
NISTAGMUS: NOVA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA SUPORTE AOS EXAMES DE ELETRONISTAGMOGRAFIA E VECTO-ELETRONISTAGMOGRAFIA

D. R. Brahm, L. F. Kawski, V. T. Alves e M. C. Tavares

PDI/Contronic Sistemas Automáticos Ltda., Pelotas, Brasil

e-mail: daniel.brahm@contronic.com.br

The electronystagmography (ENG) allows the ocular movements study in response to several stimuli over the vestibular system to evaluate the presence of lesions. Computerized systems allow accomplishing some tests that depend on correlation between stimulus and response and also accelerating the clinical evaluation and diagnosis. The SCE (computerized electronystagmography system) system was developed to support the otoneurology professionals in the ENG and VENG (vector-electronystagmography) exams. A PC/Windows software, called Nistagmus, automates several exam steps. Nistagmus is subdivided internally in register, acquisition and configuration modules, including patients' data inclusion, consultations, tests accomplishment, semiautomatic quantitative analyses and automated reports generation.

Palavras-chave: Software, Eletromédicos, Eletronistagmografia, Vecto-eletronistagmografia.

Introdução

O equilíbrio corporal perfeito é importante para a orientação espacial do organismo no ambiente. Três componentes concorrem para esse equilíbrio: visão, sistema proprioceptivo e sistema vestibular. A correta interação dos estímulos aferentes dessas componentes, em nível cerebral, juntamente com a memória das experiências prévias, determina a postura correta. O sistema vestibular é composto pelo labirinto, vias e núcleos vestibulares, que se inter-relacionam com outros núcleos e vias neuronais no tronco cerebral. No labirinto estão localizados os três canais semicirculares, o sáculo e o utrículo, que respondem principalmente à aceleração linear [1]. Os sistemas visual e vestibular atuam em conjunto para manter o foco da visão durante movimentos de cabeça. O sistema cerebral que torna isso possível é conhecido como Reflexo Vestíbulo-Ocular (RVO ou VOR – *vestibuloocular reflex*). Falhas nesse sistema podem levar a sintomas como vertigem, náusea, tontura, perda de equilíbrio e vômito [2]. No final do século XIX surgiram os primeiros trabalhos que relacionaram as lesões do labirinto com movimentos oculares reflexos, denominados nistagmos. Em 1906, o fisiologista austríaco Robert Bárány descreveu o nistagmo provocado pelo estímulo calórico, após irrigar o conduto auditivo de pacientes com água fria. Nas

décadas seguintes, Fitzgerald e Hallpike aperfeiçoaram a técnica, resultando na prova calórica com duas temperaturas. O registro elétrico do movimento ocular durante a estimulação labiríntica recebeu o nome de eletronistagmografia (ENG). O exame popularizou-se a partir de 1960, incorporando protocolos de teste que contêm estimulação visual, calórica e rotacional [3]. Uma variante da ENG que ganhou adeptos no Brasil é a chamada vecto-eletronistagmografia (VENG), que apresenta diferenças no posicionamento de eletrodos e nos métodos de análise dos nistagmos. O primeiro sistema computadorizado brasileiro para exames de ENG/VENG foi criado em trabalho conjunto do Laboratório de Engenharia Biomédica da Universidade Católica de Pelotas, da Clínica Dr. Castagno e da Contronic Sistemas Automáticos [4][5]. O sistema foi chamado SCV e incluiu os estimuladores visual e calórico a água. Posteriormente foi criada uma cadeira computadorizada, para testar pacientes sob estímulo rotacional [6]. Este conjunto de estimuladores permite analisar o RVO desde 2 mHz até 1 Hz [2].

A disponibilidade de novas tecnologias em eletrônica e informática levou à decisão de projetar um novo sistema, capaz de agilizar a realização dos exames de ENG/VENG e captar sinais com melhor qualidade. A integração, em *software*, dos dados do paciente, das consultas (histórico, avaliação, diagnóstico), emissão do laudo do paciente e padrões de normalidade são fatores primordiais para avaliação clínica precisa. A realização do ENG por computador permite estudar a correlação estímulos/respostas, além de representar, graficamente e em tempo real, as curvas correspondentes. O novo sistema foi chamado SCE (Sistema Computadorizado para Eletronistagmografia).

