

Problemas e soluções na interpretação dos traçados eletro-oculográficos

I - Registro da rotação ocular

Harley E. A. Bicas *

O estudo objetivo da dinâmica ocular tem-se desenvolvido, ultimamente, através da observação das características dos movimentos oculares. E a metodologia mais difundida para esse estudo tem sido a do registro eletro-oculográfico.

De fato, através dela, pode-se recompor não só o posicionamento ocular (direção do eixo visual principal) relativamente ao tempo, como as derivadas dessa variável, isto é, velocidade e aceleração oculares. Entretanto, a caracterização da variável básica, a do posicionamento axial do olho, é indireta já que o que realmente se registra são as variações do potencial elétrico entre os eletrodos captadores.

Assim, o primeiro passo na interpretação de um registro eletro-oculográfico, depende da proporcionalidade entre o evento efetivo (variação do potencial elétrico) e o evento causal (posicionamento do eixo do dipolo ocular relativamente aos eletrodos captadores). Secundariamente (embora não menos importante), também influem todos os outros fatores metodológicos, como as características do sistema elétrico de captação e registro (filtros utilizados, sensibilidade dos eletrodos, inércia da pena inscritora frente ao sinal a gravar, etc. (fig 1).

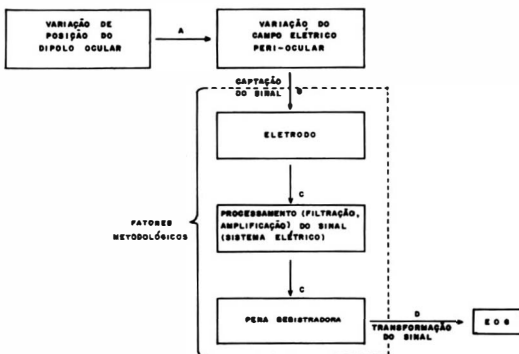


Fig. 1 — Diagrama de processamento do sinal eletro-oculográfico.

Há pois uma série de influências quantitativas (amplificação elétrica do sinal, seu amortecimento pela inércia do sistema de registro) e qualitativas (deformação da proporcionalidade do evento elétrico em função do tempo, causada principalmente pelos filtros de frequência inseridos no sistema de processamento do sinal elétrico; outras deformações devidas à irregularidade de captação do sinal por eletrodos mal colocados, ou à inércia do sistema de registro). Em função dessas dificuldades, é frequente a insegurança que se atribui à análise de um registro eletro-oculográfico e a reserva com que muitos recebem seus resultados,

É por isso aconselhável conhecer as possibilidades e as limitações de um tal tipo de estudo para que não se caia nos extremos; ou esperando informações que não podem ser prestadas pelo método ou não são fidedignas; ou, ao contrário, não admitindo a validade, importância e utilidade dos dados eletro-oculográficos. Para tanto, convém uma análise que, embora não muito pormenorizada, serve pelo menos para as aplicações práticas às quais a eletro-oculografia estaria indicada.

A) Relação entre o evento causal (variação da posição ocular) e o evento efetivo (variação do potencial elétrico).

Nos animais vertebrados, a córnea é carregada positivamente em relação ao polo posterior do olho. No homem, a diferença de potencial, em medidas diretas ou estimativas, se situa entre 6 mV (Arden, 1962) a 30 mV (Alpern, 1969) e a principal estrutura de sua geração parece ter sido convenientemente confirmada como o epitélio pigmentar (Noell, 1953), sendo o desempenho de membrana "isolante", separando a coróide (carregada negativamente) da retina (carregada positivamente), atribuído à membrana limitante externa (Brindley, 1956) ou à de Bruch (Brown & Wiesel, 1958; Tomita, Murakami & Hashimoto, 1959).

* Professor Titular, Departamento de Oftalmologia e Otorrinolaringologia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da USP. 14.049 — Ribeirão Preto — SP.

Assim, a estrutura elétrica dipolar do olho se origina de uma distribuição de cargas que, se não necessariamente uniforme (figura 2 a) deve ser, pelo menos, regular em torno do eixo elétrico ocular (fig. 2 b).

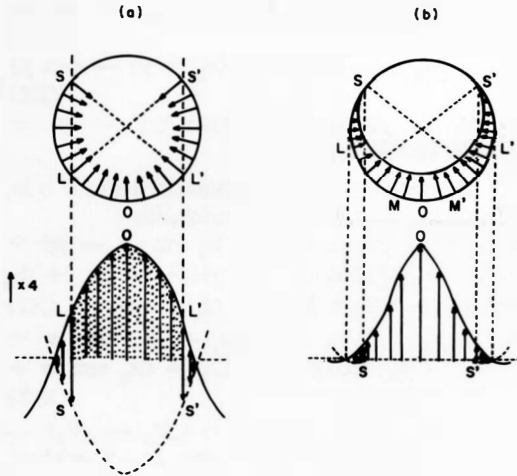


Fig. 2 — Distribuição de cargas pelo globo ocular e sua representação gráfica em que as abscissas representam posição do ponto retiniano (em torno de O) e as ordenadas o valor efetivo da carga de cada ponto (i.e., o valor de sua projeção sobre o eixo ântero-posterior do globo ocular): (a): distribuição uniforme em torno do centro, O; S e S' correspondem aos limites em que as cargas aparecem, mas L e L' aos limites em que elas são efetivas (as cargas de L' a S' são "neutralizadas" pelas de S a L por apresentarem mesmo módulo e sentidos opostos); (b) distribuição não uniforme: decrescente continuamente a partir de O (em direção a S e S') ou constante de O a M e M', diminuindo depois (continuamente ou não) de M a S e M' a S'. Em qualquer caso haverá também neutralização de cargas e o limite efetivo delas (L e L') fica entre M e S, e M' e S'.

De uma forma ou de outra, esse "eixo elétrico ocular" corresponde à resultante do potencial gerado no epitélio pigmentar. Sua representação é costumeiramente feita por um vetor e embora ela seja válida, também certo seria assumir um ponto carregado eletricamente, para simbolizar essa somatória de influências. A direção do vetor (isto é, do eixo elétrico ocular) ou a posição desse ponto representativo das cargas elétricas do olho já levanta algumas questões: o eixo elétrico ocular coincide com o eixo visual, ou com o geométrico?

A tentativa de resposta a essa dúvida, conduziria inevitavelmente à necessidade de se conhecer a distribuição das cargas pelo polo posterior do olho relativamente a um "ponto" de referência (a fóvea, por exemplo). Em princípio poder-se-ia já adiantar que a coincidência do eixo elétrico com o visual ou o geométrico não é obrigatória e,

mesmo teoricamente; não ocorre com um, nem com outros; pois, devido à ausência de cargas correspondentemente à cabeça do nervo óptico, o "ponto" resultante (de cargas) deve-se deslocar no polo posterior do olho para o lado temporal da fóvea, isto é, em oposição a essa "falha" elétrica.

De resto a questão é irrelevante do ponto de vista prático, pois outros fatores técnicos numa eletro-oculografia, como o posicionamento do(s) eletrodo(s) captador(es), tão ou mais importantes que o posicionamento desse "ponto" resultante de cargas (isto é, da direção do eixo do dipolo ocular), criam a necessidade de um englobamento dessas condições de influência, que passam a ser representadas através de uma outra entidade: o eixo de eletro-oculografia (fig. 3).

