectivo relatório do sistema), são publicados os valores dos vários parâmetros de interesse clínico. A variabilidade curta ou longa é indicada no ecrã a cores: verde (barra central) — normal; amarelo (barra superior) — acima dos valores normais; vermelho (barra inferior) — abaixo dos valores normais e correspondendo a uma situação de grave risco do feto.

O protótipo do sistema está instalado há mais de um ano no Serviço de Obstetria do Hospital de S. João⁵ tendo já contribuído para uma recolha, análise e registos automáticos de um vasto conjunto (mais de 500) de traçados cardioto-cográficos extensos. Deste ponto de vista, processamento e arquivo eficaz de um grande volume de dados, o sistema trouxe benefícios evidentes ao Serviço de Obstetria. Também são já inegáveis os benefícios derivados da obtenção de estimativas objectivas, quantificadas, dos vários parâmetros do CTG, tendo o sistema grangeado o interesse da respectiva equipa médica e constituído um apoio efectivo à decisão médica em determinadas situações.

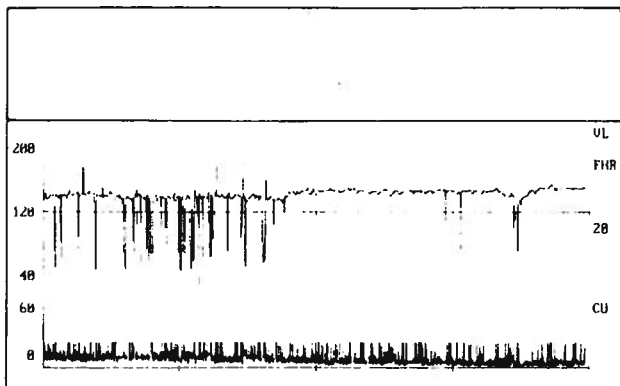
Neste momento realiza-se um vasto estudo de validação do sistema e da própria técnica cardioto-cográfica como meio de diagnóstico, estudo esse que se enquadra na participação da equipa portuguesa no projecto COMAC-BME da CEE intitulado *New Methods for Perinatal Surveillance*. Quer a avaliação preliminar, referida no resumo, quer a apreciação de outras equipas estrangeiras, nomeadamente da Holanda, quanto à acuidade das medidas e às potencialidades do sistema são muito encorajadoras.

BIBLIOGRAFIA

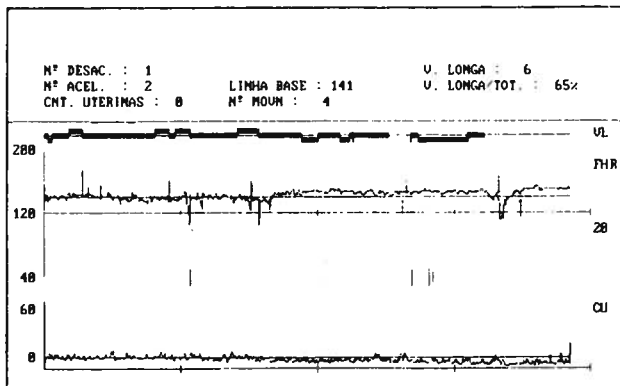
1. F. LOTGERING, H. WALLENBURG, H. SCHOUTEN: Interobserver and Intraobserver Variation in the Assessment of Antepartum Cardioto-cograms, *Am J Obstet Gynecol* 1982; 144: 701-5.
2. J.R. SEARLE, I.D. DEVOE, I.D., M.C. PHILIPS, N.S. SEARLE: Computerized Analysis of Resting Fetal Heart Rate Tracings, *Am J Obstet Gynecol* 1988; 71: 407-11.
3. J. BERNARDES, C. MOURA, J.P. MARQUES DE SÁ, I. PEREIRA LEITE: The Porto System for Automated Cardioto-cographic Signals Analysis, to be published in the COMAC-BME New Methods for Perinatal Surveillance Report n. H.1.1/7, 1990.
4. M. KLAVAN, A. LAVER, M.A. BOSCOLO, M.A.: Clinical Concepts of Fetal Heart Rate Monitoring, Hewlett Packard, Massachusetts, 1977.
5. J.P. MARQUES DE SÁ, A.C. MOURA, J. BERNARDES, I. PEREIRA LEITE: Automatic Analysis of Cardioto-cographic Signals with a Personal Computer, in Proceedings of the 1st European Conference on Biomedical Engineering, ed. U. Faust, Commission of the European Communities 1991; 247-248.