Materiais e Métodos

O SCE foi dividido em duas partes, *hardware* e *software*. O *hardware*, em dois módulos, é responsável pela captação e condicionamento do sinal do paciente, assim como pelo sincronismo entre a geração dos estímulos e a aquisição do sinal de ENG/VENG. O *software*, denominado Nistagmus, é a ferramenta que permite a visualização e análise do sinal do paciente. A disposição do conjunto para realização dos exames pode ser vista na Figura 1. Este artigo aborda brevemente as

características do *hardware*, pois o foco está no *software* Nistagmus.

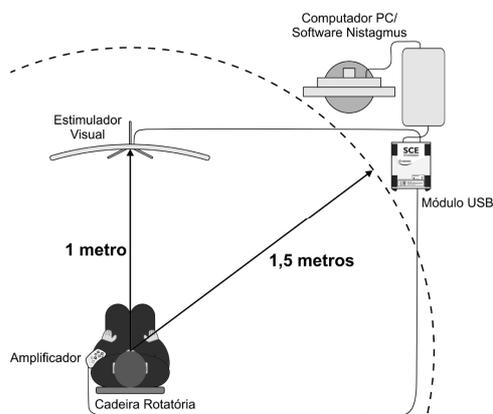


Figura 1: Layout para realização do exame de ENG.

O *hardware* é composto por três partes distintas: amplificador (IBE-interface bioelétrica), módulo sincronizador (USB) e os estimuladores. Este conjunto trabalha sob o comando de um computador PC, executando o *software* Nistagmus. A IBE é formada por circuitos analógicos e digitais que amplificam e filtram os sinais de ENG/VENG captados através de eletrodos de superfície. O número e a disposição dos canais de aquisição podem ser determinados por *software*. Após o condicionamento analógico, um DSP realiza a conversão, a filtragem digital com fase linear e transmite as amostras para o módulo sincronizador. A IBE inclui a função de medição da impedância entre eletrodo e pele, funcional tanto para ENG quanto para VENG. Os estimuladores são comandados pelo módulo sincronizador, que inclui três saídas: visual, rotacional e calórico. A saída “visual” comanda uma barra de LEDs, cujo *software* interno determina a seqüência de acendimento em função do tipo de exame selecionado (calibração, sacádico, optocinético, etc). A saída “rotacional” comanda a cadeira giratória, enquanto a saída “calórico” permite comandar um estimulador a ar. O módulo sincronizador, que tem como base um DSP de pequeno porte, sincroniza a operação da IBE e dos estimuladores, segundo um protocolo pré-estabelecido. Os sinais provenientes da IBE e dos estimuladores são concentrados no módulo para então serem transmitidos ao computador, via USB. A alimentação de todas as partes, exceto cadeira e estimulador a água, é feita através da USB. Esta estratégia garante um nível de interferência muito baixo sobre os sinais captados do paciente e constituem um sistema ELV (*Extra Low Voltage*), aumentando a segurança.

O *software* Nistagmus, projetado para plataforma IBM-PC foi modelado através da ferramenta Microsoft Visio, escrito na linguagem Microsoft Visual Basic .Net 2005 e utilizou banco de dados relacional Microsoft Access 2000.

A adoção da plataforma Microsoft Windows e demais tecnologias Microsoft tornou-se uma escolha natural devido a alguns fatores: *expertise* da equipe de desenvolvimento; familiarização dos usuários com este

ambiente; suporte técnico facilitado; baixo custo do sistema operacional para o usuário final.