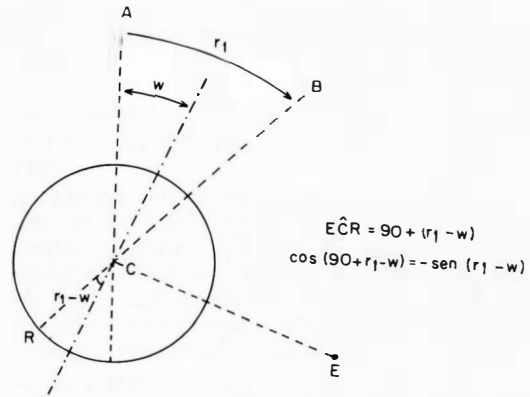


Fig. 3 — Corte esquemático do globo ocular: C representa o centro de rotação ocular (aqui feito coincidente ao centro do globo ocular); E o eletrodo; CA: eixo visual principal em posição primária do olhar; CB: idem, em uma posição secundária; R simboliza a concentração de cargas elétricas num ponto único da retina e a linha interrompida (perpendicular a EC) o eixo eletro-oculográfico.

Note-se, pela figura 3, que a variação direcional do eixo visual de A a B, caracterizada através do centro de rotação ocular (C), convenção aliás já clássica para medida das rotações oculares, é tomada como r. E que a angulação entre a direção primária do olhar (AC) e a do eixo eletro-oculográfico (não mais a do eixo do dipolo ocular) é w. Ora, a carga elétrica em E (e em função disso a diferença de potencial entre eletrodos registradores, a qual por sua vez vai determinar a passagem de corrente elétrica pelo sistema de amplificação) é função de ER. Em razão disso, a equação básica de variação entre o ângulo de rotação ocular (r) e o potencial eletro-oculográfico gerado, pode ser tomada a partir de uma conceitualização geométrica.

Assim, no triângulo ECR, a aplicação da lei dos cossenos dá:

$$\overline{ER}^2 = \overline{EC}^2 + \overline{CR}^2 - 2 \overline{EC} \cdot \overline{CR} \cos \widehat{ECR}$$

Como EC e CR são constantes, pode-se fazer $\overline{EC}^2 + \overline{CR}^2 = k_1$ e $2 \overline{EC} \cdot \overline{CR} = k_2$.

Dai:

$$\overline{ER}^2 = k_1 - k_2 \cos \widehat{ECR} = k_1 + k_2 \sin (r_1 - w).$$

Em síntese, portanto, o potencial elétrico (V_1) no eletrodo E é:

$$V_1 = f \overline{ER}$$

$$\therefore V_1 = f [k_1 + k_2 \sin (r_1 - w)] \quad (I)$$

Supondo-se agora o valor do potencial elétrico, correspondentemente à posição primária do olhar (V_0), isto é, quando $r_1 = 0$:

$$V_0 = f [k_1 - k_2 \sin w] \quad (II)$$

Dessa forma, pode-se calcular a variação do potencial elétrico no eletrodo, quando o olho se move de um ângulo r_1 para a posição primária, ou a partir dela:

$$V_1 = V_1 - V_0 = f [k_1 + k_2 \sin (r_1 - w)] - f [k_1 - k_2 \sin w] = f k_2 [\sin (r_1 - w) + \sin w] \quad (III)$$

Tomando-se agora um deslocamento de amplitude r_2 , no sentido oposto (se o mesmo é referido a partir da posição primária), o potencial elétrico no eletrodo E seria V_2 e a medida em relação à linha de base (correspondente à posição primária do olhar), cujo potencial é V_0 mede-se por:

$$V_2 = V_2 - V_0 = f [k_1 + k_2 \sin (-r_2 - w)] - f [k_1 - k_2 \sin w] = -f k_2 [\sin (r_2 + w) - \sin w] \quad (IV)$$

resultando, para o potencial "pico-a-pico" ($V_1 - V_2$):

$$V_1 - V_2 = (V_1 - V_0) - (V_2 - V_0) = f k_2 [\sin (r_1 - w) + \sin (r_2 + w)] \quad (V)$$

Fica portanto implícita a variação desse potencial eletro-oculográfico como função do seno do ângulo de rotação ocular medido a partir do eixo eletro-oculográfico (*).

Não obstante, a análise deve ser estendida para levar em conta os potenciais contralaterais, ou seja, os originados do olho oposto ao eletrodo captador que se considera, já que mesmo atenuadamente a influência elétrica de um dipolo gerador interfere sobre o sistema do outro. Assim, os po-

(*) Note-se que os potenciais gerados para um lado (F. III) e para o outro (F. IV) deverão ser diferentes mesmo que $r_1 = r_2 > 0$, ou seja, para qualquer rotação ($r > 0$), simétrica em torno do eixo visual ($r_1 = r_2$), os potenciais gerados para um lado (V_1) e outro (V_2) serão desiguais.

tenciais do olho oposto ao eletrodo E serão, sobre este, respectivamente às equações I, II, III e IV:

$${}_cV_1 = f [k_1' + k_2' \sin (r_1' - y)] \quad (VI)$$

$${}_cV_0 = f [k_1' - k_2' \sin y] \quad (VII)$$

$${}_cV_1 - {}_cV_0 = f k_2' [\sin (r_1' - y) + \sin y] \quad (VIII)$$

$${}_eV_2 - {}_cV_0 = -f k_2' [\sin (r_2' + y) - \sin y] \quad (IX)$$

$$\therefore {}_cV_1 - {}_eV_2 = f k_2' [\sin (r_1' - y) + \sin (r_2' + y)]$$

De onde se pode finalmente deduzir que, para um movimento conjugado:

$$V_1 = V_1 + {}_cV_1 = f [k_1 + k_2 \sin (r_1 - w) + k_1' + k_2' \sin (r_1' - y)] = f [k_1 + k_2 \sin (r_1 - w) + k_1' \sin (r_1' - y)] \quad (XI)$$

$$V_0 = V_0 + {}_cV_0 = f [k_1 - k_2 \sin w + k_1' - k_2' \sin y] = f [k_1 - (k_2 \sin w + k_2' \sin y)] \quad (XII)$$

$$V_1 - V_2 = (V_1 - V_2) + ({}_cV_1 - {}_cV_2) = f k_2 [\sin (r_1 - w) + \sin (r_2 + w)] + f k_2' [\sin (r_1 - y) + \sin (r_2 + y)] \quad (XIII)$$

É curioso que nos deslocamentos simétricos em relação à posição primária ($r_1 = r_2 = r$) tenha-se, para o potencial "pico-a-pico", uma relação direta com o seno do ângulo de rotação:

$$V_1 - V_2 = f k_2 (2 \sin r \cos w) + f k_1' (2 \sin r \cos y) = f k_3 \sin r + f k_3' \sin r = f K_3 \sin r \quad (XIV)$$

E independente da posição desses eixos eletro-oculográficos (K_3) já que em relacionamentos de potenciais correspondentes a diferentes rotações oculares (r e r') tem-se:

$$\frac{V_1 - V_2}{V_1' - V_2'} = \frac{f K_3 \sin r}{f K_3 \sin r'} = \frac{\sin r}{\sin r'} \quad (XV)$$

B) Captação do sinal elétrico (pelos eletrodos)

Como já se viu, a colocação dos eletrodos é de fundamental importância na análise dos princípios da eletro-oculografia, a começar da sua posição que influi decisivamente na direção do eixo eletro-oculográfico (aproximadamente perpendicular à linha que une o eletrodo ao centro de rotação ocular, conforme se vê na figura 3). Pode-se também explicar, apenas com base nessa posição do eletrodo, a razão de colocações (do eletrodo) no plano horizontal

registrarem movimentos no plano sagital do olho e vice-versa (Bicas, 1972, a, b).

