

SISTEMA PARA PROCESSAMENTO DA PRESSÃO INTRACRANIANA

G. M. da Silva^{1*}, M. B. C. Santos^{2**} and A. O. Andrade^{3*}

* Faculdade de Engenharia Elétrica - UFU, Uberlândia, Brasil

** Hospital de Clínicas de Uberlândia - UFU, Uberlândia, Brasil

email: gustavomoreiras@ymail.com

Resumo: Atualmente, o tratamento mais adequado da hipertensão intracraniana requer monitorização contínua da Pressão Intracraniana (PIC) e Pressão Arterial Média (PAM). Este trabalho apresenta um programa de computador que exhibe ao clínico informações sobre a curva da PIC e sobre a perfusão cerebral. O sistema realiza um processamento digital do sinal da PIC que não é encontrado nos monitores multiparamétricos geralmente utilizados na monitorização intracraniana.

Palavras-Chave: Hipertensão Intracraniana, Pressão Perfusão Cerebral, Pressão Intracraniana, Processamento de Sinais Biomédicos.

Abstract: *Currently, the best treatment for intracranial hypertension requires continuous monitoring of intracranial pressure (ICP) and Mean Arterial Pressure (MAP). This paper presents a computer program that displays the ICP waveform and the cerebral perfusion to the clinician. The system performs digital signal processing which is not found in the multiparameter monitors commonly used in intracranial monitoring.*

Keywords: Intracranial Hypertension, Cerebral Perfusion, Intracranial Pressure, Biomedical Signal Processing.

Introdução

A alta complexidade funcional das estruturas cerebrais resulta em um alto custo no suprimento de sangue pelo sistema circulatório, visto que o cérebro com apenas 1,5 kg recebe cerca de 15% do débito cardíaco.

O cérebro está localizado no interior do crânio, que divide seu espaço dentro do crânio com os leitos sanguíneos e o líquido cefalorraquidiano (LCR) localizado no espaço subaracnóide. Juntos, esses três elementos são responsáveis por quase 100% do volume intracraniano, e separados, cérebro, sangue e LCR são respectivamente responsáveis por aproximadamente 80%, 10% e 10% do volume intracraniano.

No interior do crânio, que é uma calota quase inextensível, qualquer aumento de volume poderá comprometer o suprimento sanguíneo cerebral. Isso porque alterações de volume em algum compartimento cerebral (Tecido cerebral, sangue, LCR) são acompanhadas de uma recíproca mudança no volume dos outros compartimentos [1].

Os aumentos de volume intracraniano são geralmente resultantes de tumores, acidentes vasculares,

hidrocefalia e pela lesão secundária do traumatismo crânio-encefálico (TCE). Esses provocam aumento de volume no interior do crânio, e conseqüentemente aumentam a pressão no seu interior, prejudicando inicialmente a injeção de sangue no interior do crânio ou perfusão cerebral. Portanto, o aumento de volume intracraniano resulta em aumento de pressão intracraniana, e quando este é dito patológico, seus altos níveis comprometem a pressão de perfusão cerebral (PPC). A PPC é a diferença entre a pressão arterial média (PAM) e a PIC, ou seja, quantifica a diferença de pressão que provoca deslocamento de sangue arterial da região de maior pressão (Coração) para a região de menor pressão (Crânio) [2].

Os níveis patológicos de PIC geralmente são devidos a aumentos no volume e pressão do conteúdo craniano. Assim, o primeiro dano causado pela hipertensão intracraniana (HIC) é o comprometimento do fluxo sanguíneo encefálico. Um segundo dano decorre de alterações anatômicas no cérebro, como hérnia do tecido cerebral. No entanto, o cérebro se vale de várias respostas homeostáticas para a manutenção do fluxo sanguíneo mesmo na presença de um volume intracraniano aumentado. A Figura 1 ilustra esses mecanismos reguladores.

A primeira reação ao aumento de volume intracraniano é uma espécie de mecanismo tampão. Esse mecanismo é devido ao fato do LCR ser o primeiro a perder volume dentro do crânio quando o volume de um dos dois compartimentos (sangue e tecido) é aumentado.

Depois de exaurida a capacidade de tamponamento de volume, a PIC começa a subir.