A especificação do *software* foi feita após a realização de pesquisa com os clientes do antigo sistema SCV e nos relatos de suporte referentes àquele sistema. Desta forma procurou-se garantir a inclusão de sugestões e melhorias operacionais. Assim, a interface visual do Nistagmus incorporou a experiência de uso com relação ao SCV e emprega a temática visual do Microsoft Windows XP para ícones, janelas e imagens. Estas foram criadas especificamente para o *software* Nistagmus. As funcionalidades mais pedidas pelos usuários foram as seguintes:

- inclusão de padrões de normalidade múltiplos e editáveis;
- personalização de campos nos laudos e escolha livre dos sinais a serem impressos;
- emissão de laudos em PDF;
- emissão de laudos expedidos em uma página, contendo sinais, avaliações e diagnóstico;
- número ilimitado de consultas por paciente;
- atualização do *software* pela internet;
- inclusão de um medidor de impedância da interface eletrodo-pele para ENG e VENG;
- *zoom* no sinal do paciente;
- cadastro de solicitante do exame, para uso terceirizado.

O Nistagmus foi estruturado em três módulos: (a) cadastro de pacientes e consultas, (b) aquisição e análise de sinais e (c) configurações. A seqüência de operação do *software* inicia pelo preenchimento dos campos no formulário de cadastro de pacientes (Figura 2). Os campos assinalados com asterisco indicam obrigatoriedade de preenchimento. Após, deve ser feita a inclusão de uma consulta, a partir da qual o usuário terá acesso ao módulo de aquisição e análise de sinais.

Figura 2: Diálogo de inclusão de Paciente.

A tela do módulo de cadastro, mostrada na Figura 3, é uma área de trabalho onde o profissional preenche os seguintes campos: histórica clínica, exames complementares, exames otoneurológicos e avaliação final. Os laudos gerados a partir dos sinais aquisitados e suas análises são armazenados eletronicamente em formato PDF, independentemente de solicitação do usuário. Este é um item de segurança, pois impede que um laudo gerado seja modificado posteriormente, por engano.

No módulo de aquisição de sinais e análises são realizadas as diversas provas que compõem um exame. Antes do início do exame deve ser realizada a limpeza da pele do paciente e feita a afixação dos eletrodos, de acordo com o protocolo a ser utilizado (Figura 4).

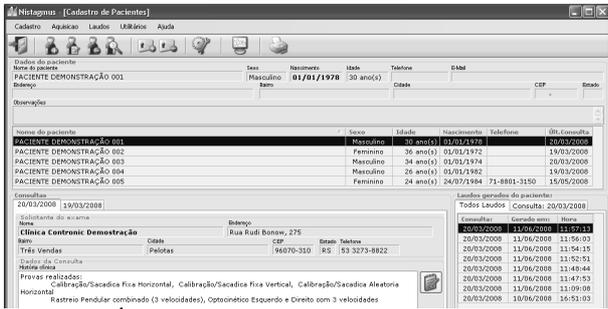


Figura 3: Área de trabalho do módulo de cadastro.

O próximo passo consiste na medição da impedância em cada interface eletrodo-pele. O Nistagmus disponibiliza um painel que indica graficamente a impedância de cada interface, revelando se a colocação dos eletrodos está adequada.



Figura 4: Posicionamento típico dos eletrodos para exame de VENG.

A aquisição dos sinais deve começar pelas provas de calibração horizontal e calibração vertical, pois através delas são definidos os ganhos dos canais de amplificação (calibração biológica). O estímulo para estas duas provas é visual e consiste em acender dois LEDs alternadamente, formando um ângulo de 10° a partir do ponto de observação. Os sinais captados apresentam-se como sinais aproximadamente quadrados, conforme pode ser visto na Figura 5. A representação gráfica do estímulo é exibida na tela de aquisição de sinais junto com a resposta do paciente. Desta forma, o profissional verifica a qualidade do sinal e realiza o procedimento de calibração, que implica em aumentar ou diminuir a amplitude do sinal. Os ajustes de amplitude realizados são usados como parâmetro de configuração para as demais provas do mesmo exame, garantindo uma padronização em mV/° que é a base para os cálculos de velocidade angular dos nistagmos.

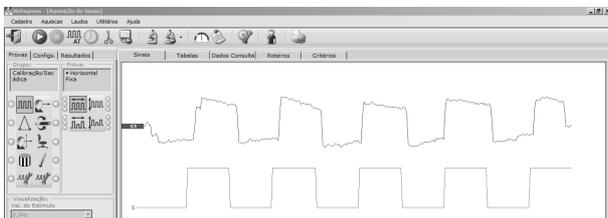


Figura 5: Estímulo de calibração (traço inferior) e resposta do paciente (traço superior).