Ora, se assim importante do ponto de vista geométrico, não menos relevo deve-se atribuir ao eletrodo no que interessa à sua qualidade e seu contacto com a pele do paciente. De fato, de ambas condições vai depender o "aproveitamento" elétrico do sistema, ou seja a capacidade de reproduzir para o amplificador de voltagem (do sistema de registro) o potencial existente na superfície da pele da região peri-orbitária.

Sabe-se que a passagem de corrente elétrica através de um material condutor qualquer é acompanhado de absorção (ou perda) de energia (W). Assim a potência (P) consumida é:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{R i^2 t}{t} = R i^2 \quad (\text{XVI})$$

ou seja, diretamente proporcional à resistência desse condutor (R).

Idealmente, para uma perda nula (P = 0), seria necessária uma resistência elétrica nula (R = 0), ou seja, o potencial elétrico da pele (V_P) transferir-se integralmente ao eletrodo (V_E):

$$V_P - V_E = R i = 0 \therefore V_P = V_E$$

Entretanto R tem um valor finito que depende do comprimento (d), da secção (S) e da resistividade (φ) do material condutor:

$$R = \phi d/S \quad (\text{XVII})$$

Porisso a prata como metal melhor condutor de eletricidade (baixa φ) é o material de escolha para a confecção dos eletrodos. Mas como ela pode se oxidar ou sofrer outros tipos de transformação química, tem-se preferido recobrir sua superfície com uma película de AgCl (*). Outros eletrodos, mais elaborados, não necessitam desses cuidados especiais e sendo mais resistentes a alterações químicas, tornam-se preferíveis.

Além disso, a transmissão das cargas da pele para o eletrodo deve ser facilitada por materiais condutores. Sendo necessário um contacto de todos os pontos entre pele e eletrodo, convém que esse material seja fluido, do tipo pastoso. Porisso é que se aconselha a aplicação das pastas eletro-

(*) Esse recobrimento pode ser facilmente obtido através de um processo simples de eletrólise de uma solução aquosa de NaCl, na qual o eletrodo (Ag), mergulhado nessa solução, atua como cátodo (ligado pelo pino de encaixe ao polo positivo de uma pilha elétrica) enquanto como ânodo funciona outro material condutor, ligado ao polo negativo da mesma pilha elétrica). O recobrimento da superfície da prata se dá rapidamente (na dependência da corrente elétrica no circuito) por uma camada clara de AgCl a qual, em seguida, se decompõe fotoquimicamente.

líticas (basicamente um gel com NaCl); a escarificação da camada córnea da pele é também indicada para, com a remoção das partes eletricamente mais resistentes, facilitar a condução.

Por fim, conviria que o contacto entre pele e eletrodo fosse tão íntimo quanto possível (d na F. XVII tendendo a zero) e que a área de contacto fosse grande.

Essa condição (extensa área de contacto) oferece contudo outros inconvenientes técnicos já que do ponto de vista geométrico conviria uma captação puntiforme (S = 0). Em função disso, prefere-se minimizar a resistência elétrica à custa de baixos valores de φ (facilitando-se a condução) e d, e indicar-se eletrodos de área de contacto pequena.

De qualquer forma, note-se que para um mesmo valor de R, a perda energética (P) é proporcional à diferença de potencial entre dois pontos, ou seja, à corrente que deve se conduzir entre eles; essa perda não é linear:

$$P = R i^2 \therefore P R = (V_E - V_P)^2 \quad (\text{XVIII})$$

A diferença de potencial entre dois eletrodos captadores pode ocorrer, mesmo que os olhos (dipolos geradores) estejam imóveis, isto é, mesmo que não sejam provocadas alterações nos campos elétricos periorculares. Sem mencionar a possível diferença de potencial "estática", devida a condições de irrigação, temperatura e outros fatores cutâneos (fig. 4 a), a simples diferença de contacto dos eletrodos com a pele gerando resistências elétricas dissimilares pode induzir passagem de corrente pelo circuito (fig. 4 b) (*).

Essa diferença de potencial, se constante, não seria considerada após o fechamento, já que os indicadores de corrente registrariam uma voltagem tomada como ponto de partida ("linha de base") para as medidas subsequentes das variações elétricas (**). O maior problema resulta entretanto do fato dessa diferença de potencial se alterar, gerando o que se convencionou chamar de "variação da linha de base" (que-

(*) O princípio dessa corrente é o mesmo da que ocorre entre dois eletrodos de metais diferentes, ligados entre si e mergulhados numa solução salina (que "fecha" o circuito). Assim, entre o zinco e o cobre, o primeiro é mais ionizável que o segundo, carrega-se portanto mais positivamente e se transforma em ânodo, enquanto o segundo em cátodo; os elétrons passarão, na solução, no sentido zinco-cobre e no fio condutor que une os metais, do cobre para o zinco.

(**) É óbvio, porém, que essas variações de potencial seriam mostradas desigualmente por dois circuitos cujas linhas de base fossem diferentes. Acul, portanto, existe mais uma fonte de interferência sobre o registro eletro-oculográfico final. Em última análise, esse afastamento da linha de base em relação à linha de potencial nulo contribui para modificar a posição do "eixo eletro-oculográfico".

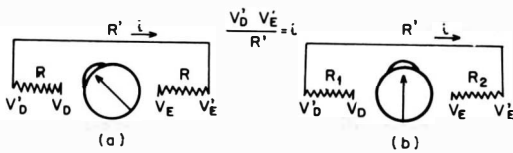


Fig. 4 — Representação das resistências elétricas entre pontos da pele e eletrodo captador; (a): entre pontos cutâneos com potenciais diferentes V_D e V_E e os eletrodos, a resistência elétrica é uniforme (R) o que condiciona a estes últimos os potenciais V'_D e V'_E respectivamente, ocasionando uma corrente elétrica de intensidade I entre eles; (b): entre pontos cutâneos com potenciais iguais (V) e os eletrodos, a resistência elétrica não é uniforme (R_1 e R_2), ficando estes últimos com potenciais V'_1 e V'_2 . Também por esse circuito (cuja resistência é R') passa a corrente I .

da ou ascensão), podendo ser responsável por uma série de erros na interpretação de traçados obtidos com corrente direta (DC). Por exemplo, deslocamentos oculares lentos são confundíveis com essas variações da linha de base.

C) Processamento do sinal pelo sistema elétrico.