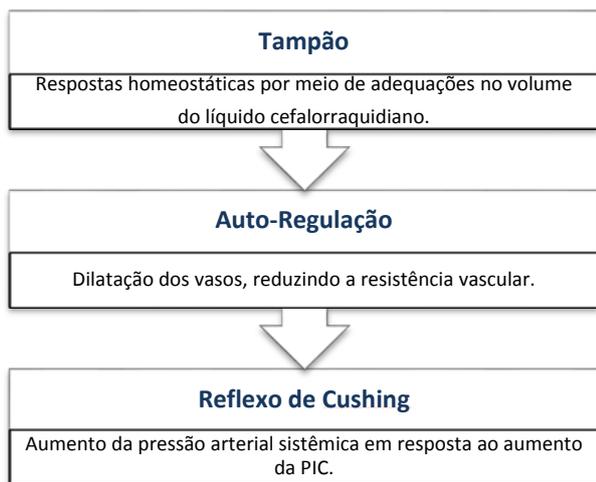


Figura 1: Respostas homeostáticas para manutenção do fluxo sanguíneo.

Nesse momento entra em ação o segundo mecanismo compensatório de resposta homeostática o qual ocorre graças aos reflexos de resistência cérebro-vascular, que conseguem manter constante o fluxo de sangue a despeito de mudanças na pressão de perfusão cerebral.

Quando a capacidade de tamponamento e a regulação do tônus vascular são ultrapassadas, a hipertensão intracraniana está tão crítica que compromete o fluxo sanguíneo cerebral podendo provocar isquemia cerebral. Como último recurso homeostático para manutenção da PPC, a pressão arterial sofre uma elevação por meio de resposta vasopressora descrita por Cushing que descreveu o aumento na pressão sanguínea quando a PIC se aproximava da PAM [3]. Esta resposta à HIC parece ser um esforço homeostático por parte do organismo para assegurar um fluxo adequado do sangue para o cérebro.

Esse terceiro mecanismo aponta a relação entre PIC e PAM, as quais têm fraca correlação ou até mesmo uma correlação negativa quando os dois primeiros mecanismos homeostáticos de compensação de volume estão em ação. Conforme dito, quando o tamponamento e regulação vascular se exauram, a PIC se aproxima da PAM e esta aumenta na tentativa de preservar o fluxo sanguíneo. Nesse terceiro mecanismo compensatório a PAM tende a ter uma correlação positiva com a PIC. Essa correlação entre PIC e PAM também é descrita como Índice de Vasoreatividade Cerebral ou PRx e pode indicar quando os dois primeiros mecanismos compensatórios estão falhando, e o terceiro entrando em ação [4].

Nesse contexto, a proposta desse trabalho é extrair informações da curva da PIC por meio de técnicas de processamento digital de sinais que possam auxiliar na avaliação da perfusão cerebral do paciente neurológico grave. O software exibe num formato de linha do tempo gráficos da PIC, PAM, CPP gravados por até várias semanas e, a partir desses realiza: filtragem de artefato, correlação entre PIC e PAM (PRx), decomposição do PRx, geração de estimativas da estacionariedade da PIC, busca automática por eventos característicos (Curva A,

B, hipertensão sustentada) e espectro de frequência da PIC. Essa extração de características da forma de onda da PIC tem a função de auxílio na caracterização dos eventos ocorridos durante a monitorização do paciente em estado grave.

Materiais e Métodos

Caracterização do estudo –Este trabalho constitui o desenvolvimento e validação de um sistema de processamento de sinais da curva de pressão intracraniana. O estudo obedeceu à Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde e as coletas de teste do sistema foram realizadas na Unidade de Terapia Intensiva (UTI) do Hospital de Clínicas de Uberlândia (HC-UFU) após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos (CEP-UFU), sob número 189.675/2013. Também submetido e aprovado sob o número 402.857/2013 pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP).

Coleta dos dados –Foi selecionado um paciente do serviço de neurocirurgia para a validação da ferramenta que obedecesse os critérios de inclusão no estudo. Tais critérios de inclusão são: (1) Ser paciente, de qualquer sexo, da UTI do Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia; (2) Ter diagnóstico de AVC; (3) Ter pontuação entre 3 e 8 na Escala de Coma de Glasgow; (4) Ter a autorização para ser avaliado (TCLE), assinada pelo responsável.