As demais provas são classificadas em visuais, posicionais, calóricas e rotacionais. Em cada uma delas, a resposta do paciente se apresenta na forma de um

traçado com ou sem nistagmos. Se estes ocorrerem, o principal parâmetro a ser calculado é a VACL (velocidade angular da componente lenta) dos nistagmos. A VACL real é calculada de acordo com a equação 1, para o protocolo VENG [7].

$$VACL = \sqrt{VACL \text{ Canal I}^2 + (VACL \text{ Canal II} + VACL \text{ Canal III})^2} \quad (1)$$

Um algoritmo semi-automático parametrizado procura por um padrão de nistagmo em todo o traçado, calculando valores de VACL para cada um deles e fornecendo um valor médio para cada trecho, conforme pode ser visto na Figura 6. O número ao lado de cada nistagmo é a VACL individual.

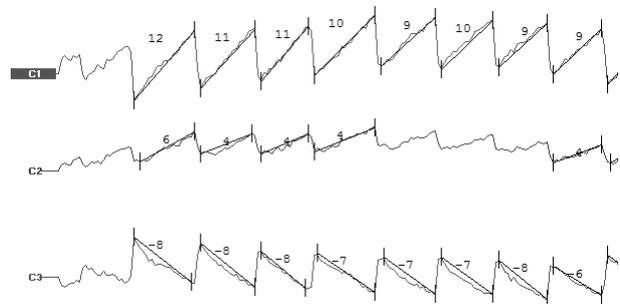


Figura 6: Nistagmos no exame optocinético.

Se o profissional discordar da interpretação do sinal, poderá incluir novos trechos como nistagmos (neste caso o software também calcula a VACL) ou eliminar nistagmos que foram identificados pelo algoritmo.

Nas provas sacádicas são feitas também análises automáticas de fase, latência, ganho e simetria.

Os resultados finais são fornecidos numericamente e também na forma gráfica. Isto pode ser visto na Figura 7: os pequenos triângulos indicam os valores calculados pelo programa e também os valores de normalidade fisiológica, facilitando a interpretação rápida dos resultados.

Uma vez realizadas as aquisições de sinais de todas as provas e suas respectivas análises, o usuário poderá inserir a avaliação final através de um atalho, sem necessidade de voltar ao módulo de cadastro. Após, o PDF será gerado automaticamente e o laudo estará pronto para ser impresso e assinado pelo responsável.

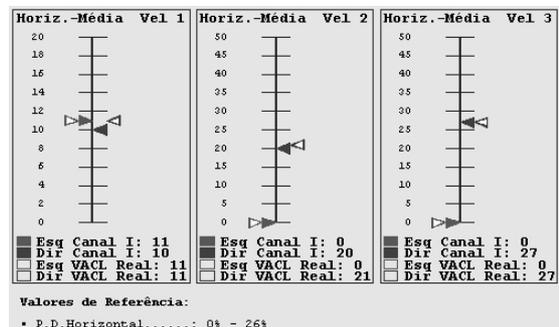


Figura 7: Exemplo de resultados numéricos fornecidos pelo programa em forma gráfica: VACL dos nistagmos no exame optocinético e padrão de normalidade.

Resultados

O protótipo de *hardware* foi desenvolvido durante o segundo semestre de 2007. Para verificar a conformidade com as normas técnicas de equipamentos eletromédicos, foi contratado serviço de certificação com a UL do Brasil. O conjunto formado pelo módulo sincronizador, IBE, estimulador visual, *notebook* pré-certificado (IEC 60950) e *software* Nistagmus foi submetido aos testes previstos nas normas ABNT NBR IEC 60601-1, 60601-1-1, 60601-1-2 e 60601-2-40. O sistema foi aprovado, conforme registrado no Certificado de Conformidade 08/UL-BRAD-0016 e desta forma obteve registro na ANVISA nº 80384070003.