A diferença de potencial entre dois eletrodos captadores, perioculares (um tornando-se "positivamente", outro "negativamente" carregado) é bastante pequena, da ordem de 20 a 30 μV por grau de rotação ocular. Assim, mesmo movimentos oculares de grande amplitude não produzem, em geral, uma diferença de potencial maior do que 2 mV, o que corresponde a uma quantidade de energia (W) insuficiente para movimentar a pena do sistema de registro, por exemplo. É portanto indispensável multiplicar essa energia produzida por um fator constante que não determine alterações da potência ($P = W/t$) o que se faz por amplificação; o fator (a) é conhecido como ganho (ou amplificação) do sistema e determina a relação entre a diferença de potencial, energia ou potência antes (V, W, P , etc.) e depois (V', W', P' , etc.) do processo, ou seja, na entrada e na saída do sistema:

$$a = \frac{P'}{P} = \frac{W'}{W} = \frac{V'}{V} \quad (XIX)$$

Esse processo consome energia, a qual é fornecida por uma fonte externa: ou uma bateria (corrente contínua) ou o próprio sistema elétrico comum que serve à sala onde se dá o registro (corrente alternada). De um modo ou de outro, indireta ou diretamente, a corrente alternada de alimen-

tação de outros receptores elétricos próximos (lâmpadas, motores) ou do próprio sistema, acarretará induções no circuito de amplificação, que assim também as registrará. A essa interferência dá-se o nome de ruído de fundo ("noise") que limita o poder de resolução do sistema. Isso quer dizer que a amplificação não altera a relação entre um sinal elétrico (determinado por exemplo, por uma rotação ocular) e o ruído de fundo, pois aumenta a ambos, proporcionalmente.

Uma das formas de separação dessa "mistura" pode ser feita por um computador analógico. Basicamente o método se propõe a executar uma soma tanto dos sinais pelos quais se interessa, como do ruído de fundo e para que haja vantagem na distinção entre ambos, deve-se contar com uma correlação temporal. Assim, cada varredura (intervalo de tempo durante o qual as variações elétricas do sistema são registradas) tem uma relação fixa com o início do sinal a ser registrado (ou com o estímulo dado para que esse sinal se estabeleça) de forma que o sinal (ou seu estímulo) apareça sempre no mesmo instante dessa varredura. Em outras palavras: o registro de uma varredura se inicia num tempo t , fixo, relativamente a um sinal desencadeante ("trigger"), o qual pode ser relacionado a um estímulo ao movimento ocular (luz que se acende, som, etc.), ou ao "sinal" propriamente dito (início do movimento ocular); obviamente o tempo t entre a varredura e o seu desencadeante pode ser positivo (por exemplo, a varredura se inicia após um tempo t do estímulo dado ao movimento), nulo (a varredura se inicia simultaneamente ao estímulo) ou negativo (isto é, a varredura se inicia num tempo t , antes do estímulo). Muito freqüentemente, esse intervalo de tempo é "nulo", quer dizer, o estímulo que deve desencadear o movimento ocular é também o que inicia a varredura, ou então o próprio início da resposta (movimento) é que determina o início da varredura.

Esta segunda alternativa (início da resposta como desencadeante da varredura) pode ser útil, mas geralmente se prefere o evento do estímulo como o iniciador da varredura por facilidades técnicas; além disso, é também desse modo que se pode avaliar a latência entre o estímulo (início da varredura) e as respostas (*).

De qualquer forma, a resposta ocorrerá sempre num ponto fixo do registro

(*) É portanto óbvio que o que o intervalo de tempo "nulo" como referido acima, não significa obrigatoriamente a simultaneidade entre o início da varredura e o da resposta (movimento ocular) ao estímulo (som, luz, etc.).

(quando é essa resposta que o desencadeia) ou aproximadamente no mesmo ponto (quando é o estímulo que inicia a varredura, havendo entre um e outro a latência da resposta, que pode variar) o que determina somações aditivas ao sinal que importa registrar, enquanto o ruído de fundo de variação aleatória com o ponto inicial da varredura, tende a uma somação nula (fig. 5).

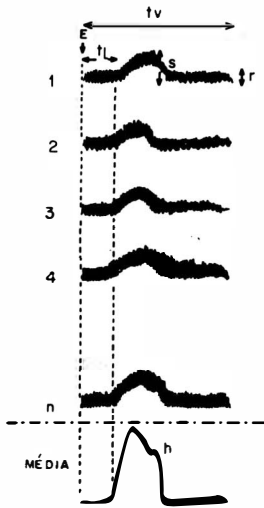


Fig. 5 — Esquema de "mediação" (na verdade uma somação de sinais eletro-oculográficos: E: instante de estímulo e de início da varredura; t: tempo de varredura; t_L: tempo de latência da resposta; s: amplitude da resposta; r: amplitude do ruído de fundo; 1, 2, 3, 4...n: número de ordem da varredura; h: evento da resposta, com baixa amplitude, discriminado apenas pelo processamento dos sinais (não individualizável nos traçados simples).

Através desse processo, faz-se a "limpeza" do ruído de fundo, podendo-se chegar à resolução de fenômenos antes mascarados por ele (como o evento h na fig. 5). A relação entre a amplitude do sinal (s) e a do ruído de fundo (r) é diretamente proporcional ao número (n) de varreduras executadas.

$$\frac{s}{r} = \sqrt{n} \quad (XX)$$

Apesar de conveniente, o processo é entretanto pouco utilizado, a não ser quando se pretende a investigação (laboratorial) de fenômenos básicos. A razão é a de que não só a técnica é relativamente sofisticada, como o aparelhamento utilizado bastante caro para registros de rotina.

Na prática o que se emprega, geralmente, são os filtros de alta frequência (mesmo

quando um computador analógico faz parte do sistema) o qual tende a impedir que eventos elétricos de curto período (alta frequência) sejam registrados. Esses filtros ("low-pass filters", "low-pass networks", "low-pass circuits") são também chamados "integradores" transmitindo muito bem a corrente contínua (frequência 0) ou outras de baixa frequência, impedindo por outro lado a passagem de oscilações elétricas de alta frequência (fig. 6). Como resultado, há uma limitação na faixa de registro de frequências ("bandwidth"), que passa a ser, por exemplo de 0 a 50 Hz (sem um filtro desse tipo, seria de 0 a ∞Hz).

Obviamente um evento transitório como abertura ou fechamento de um circuito, início ou fim de um sinal elétrico, será deformado por esse "filtro integrador".

Pela fig. 6 a, a resposta do circuito (V_s) a um sinal V_i "em degrau" alcança o estado de equilíbrio conforme a equação exponencial.

$$V_s = V_i (1 - e^{-t/RC}) \quad (XXI)$$

onde RC = t_c é a constante de tempo do circuito, t o tempo decorrido a partir do início do evento e e a base dos logaritmos naturais (= 2,718281829) (*).

É evidente que a resposta a um pulso num tempo t_i inferior ao da duração da ascensão do mesmo (por exemplo, um sacádico "de volta" que se realiza antes que o "tempo de ascensão" de um sacádico "de ida" se complete) terá um traçado dependente da duração desse mesmo pulso (fig. 6 b), sendo a amplitude do pico proporcional a t_i/RC e no caso limite (t tendendo a zero) a voltagem de saída depende da área sob as curvas do sinal e da resposta (A, fig. 6 c).