Pedido de Separatas:

J.P. Marques de Sá
Departamento de Engenharia e Electrónica
Faculdade de Engenharia
Rua dos Bragas
4099 Porto Codex



a)



b)

Fig. 2 — CTG antes - a) - e depois - b) - de processado. Os traços verticais entre FHR e UC são os movimentos fetais. Notar em b) a suavização de sinais e a remoção de *spikes*.

sado, de que se pode obter cópia em papel (constituindo o respectivo relatório do sistema), são publicados os valores dos vários parâmetros de interesse clínico. A variabilidade curta ou longa é indicada no ecrã a cores: verde (barra central) — normal; amarelo (barra superior) — acima dos valores normais; vermelho (barra inferior) — abaixo dos valores normais e correspondendo a uma situação de grave risco do feto.

O protótipo do sistema está instalado há mais de um ano no Serviço de Obstetria do Hospital de S. João⁵ tendo já contribuído para uma recolha, análise e registos automáticos de um vasto conjunto (mais de 500) de traçados cardiocardiográficos extensos. Deste ponto de vista, processamento e arquivo eficaz de um grande volume de dados, o sistema trouxe benefícios evidentes ao Serviço de Obstetria. Também são já inegáveis os benefícios derivados da obtenção de estimativas objectivas, quantificadas, dos vários parâmetros do CTG, tendo o sistema grangeado o interesse da respectiva equipa médica e constituído um apoio efectivo à decisão médica em determinadas situações.

Neste momento realiza-se um vasto estudo de validação do sistema e da própria técnica cardiocardiográfica como meio de diagnóstico, estudo esse que se enquadra na participação da equipa portuguesa no projecto COMAC-BME da CEE intitulado *New Methods for Perinatal Surveillance*. Quer a avaliação preliminar, referida no resumo, quer a apreciação de outras equipas estrangeiras, nomeadamente da Holanda, quanto à acuidade das medidas e às potencialidades do sistema são muito encorajadoras.

BIBLIOGRAFIA

1. F. LOTGERING, H. WALLENBURG, H. SCHOUTEN: Interobserver and Intraobserver Variation in the Assessment of Antepartum Cardiotocograms, *Am J Obstet Gynecol* 1982; 144: 701-5.
2. J.R. SEARLE, I.D. DEVOE, I.D., M.C. PHILIPS, N.S. SEARLE: Computerized Analysis of Resting Fetal Heart Rate Tracings, *Am J Obstet Gynecol* 1988; 71: 407-11.
3. J. BERNARDES, C. MOURA, J.P. MARQUES DE SÁ, I. PEREIRA LEITE: The Porto System for Automated Cardiotocographic Signals Analysis, to be published in the COMAC-BME New Methods for Perinatal Surveillance Report n. II.1.1/7, 1990.
4. M. KLAVAN, A. LAVER, M.A. BOSCOLO, M.A.: Clinical Concepts of Fetal Heart Rate Monitoring, Hewlett Packard, Massachusetts, 1977.
5. J.P. MARQUES DE SÁ, A.C. MOURA, J. BERNARDES, I. PEREIRA LEITE: Automatic Analysis of Cardiotocographic Signals with a Personal Computer, in Proceedings of the 1st European Conference on Biomedical Engineering, ed. U. Faust, Commission of the European Communities 1991; 247-248.

Pedido de Separatas:

J.P. Marques de Sá
Departamento de Engenharia e Electrónica
Faculdade de Engenharia
Rua dos Bragas
4099 Porto Codex