O processo de coleta se iniciou a partir da recomendação de monitorização da PIC e PAM, por parte do clínico responsável seguida da submissão do paciente à um procedimento para a inserção dos cateteres de monitorização invasiva. Após isso, o paciente foi continuamente monitorado pelos monitores multiparâmetros conectados em uma central de monitorização. O sistema de monitorização do hospital, monitor e central de monitorização ambos da marca Dixtal, exibem nas telas a monitorização em tempo real e gravam de 15 em 15 segundos todos os parâmetros do paciente das últimas horas. A quantidade de horas que a central armazena os dados monitorizados não é padronizada, não permite ser configurada, e por vezes perde dados sem a possibilidade de recuperação. Considerando todas essas dificuldades, neste estudo de caso os dados da central eram salvos a cada seis horas.

Software Neurocare –Para análise dos dados foi desenvolvido o software, aqui denominado por NeuroCare, via plataforma de desenvolvimento Matlab. O programa veio a cumprir com dois objetivos básicos: o processamento digital seguido da extração de características da curva de pressão intracraniana; e a exibição de longas horas de monitorização em um ambiente de fácil manipulação. A Figura 2 apresenta o esquema geral do software intitulado NeuroCare.

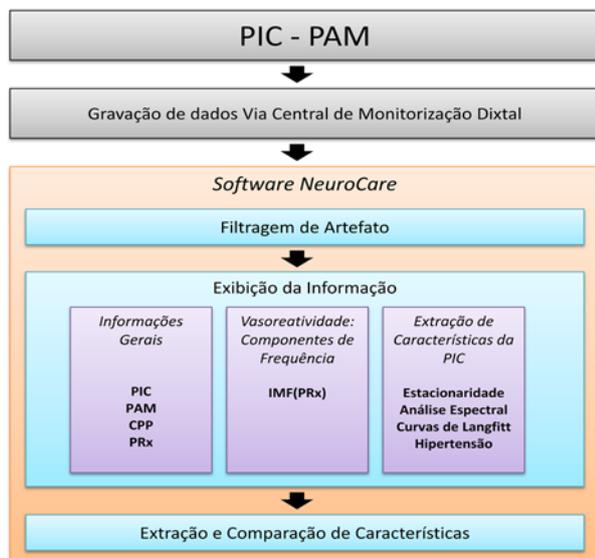


Figura 2: Arquitetura do NeuroCare.

Após a gravação dos dados é realizada a filtragem de artefatos. Esses artefatos são geralmente provenientes de movimentação do paciente ou dos cabos durante algum procedimento, como banho, exames, avaliações ou mesmo o reposicionamento do cateter. Essa filtragem de artefatos é opcional e é feita através de limiarização, porque geralmente os sinais contaminados por artefatos contêm valores de amplitude muito superiores aos valores de medidas de pressão sem ruído, mesmo em casos extremos. Após a remoção dos artefatos o sinal é re-exibido, porém com uma discriminação por limiar, conforme apresentado na Figura 3.

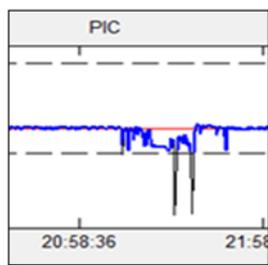


Figura 3: Filtragem dos artefatos.

A exibição da informação é realizada por uma interface gráfica a qual é separada em duas partes, uma principal, à esquerda, que apresenta gráficos da PIC, PAM, PPC e PRx por um período de monitorização que pode variar entre 6 e 12 horas. A segunda parte contém os botões para navegação pelo exame, uma vez que normalmente o mesmo contém bem mais do que 12 horas de duração. A interface também exibe informações do paciente, do tempo do exame e um checkbox para configurações. Além disso, o software mostra em qual região do exame completo estão os gráficos ampliados na região principal da interface. A Figura 5 ilustra as regiões da interface gráfica.

Resultados

Para comprovar a relevância das informações geradas pelo software foi proposto um estudo de caso com um paciente indicado a ter sua PIC continuamente monitorada. O mesmo foi acometido por uma hemorragia subaracnóide e obedecia aos critérios de inclusão no estudo.

A Figura 5 mostra nos gráficos à esquerda um trecho de 6 horas de monitorização, o qual é destacado na região do quadrado azul em relação à monitorização total. Nesse trecho observa-se uma estabilidade da PAM e da PIC e poucos ruídos de artefatos; apenas um em torno de 21:30h provavelmente devido à algum movimento no cateter ou no paciente. Embora a PIC e PAM estejam estáveis em torno de uma média favorável, as oscilações do PRx indicam variações na relação entre pressão arterial e pressão intracraniana, o que pode ser reflexo de alterações na vasoreatividade cerebral.