Nesse caso, a amplitude de um movimento ocular registrada pelo circuito eletro-oculográfico (V_s) após um intervalo de tempo t e sendo t_c a constante de tempo do "high-pass filter" (ou "AC coupler") é:

$$V_s = V_i \cdot e^{-t/t_c} \quad (XXII) (**)$$

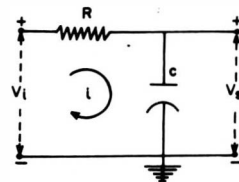
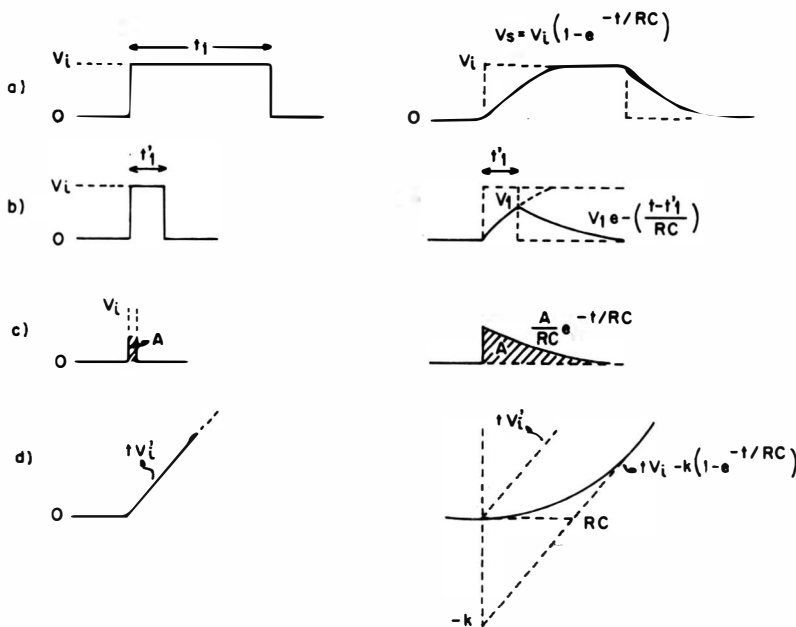
(*) A deformação do traçado pode ser evitada com um "alternador compensado" (Littauer, 1965) e uma variação de entrada "em degrau" ser perfeitamente reproduzida.

(**) Pode-se demonstrar que o cálculo do erro absoluto (E) na leitura do valor de V relativamente ao do "real" (V) coincide com a equação XXI:

$$E = V - V_s = V - V e^{-t/t_c}$$

sendo o erro relativo (E_R):

$$E_R = \frac{E}{V} = 1 - e^{-t/t_c}$$



Se $t_i \gg RC$
 $V_o = 0$
 $V_\infty = V_i$

Se $t_i \ll RC$
 $\frac{V_i}{V_o} = \frac{t_i}{RC}$

$V_o = A/RC$
 $V_\infty = 0$

$V_\infty = tV_i' - k =$
 $= V_i' (t - RC)$

Fig. 6 — Filtro de alta-freqüência ou circuito de baixa-passagem, tipo RC. Por ele, corrente direta (DC) e as baixas freqüências passam facilmente, mas as de altas freqüências são atenuadas por que a reatância do capacitor (ou condensador) C diminui com o aumento de freqüência (o “ganho” do circuito diminui com o aumento de freqüência). A voltagem de entrada (“input”) é V_i , a de saída (“output”) é V_o . O circuito pode ser definido por uma constante de tempo (t) que depende da resistência (R) e da capacitância (C), sendo $t = RC$, isto é, para $R = 1$ ohm e $C = 1$ farad, $t = 1$ segundo. Os traçados da direita representam as deformações sofridas pelos sinais (impulsos) da esquerda: a) sinal cuja duração (t) é bem superior à constante de tempo do filtro ($t \gg RC$); b) sinal cuja duração (t') é bem inferior à constante de tempo do filtro ($t' \ll RC$); c) caso limite (t tendendo a zero); d) sinal “em rampa”.

Pulsos longos são portanto distorcidos nesse circuito, por terem um tempo de ascensão finito. Assim, para que a distorção seja minimizada, o tempo de ascensão deve ser pequeno quando comparado ao da duração do pulso. Note-se que o tempo de ascensão (t_a) do circuito vale:

$$t_a = 2,2 RC$$

Já para um sinal “em rampa” (fig. 6 d) a equação é tal que o comportamento final de V_o é igual ao de V_i' , ou seja, aumenta linearmente com o tempo t , numa inclinação V_i' :

$$V_o = V_i' [t - RC (1 - e^{-t/RC})] \quad (\text{XXIII})$$

Um circuito RL (fig. 7) pode ser usado em lugar de um circuito RC, com as funções deste, e se $RC = L/R = t_a$, todos os resultados e análises precedentes são mantidos. Do ponto de vista técnico, entretanto, um indutor é raramente usado quando altas constantes de tempo são requeridas, pela impraticabilidade de se empregar grandes valores de indutância: o indutor seria fisicamente grande, pesado e caro relativamente ao tamanho e custo de um capacitor para aplicações similares. (Para maior aprofundamento veja Millman & Taub, 1956, Strauss, 1960, Littauer, 1965).

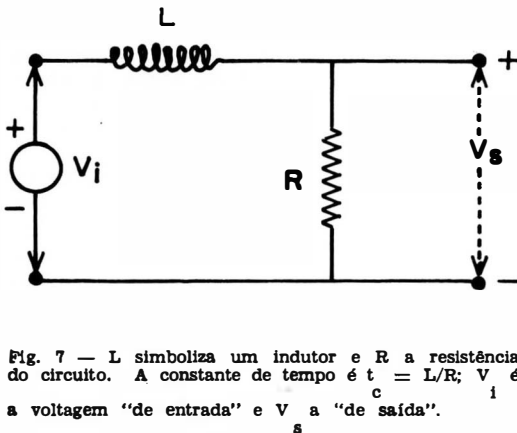


Fig. 7 — L simboliza um indutor e R a resistência do circuito. A constante de tempo é $t_c = L/R$; V_i é a voltagem "de entrada" e V_s a "de saída".

Filtros de baixa frequência também podem aparecer intercalados no processamento do sinal elétrico, mas serão analisados em outro trabalho já que se pressupõe sua ausência em sistemas com "registro DC" (faixa de registro de frequências começando a partir de 0 Hz).

Em suma, o processamento ideal é aquele que amplifica o sinal e o depura de outras interferências (ruído de fundo) sem deformá-lo. Na prática, entretanto, a amplificação também acentua o ruído de fundo, enquanto a eliminação deste se faz à custa de circuitos que tendem a deformar o próprio sinal. A amplificação "silenciosa" ou "limpa" e com distorção minimizada depende da elaboração do circuito (características do aparelhamento).

D) Transformação do sinal

Supondo-se que a amplificação do sinal seja linear (não deformada) ainda existe um último obstáculo antes de que o mesmo possa ser analisado como tal (isto é, processado linearmente ou não). De fato, a saída desse sinal elétrico do sistema de processamento e seu subsequente registro, pode ser feito praticamente sem qualquer deformação (por exemplo, captado fotograficamente num osciloscópio) ou passar por sérias transformações, na dependência da inércia do sistema inscridor.

O caso, comum, de reprodução gráfica em papel através de uma pena inscridora, enquadra-se entre aqueles cuja inércia é considerável e pode afetar substancialmente o resultado. Do ponto de vista físico, a inércia de um corpo se define como a resistência oferecida por esse corpo (no caso a pena) a um deslocamento (no caso, em relação ao papel).

Há pois duas forças principais que contribuem para a inércia do sistema inscridor:

o peso da pena e o atrito desta com o papel (o que depende da textura do papel, da viscosidade da tinta, das superfícies da própria pena e do papel). O atrito pode ser anulado em alguns casos em que se evita o contacto direto das superfícies (gravação em papel fotosensível), minimizado por eliminação da tinta (gravação em papel termosensível), mas há uma relação inversa entre a quantidade de atrito e o custo do instrumento, o que torna frequentemente inviável o emprego dessas condições de maior sofisticação.