Para verificação da funcionalidade do *software* e de seus cálculos internos foram realizados testes em bancada, comparando-se os resultados fornecidos com as especificações. Os erros foram documentados e posteriormente corrigidos com auxílio da ferramenta de controle de erros *LogBug* (desenvolvida pelos autores). Cabe ressaltar que o algoritmo para cálculo semi-automático da VACL foi reaproveitado do *software* anterior e já havia sido exaustivamente testado [5]. Foi disponibilizada uma versão para testes (beta) a alguns usuários da versão antiga, de modo a testar na prática o desempenho e funcionalidades do *software* Nistagmus.

Discussão

Neste novo sistema proposto destacam-se a qualidade dos sinais, a portabilidade, a conectividade USB e o *software* desenvolvido de acordo com os requisitos dos usuários. O sincronismo entre a estimulação e a captação das respostas do paciente permite que sejam realizadas análises baseadas em latência, fornecendo dados adicionais sobre a integridade neurológica. A inclusão de valores de normalidade fisiológica confere agilidade na interpretação das provas que compõem o exame.

Representando uma evolução sobre o *software* anterior, o Nistagmus agrega novas funcionalidades tais como visualização ampliada ou reduzida (*zoom*), novas provas, medição de impedância, escolha entre ENG ou VENG por *software*, marcação manual de nistagmos, emissão de laudos em PDF e atualização através da internet.

Os algoritmos matemáticos criados para realização das análises foram validados utilizando-se sinais com VACLs conhecidas, de modo a assegurar a exatidão das respostas obtidas. Foi criada uma versão de laudo mais resumida, com exibição de sinais, gráficos e avaliações em uma página, mas sem a omitir a possibilidade de obterem-se laudos mais detalhados, com várias páginas.

Para 2009 uma nova versão do Nistagmus irá acionar uma cadeira rotatória microprocessada para realização das provas de Barany e também acionar o estimulador otoneurológico a ar, que é um equipamento coadjuvante para realização das provas calóricas.

O *software* Nistagmus, por ser uma evolução de seu antecessor (SCV) consolida-se como uma ferramenta prática para otorrinolaringologistas e fonoaudiólogos, por sua simplicidade de uso e eficácia na detecção de patologias do sistema vestibular. Além disso, sua arquitetura interna está pronta para adição de novas provas e comando de outros estimuladores.

Agradecimentos

Ao designer Leonardo de Jesus Furtado, pelo projeto gráfico do *software* Nistagmus, rotulagem do *hardware* e edição das imagens para este artigo. À FINEP pelo financiamento, através do Convênio de Subvenção Econômica à Inovação número 01.07.0755.00.

Referências

- [1] Castagno, L.A., Tavares, M.C., Richter, C.M. et al. (1994) "Sistema Computadorizado de Eletronistagmografia e Vectonistagmografia UCPel/Castagno (Versão 3.0)". In: *Anais do IV CBIS*, p. 26-31.
- [2] Amin, M. S. (2003) Rotary Chair Testing. www.emedicine.com/ent/topic480.htm. Acesso em 28 jul. 2008.
- [3] Shepard, N.T. and Telian, S.A. (1999) "Avaliação do funcionamento do Sistema Vestibular", In: *Tratado de Audiologia Clínica*, 4ª. Ed: Jack Katz. Manole, São Paulo, p. 421-443.
- [4] Castagno, L.A, Tavares, M.C., Cava, R.A. et al. (1993) "Eletronistagmografia computadorizada: o novo sistema de aquisição de dados ENGc UCPel/Castagno", *Rev. Bras. Otorrinol.*, v. 594, p. 263-265.
- [5] Costa, M.H., Tavares, M.C., Richter, C.M., Castagno, L.A. (1995) "Automatic analysis of electronystagmographic signals", In: *38th Midwest Symposium on Circuits and Systems*, v.2, p. 1349-1352.
- [6] Tavares, M.C, Richter, C.M. (2007) "Development of a DSC-based Rotary Chair for Otoneurological Diagnosis", In: CLAIB 2007, IFMBE Proceedings 18, p. 723-727.
- [7] Albernaz, P.L.M., Ganança, M.M., Caovilla, H.H., Ito, Y.I., Castro, E.D. (1984) "Atlas de Vecto-Eletronistagmografia", In: 40. Encontro de Especialistas – Otoneurologia.