Essas oscilações cíclicas podem ser melhor avaliadas através da decomposição do PRx permitindo avaliar o comportamento do mesmo em diferentes faixas de frequência. A Figura 4 exibe o recorte de um trecho de 2 horas da curva do PRx sincronizado com uma componente de baixa frequência do mesmo trecho. É possível também observar a periodicidade nas oscilações da vasoreatividade.

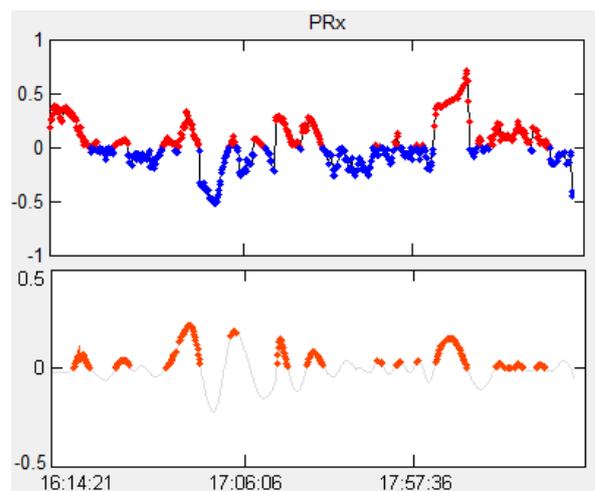


Figura 4: Índice de Vasoreatividade Cerebral (PRx).

Complementando essa extração dos componentes do PRx, o NeuroCare ainda mostra a porcentagem de tempo que a correlação (PAM/PIC) é negativa para o trecho exibido. Quanto maior esse índice, menores são as probabilidades de colapso do sistema vascular cerebral caracterizado pela aproximação da PIC à PAM.

Discussão

O processamento da informação da PIC atualmente é, na sua maior parte, realizado em tempo real pelos monitores multiparamétricos os quais apresentam a PIC, sem grande destaque em relação aos demais parâmetros monitorados.

Isso porque o monitor multiparâmetro é um dispositivo versátil que deve atender a todas as

especialidades. Além disso, o monitor exibe em tempo real trechos em torno de 1 minuto de duração. Se houver a necessidade de observação de trechos maiores esses são gravados a cada 15 segundos em uma planilha eletrônica.

Somado a isso, os softwares contidos nos monitores multiparâmetros são os principais softwares a nível comercial relacionados com a monitorização da hemodinâmica intracraniana. Ainda não existem muitas ofertas de software de análise de PIC, como existem de

outros parâmetros fisiológicos, como por exemplo, softwares de análise de eletroencefalografia.

Portanto, mesmo levando em consideração a versatilidade dos monitores multiparâmetros estes apresentam falhas na quantidade de informação que é representada. Esse contexto somado à importância de uma observação mais minuciosa da PIC é que faz do NeuroCare um sistema que tem muito a oferecer ao atendimento do paciente com hipertensão intracraniana.