Em decorrência dessa influência, variações de pequena amplitude são mascaradas além de, obviamente, surgirem modificações na amplitude, forma, latência e demais características do sinal. A amplitude aparente (V_a), por exemplo, é menor do que a real (V_s) por uma constante (K) proporcional à inércia: $V_a = V_s - K$ (fig. 8).

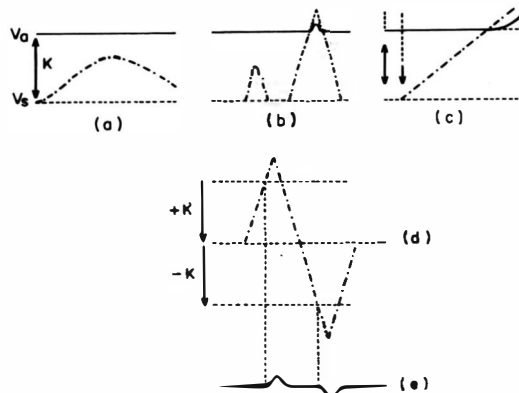


Fig. 8 — Deformação do sinal EOG em função da inércia do sistema inscridor (K). A amplitude aparente (V_a) é menor do que a real (V_s): a) mascaramento total de uma resposta; b) mascaramento de um sinal e minimização de outro; c) afetação do período (aparente) de latência da resposta (também presente em b e d); d) redução e deformação da resposta em dois sentidos pela inércia e atrito (+K e -K); e) traçado correspondente a d.

Outro tópico de interesse, corresponde ao "modus operandi" da pena inscridora (fig. 9).

Nas condições da fig. 9 d, há dois tipos de dificuldade técnica à interpretação dos parâmetros: o primeiro, do tempo já que o intervalo entre os pontos t_1 e t_2 , na linha de base é fictício (fig. 10).

Na figura 10 a, os eventos A, B, C ocorrem respectivamente nos tempos t_1 , t_2 e t_3 ; o mesmo traçado feito com inscrição curva (fig. 10 b), sugere que B e C sejam simultâneos (ocorrendo em t_3); não há pois de-

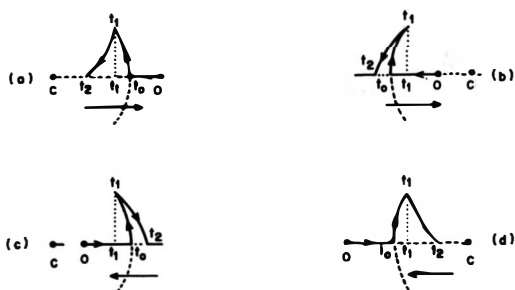


Fig. 9 — Formas de traçados: as flechas mostram o eventual sentido de deslocamento do papel e C o centro de rotação do braço da pena inscritora. A inscrição arqueada para a esquerda (a, c) ou para a direita (b, d) independe do sentido de deslocamento do papel, embora se prefira evitar que ele corra em direção à base da pena (b e c) ou anticonvencionalmente da esquerda para a direita (ou seja, inscrição da direita para a esquerda a e b); assim d é o tipo de registro mais comum. Note-se a relação dos eventos com a sua marcação sobre a linha de base: t entre t₁ e t₂ nos gráficos b e c.

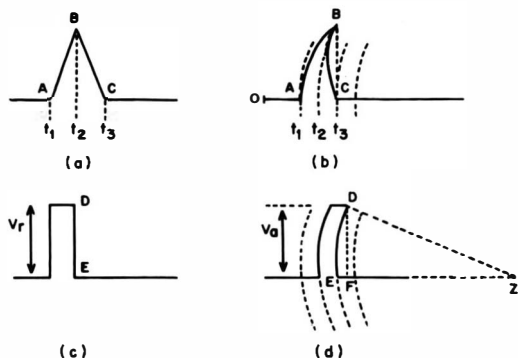


Fig. 10 — Traçados ideais (a, c) e respectivas deformações (b, d) pela inscrição por pena com percurso curvo. Para correção do posicionamento temporal do evento deve-se usar uma projeção não linear, com raio de curvatura idêntico ao do traçado. Assim, em b, B se projeta em t₂ (corretamente) e não em t₃; em d, D se projeta sobre E (corretamente) e não sobre F. A amplitude deve ser similarmente corrigida: $V_r (= DE)$ em c, equivale em d à curva DE e não ao segmento $DF = V_a$.

formação temporal sobre a linha de base de registro (o intervalo entre A e C é, de fato, $t_3 - t_1$) mas a deformação aparente é proporcional à amplitude do evento que se quer medir. Por idêntico motivo, embora as curvas reais AB e BC tenham a mesma razão de variação, aparecem com esboços diferentes no traçado curvo (BC mais curta e “perpendicular” que AB).

O segundo ponto de interesse técnico, ainda que menos enfatizado pois geralmen-

te desprezível, é o da correção do valor da **voltagem**. Realmente, como o registro é curvo, a proporcionalidade entre a voltagem real (V_r) e sua respectiva transformação em termos de deslocamento ocular (graus), é feita em relação ao arco de círculo traçado pela pena; enquanto a voltagem aparente (V_a) resulta do comprimento de uma perpendicular tomada do ponto cuja voltagem se quer conhecer (D fig. 10 d), à linha de base (DF, fig. 10 d). Sendo então $EZ = DZ$ (fig. 10 d) o comprimento do braço livre da pena (raio de curvatura de seu deslocamento), vem:

$$V_a = \overline{DF}$$

$$V_r = \overline{DE} = \text{arc } DZF, \text{ sendo } \text{sen } DZF = \frac{DE}{DF} = \frac{V_r}{V_a}$$

O modo mais simples de se converter as leituras aparentes de tempo e voltagem em leituras reais, num registro curvo, é com um arco de círculo, com raio de curvatura igual ao do braço livre da pena inscritora e modelado em cartolina, por exemplo, marcado em graus a partir do ponto zero (fig. 11). Com esses cuidados, os erros de leitura podem ser evitados.

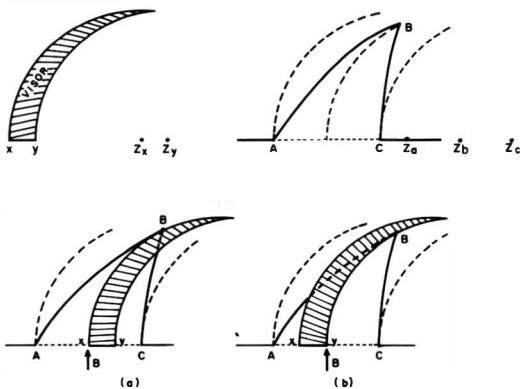


Fig. 11 — Esquema de visor para correção de deformações de amplitude e temporalidade de eventos transcritos com gravação curva. Com seu nível “zero” (xy) colocado coincidentemente à linha de base (ACZ) pode-se ler na escala curva a amplitude do evento B (xB na escala, em a; ou yB na escala, em b) e relacioná-lo temporalmente aos eventos A (respectivamente Ax/xy e Ay/xy em a e b) e, ou C (respectivamente xC/xy e yC/xy).

E) Relação entre a variação de posição do dipolo ocular (rotação ocular) e o registro eletro-oculográfico.

Este é, afinal, o problema prático global do qual foram analisados até agora seus componentes. Em recapitulação, vimos que:

a) num primeiro passo a variação do campo elétrico periocular, expressa em volts dependia teoricamente da própria rotação ocular em relação à posição primária (r_1), da posição do eixo de electro-oculografia em relação a essa posição primária (w), a qual por sua vez é função do posicionamento do eletrodo em consideração; do potencial do dipolo ocular e de resistências elétricas perioculares (simbolizadas por constantes k_1 e k_2) (cf. F. III) e de todas essas variáveis oriundas do potencial gerado pelo dipolo (olho) mais distanciado (respectivamente r_1' , y , k_1' e k_2'), (cf. F. VIII) subordinadas à equação (originada da soma de F. III e F. VIII):

$$V_1 - V_0 = f k_2 [\text{sen}(r_1 - w) + \text{sen } w] + f k_2' [\text{sen}(r_1' - y) + \text{sen } y] = V_I \quad (\text{XXIV})$$

Na prática, as derivações "monopolares" (em que o outro eletrodo referencial se acha muito distante dos dipolos em estudo e porisso os potenciais captados por ele podem ser considerados como nulos) são infreqüentes, devendo então se considerar, numa derivação bipolar (ambos eletrodos captando potenciais e portanto in-fluindo no registro):

1) Para uma derivação (bipolar) "monocular" (*), isto é, ambos eletrodos mais próximos de um dos olhos:

$$V_I - V_{II} = f k_2 [\text{sen}(r_1 - w) + \text{sen } w] + f k_2' [\text{sen}(r_1' - y) + \text{sen } y] + f k_4 [\text{sen}(r_1 + t) - \text{sen } t] - f k_4' [\text{sen}(r_1' - u) + \text{sen } u] \quad (\text{XXV})$$

2) E para uma derivação (bipolar) "binocular" (*):

$$V_I - V_{III} = f k_2 [\text{sen}(r_1 - w) + \text{sen } w] + f k_2' [\text{sen}(r_1' - y) + \text{sen } y] + f k_6 [\text{sen}(r_1' + w) - \text{sen } w] + f k_6' [\text{sen}(r_1 + y) - \text{sen } y] \quad (\text{XXVI})$$

Bastaria esse enorme conjunto de variáveis (aqui são relacionadas "apenas" dez no primeiro caso e oito no segundo, porque o posicionamento dos eletrodos é então considerado simétrico) para comprometer o esforço de análises teóricas desse tipo. Somam-se entretanto a estas, as outras decorrentes do próprio circuito. Apenas para simplificação estabeleça-se: $V_1 = f(r)$.

(*) O termo "monocular" para uma eletro-oculografia e suas expressões filiadas como "registro eletro-oculográfico do OD" (ou do OE) são tecnicamente imprecisos, já que os potenciais do outro olho são também captados. Por essa razão, também o termo "binocular" seria desnecessário, já que basicamente todos os registros são binoculares (a não ser, é claro, nos casos de enucleação, "congelamento" de movimentação ocular ou similares).

b) A captação deste sinal por um eletrodo é, ao que tudo indica, linear, apesar de atenuada por um fator R que depende do contacto deste com a pele:

$$V_b = V_P - V_E = R_1 i = \frac{\varphi d i}{S} \quad (\text{XXVII})$$

Numa derivação "bipolar" pode-se aproximar os valores das resistências oferecidas à passagem de corrente elétrica em um eletrodo (R_1) e outro (R_2) sendo porém pouco provável que se os iguale perfeitamente. Em consequência, a aproximação do polo anterior do dipolo a um dos eletrodos permitirá a passagem de uma corrente i_1 , diferente de outra i_2 , originada de aproximação idêntica do polo anterior do olho ao outro eletrodo. Tudo entretanto, pode ser tomado como função do posicionamento do eixo eletro-oculográfico (já dependente de outras resistências perioculares) mudando-se valores de k_1 , k_2 , k_3 e k_4 nas fórmulas correspondentes.

c) O processamento do sinal pelo sistema elétrico (amplificação e filtração) não pode entretanto ser tomado como de transformação absolutamente linear, apesar de na prática ser comum essa assunção. Pelo menos há que se admitir

$$V_s = V (1 - e^{-t/RC})$$

d) Finalmente o registro em papel in-flui ainda minimizando V_s por uma constante de inércia K , sendo então o registro aparente (V_a) dependente de:

$$V_a = V_s - K = V (1 - e^{-t/RC}) - K = [f(r)] (1 - e^{-t/RC}) - K \quad (\text{XXVIII})$$

Apesar de tudo, esse tipo de registro pode ser tomado como "direito". Em outros, com intercalação de filtros de baixa-freqüência no circuito, a deformação do traçado é ainda maior, complicando ainda mais a análise. Por isso os registros "diretos", com faixa de freqüência de registro 0 — 50 Hz, por exemplo, são ainda preferidos, embora a linha de base possa "flutuar" sem correspondência a movimento ocular real. De qualquer forma, pode-se fazer quando $t \gg RC$ $e^{-t/RC} \approx 0$ e daí:

$$V_a = f(r) - K$$

Note-se, entretanto, que em decorrência desse fator manifestar-se-ão não apenas erros na avaliação da amplitude de um sinal pode ser minimizado (fig. 8 c, d) ou mascarado (fig. 8 a, b), mas também (e por causa deles), modificações nas relações temporais dos eventos ("latências" nas figuras 8 c, d, e). Deformações temporais e de amplitude são igualmente encontradas nos registros "curvos" (figuras 9 e 10).

F) Dados experimentais

Estudos realizados com derivações "monopolares" de eletrodos colocados no plano sagital, abaixo da pupila, sobre a borda orbitária, ou no plano horizontal, temporalmente, mostram aproximação razoável com os índices esperados pela teoria (Tabela I).

TABELA I

Plano	r/r'	10°/20°	10°/30°	10°/40°	20°/30°	20°/40°	30°/40°
Sagital		0,67	0,41	0,31	0,62	0,46	0,74
Horizontal		0,51	0,31	0,23	0,61	0,45	0,74
Média		0,59	0,36	0,27	0,62	0,46	0,74
Esperado p/ f = sen		0,51	0,35	0,27	0,68	0,53	0,78
f = k		0,50	0,33	0,25	0,67	0,50	0,75

Um aprofundamento no estudo dessa relação entre o ângulo de rotação ocular e o potencial eletro-oculográfico (Bicas, 1972 b) não permite contudo assegurar que a razão de variação seja tão simples como se sugere acima, e embora a função "seno" aparentemente se aplique de forma mais adequada à maior parte dos resultados, presume-se que "a relação entre movimento ocular e amplitude do potencial eletro-oculográfico parece obedecer uma função de variação complexa e de difícil determinação".

O tema foi retomado recentemente (Sacchetin, 1977) mas as conclusões são as mesmas: ainda que sugerida, a função "seno" não basta para explicar resultados. A variação "linear" também pode ser aceita. Outros estudos, na literatura, apenas servem para confirmar a dificuldade do tema: $\Delta V = K \sin r$ foi de fato a primeira proposição (Fenn & Hursh, 1937), aceita por outros (Miles, 1939; Parrot, 1963). Para grandes rotações oculares (30° ou mais), não haveria dificuldade para aceitar essa relação, mas essa convicção desaparece para excursões menores, por exemplo de 20° (Shackel, 1960). De fato há os que argumentam não ser significativa a diferença entre $\Delta V = K \sin r$ e $\Delta V = K r$ podendo-se, dessa forma, empregar a relação linear, com as vantagens operacionais trazidas por esta (Lion & Powsner, 1951), mesmo em deslocamentos extensos (Leksell, 1939; Mackensen & Harder, 1954). Há inclusive referência de que para ângulos pequenos (de até 12°) vale $\Delta V = K \tan r$, embora os autores (Hoffman, Wellman & Carmichael, 1939) tenham empregado corrente alternada

como técnica de registro o que é causa de profundas deformações do mesmo. Aven-tou-se também uma curva parabólica de segundo grau para explicação de resultados, mas os autores (Dieterlé & von Berger, 1954) admitem que $\Delta V = K \sin r$, $\Delta V = K r$ ou $\Delta V = K \tan r$ podem ser igualmente aplicáveis, sem diferenças significativas.