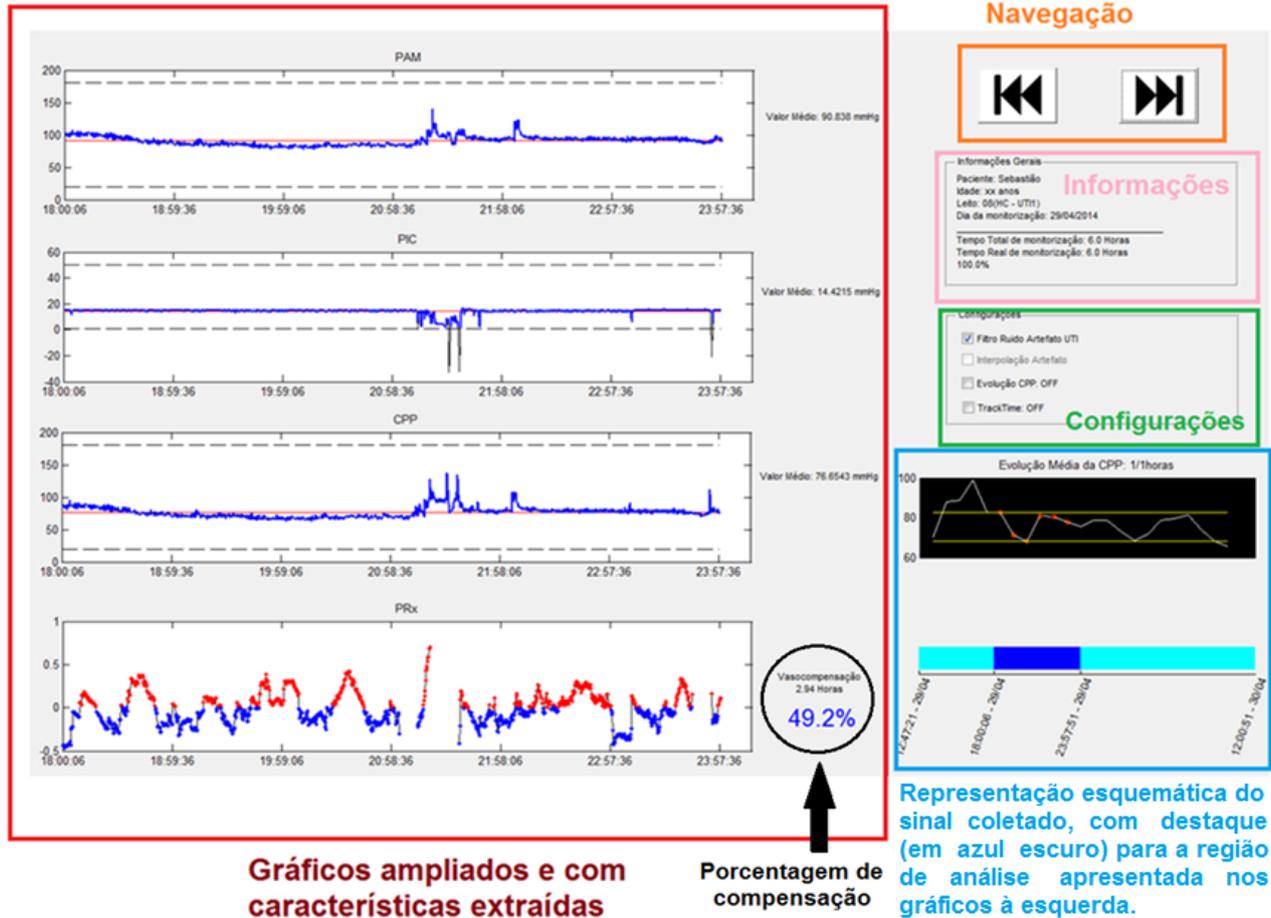


Figura 5: Interface gráfica do software e suas principais partes.

Isso porque o mesmo provê a possibilidade de observação de longos períodos de monitorização, um resumo do traçado global, e extração de características relacionadas à vasoreatividade.

Conclusão

A monitorização da PIC é uma prática promissora e carente de ferramentas computacionais que possam ser prontamente utilizadas em ambiente médico-hospitalar. Por essa razão, esse trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema para processamento dos dados da PIC numa interface de fácil manipulação e para longos intervalos de monitorização.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao governo brasileiro

(CAPES, CNPq e FAPEMIG) pelo apoio financeiro deste estudo. Ao Laboratório de Engenharia Biomédica (BIOLAB-UFU), ao Núcleo de Inovação e Avaliação Tecnológica em Saúde (NIATS) e ao Hospital de Clínicas de Uberlândia (HC-UFU) que disponibilizaram toda a infraestrutura necessária para a realização dos procedimentos e desenvolvimento do projeto em questão.

Referências

- [1] Lundberg N. Continuous recording and control of ventricular fluid pressure in neurosurgical practice. *Acta Psychiatrica Scandinavica*; 1960; 36, p. 1-193, 1960.
- [2] Purves D. Vascular supply, the meninges, and the

ventricular system. In: Neuroscience, 3^a ed
Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2004.

[3]Cushing H. Concerning a definite regulatory
mechanism of the vaso-motor centre which controls
blood pressure during cerebral compression. Bulletin
of the Johns Hopkins Hospital. 1901; 12: 290-292.

[4]Czosnyka M, Smielewski P. Intracranial Pressure:
More Than a Number. Journal of Neurosurgery.
2007; 22(5): 1-7.