Realmente, tem-se tomado como pré-requisito teórico, a coincidência e fixação do centro de rotação do dipolo com o centro de rotação ocular e que o meio condutor periorcular seja isotrópico. Ora, no que tange ao centro de rotação ocular sabe-se que, embora aproximadamente fixo, ele se desloca com as rotações do olho, essas suas translações são pequenas (Verrijp, 1930, Park & Park, 1933), mas já podem ser enquadradas entre as causas que tornam a função de variação pesquisada de difícil equacionamento. Mais importantes, talvez, sejam eventuais alterações na orientação do eixo de eletro-oculografia (em outras palavras, do centro de rotação do dipolo ocular) e as irregularidades nas linhas de resistência elétrica em torno do olho (quase seguramente podendo-se atribuí-las como não-concêntricas).

Variações temporais são outras possíveis influências: a resistência elétrica da pele flutua na dependência de vários fatores (irrigação sanguínea, temperatura ambiente, sudorese), assim como a própria magnitude das cargas no dipolo ocular não é constante: alteram-se com a quantidade de iluminação ambiental, a concentração de oxigênio, e mesmo em condições de equilíbrio de vários fatores observam-se suas variações nicteméricas (Kris, 1960).

Em síntese, pode-se concluir com base nos estudos mais pormenorizados (Bicas, 1972 a; Sacchetin, 1977) que a função de variação entre o ângulo de rotação ocular e o potencial eletro-oculográfico registrado tem por base uma dependência da função "seno"; mas que a relação não é direta e a equação é dependente de outros fatores, tornando-se complexa. A função linear também pode ser uma aproximação aceitável sendo, por sua simplicidade, conveniente para grande parte das aplicações práticas.

RESUMO

O artigo estuda o método eletro-oculográfico, suas várias condições técnicas que podem influir sobre o traçado final, o modo e o valor dessas alterações. A relação entre o evento causal (variação da posição ocular) e o evento efetivo (variação do potencial elétrico) é examinada nas suas bases. A captação do sinal elétrico, pelos eletrodos, seu processamento, pelo sistema elétrico e sua transformação final (registro) são também analisadas nos seus vários aspectos mostrando como isso pode afetar a interpretação de resultados. Finalmente são discutidos alguns dados experimentais

SUMMARY

The paper studies the electro-oculographic method, its several technical conditions which can influence the final recording, the way and the value by which such alterations are present. The relationship between the causal condition (variation of ocular position) and the effective condition (variation of electric potential) is examined in its basis. The input reception, by the electrodes, its transformation by the electric system and the final output recording are also analyzed accordingly their multiple aspects, to show how they can influence the interpretation of the results. At last, some experimental data are discussed.

REFERENCIAS

- ALFERN, M. (1969): Types of Movement. In "The Eye", vol. 3, Chap. V, 2nd Ed., H. Dawson ed., Academic Press, New York & London.
- ARDEN, G. B. (1962): Alterations in the standing potential of the eye associated with retinal disease. *Trans. Ophthalmol. Soc. U.K.*, 82: 63-72.
- BICAS, H. E. A. (1972 a): Electro-oculography in the investigation of oculomotor imbalance. In: *Basic aspects. Vision Res.*, 12: 993-1010.
- BICAS, H. E. A. (1972 b): Algumas bases e aplicações da eletro-oculografia na semiologia da oculomotricidade. Tese de Docência-Livre. Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.
- BRINDLEY, G. S. (1956): The passive electrical properties of the frog's retina, choroid and sclera for radial fields and currents. *J. Physiol.*, 134: 339-356.
- BROWN, K. T.; WIESEL, T. N. (1958): Intraretinal recording in the unopened cat eye. *Am. J. Ophthalmol.*, 46: 91-98.
- DIETERLE, P.; VON BERGER, G. P. (1954): Registrazione elettrica dei movimenti oculari (Eletrooculografia mono e binoculare). *Riv. oto-neuro-oftal. (Bologna)*, 29: 1-23.
- FENN, W. O.; HURSH, J. B. (1937): Movements of the eyes when the lids are closed. *Am. J. Physiol.*, 118: 8-14.
- HOFFMAN A. C.; WELLMAN, B.; CARMICHAEL, L. (1939): A quantitative comparison of the electrical and photographic techniques of eye movement recording. *J. Exper. Psychol.*, 24: 40-53.
- KRIS, C. (1960): *Vision-Electro-oculography*. Medical Physics, Vol. 3, pp. 692-700. Claser, O., ed., Year Book Publishers, Inc., Chicago.
- LEKSELL, L. (1939): Clinical recording of eye movements. *Acta chir. Scandinav.*, 82: 262-270.
- LION, K. S.; POWSNER, E. R. (1951): An ergographic method for testing ocular muscles. *J. appl. Physiol.*, 4: 276-279.
- LITTAUER, R. (1965): *Pulse Electronics*, chapter 2, McGraw-Hill Book Co., New York.
- MACKENSEN, G.; HARDER, S. (1954): Untersuchungen zur elektrischen Aufzeichnung von Augenbewegungen. *Albrecht v. Graefes Arch. Ophthal.*, 155: 397-412.
- MILES, W. R. (1939), cit. p/ MARG, E.: Development of electro-oculography. Standing potential of the eye in registration of eye movement. *Arch. Ophthalmol.*, 45: 169-185 (1951).
- MILLMAN J.; TAUB, H. (1956): *Pulse and digital circuits*, chapter 2, McGraw-Hill Book Co., New York.
- NOELL, W. K. (1953): Studies on the electrophysiology and metabolism of the retina. Air University School of Aviation Medicine. Project report n.º 1.
- PARK, R. S.; PARK, G. E. (1933): The center of ocular rotation in the horizontal plane. *Am. J. Physiol.*, 104: 545-552.
- PARROT, J. (1963): Analyse vectographique de l'électro-oculogramme (EOG): application aux mouvements horizontaux du globe oculaire. *C.R. Soc. Iol. Strasbourg*, 157: 2311-2314. In *Arch. Ophthal. (Paris)*, 24: 632 (1964).
- SACCHETTIN, W. F. (1977): Estudo da variação do potencial eletro-oculográfico em função do ângulo de rotação ocular. Aplicações práticas no exame do paciente estrábico. Tese de Doutorado, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.
- SHACKEL, B. (1960): Pilot study in electro-oculography. *Brit. J. Ophthalmol.*, 44: 83-113.
- STRAUSS, L. (1960): *Wave generation and shaping*. Sec. 1-9, McGraw-Hill Book Co., New York.
- TOMITA, T.; MURAKAMI, M.; HASHIMOTO, Y. (1959): On the R membrane in the frog's eye; its localization, and relation to the retinal action potential. *J. Gen. Physiol.*, 43 (Suppl. 2): 81-94.
- VERRIJP, C. D. (1930): Ocular movements. *Archs. Ophthalmol. N.Y.*, 4: 73-83.