

Funções rotacionais dos músculos extra-oculares

Harley E. A. Bicas

INTRODUÇÃO

A) Causas e efeitos da contração muscular

O estudo e compreensão dos fenômenos da oculomotricidade é dependente de dois sistemas complementares. Um pode ser dito "central", "inervacional", ou "distribuidor", correspondendo às conexões nervosas que determinam a quantidade (ou qualidade) dos estímulos enviados aos músculos extra-oculares. Outro, em oposição, nomear-se-ia "periférico", ou "mecânico", ou "receptor", sendo representado pela capacidade de resposta desses músculos, em interação com seus envoltórios e demais estruturas perioculares.

Naturalmente, é bem sabida a dificuldade de se interpretar adequadamente o funcionamento do sistema nervoso central, tantas são as variáveis envolvidas. No entanto, mesmo que se conhecesse perfeitamente a fina organização funcional dessas matrizes distribuidoras do estímulo inervacional (efetoras), fracassar-se-ia profundamente na análise da rotação ocular correspondente, se não se soubesse como esses impulsos às contrações musculares seriam traduzidos em forma de movimento. Em outras palavras, o conhecimento da causa da contração muscular não leva à predição de seu efeito rotacional. É claro que, de maneira inversa, o mau conhecimento dos efeitos impede uma exata abordagem das causas (embora nesse caso seja possível estudar experimentalmente todas as faculdades das vias oculomotoras sem conotar estímulo a movimento rotacional, mas a impulso elétrico nervoso).

É verdade que em algumas condições a noção causal é bem determinada: por exemplo: na impossibilidade de abdução voluntária ou reflexa e sua presença na movimentação passiva do olho, fala-se em "paralisia do reto lateral"; nas esotropias neutralizadas pela anteposição de lentes positivas, o diagnóstico estabelece-se como de "estrabismo acomodativo"; o que pressupõe o reconhecimento da causa inervacional, desde as vias aferentes (necessidade de acomodação como estímulo, e a respectiva resposta irradiando-se de forma excessiva aos neurônios motores dos retos mediais). São obviamente possíveis, dada a relativa facilidade com que se interpreta o efeito rotacional dos retos horizontais. Mas em outros casos, os rótulos diagnósticos são apenas presuntivos, conduzindo

a discussões das causas, justamente por não se entender adequadamente seus efeitos; exemplos: a "dupla paralisia de elevadores" (que teoricamente, como vai se ver, poderia ser explicada apenas pela paralisia do reto superior); a "reinserção pós-operatória do oblíquo inferior", para explicar a elevação do olho em adução, após miectomias totais do oblíquo inferior (o que também poderia ser explicado pela ação do reto superior e do medial), etc. Em outros casos, são puramente descritivos como "hipertropia alternante". Assim se vê que do ponto de vista clínico ou de pesquisa aplicada, as atenções devem se concentrar inicialmente na análise dos efeitos oculomotores (rotações) desde que do bom entendimento deles é que:

a) depende fundamentalmente o diagnóstico do problema e o reconhecimento de sua fisiopatologia;

b) resultam as possibilidades terapêuticas e de emprego de seus meios (toda a linha cirúrgica dos problemas oculomotores é orientada para a correção dos efeitos rotacionais).

B) O conhecimento dos efeitos rotacionais.

Por todas essas razões, as variáveis ligadas à causa do movimento devem ser a princípio postergadas. Assim, o conceito de "força desenvolvida" por um músculo, depende da integridade do complexo neuro-motor (transmissão do estímulo inervacional) e da sua capacidade própria de reação (calibre, hiper ou hiporeatividade, etc.), não se constituindo pois em uma condição essencial no estudo que se restrinja aos mecanismos rotacionais "puros".

Em outras palavras, deve-se desenvolver um conceito de efetividade muscular baseado num valor próprio desse músculo, numa "unidade de funcionamento" do mesmo. Se, então, se supuser que, idealmente, a área de secção transversal do músculo (seu calibre) é proporcional à quantidade dessas "unidades de funcionamento", pode-se estabelecer comparações entre as potências musculares globais. Mas isso não é suficiente, mesmo porque um músculo delgado pode ter a mesma potência rotacional que um mais calibroso no caso de estímulos fracos (mesmo número de unidades motoras respondendo), ainda que certamente mostre sua insuficiência em relação ao segundo, à medida que crescer o recrutamento inervacional.

* Endereço: Departamento de Oftalmologia e Otorrinolaringologia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo — CEP 14.100 — Ribeirão Preto (SP).

Uma noção que realmente independe do valor da força efetivamente desenvolvida por um músculo extra-ocular é a da distribuição da mesma em torno de cada eixo fundamental de rotação (vertical, horizontal, torcional), ou seja, dos componentes (porcentuais) dessa força em cada plano de ação muscular. A contribuição de cada músculo à rotação ocular num dado plano faz parte do que se conhece como estudo do componente vetorial (da força do músculo) nesse plano.

Tal critério tem sido de fato empregue: o diagrama de Márquez-Van der Hoeve (cf. CASTANERA-PUEYO, 1968) é um exemplo de como se distribuem as forças de cada músculo, relativamente aos planos de ação vertical, horizontal e torcional. O inconveniente desse gráfico é o de apenas mostrar os componentes vetoriais dos músculos em cada plano de ação, restritos a uma única posição do olhar: a primária. Surgiram depois esquemas mais ricos, mostrando a variação desses componentes vetoriais em posições secundárias de abdução e adução (KREWSON, 1950). Recentemente, apresentamos os dados referentes a essas variáveis da mecânica ocular, para quaisquer posições enquadradas dentro dos limites de abdução de -50° a adução de $+50^\circ$ e de elevação de $+50^\circ$ a abaixamento de -50° (BICAS, 1979 b).

De qualquer forma, uma crítica que se faz a essa análise é a de que ela apenas indica o **sentido** tomado pelo olho, quando o músculo em estudo se contrai a partir da posição considerada. Por exemplo, dizer que na posição de adução $h = +20^\circ$ e de elevação $v = +20^\circ$, o reto medial tem ações $H = 70,19\%$ (adução), $V = 14,26\%$ (elevação) e $T = 15,55\%$ (exciclodução), significa que essas seriam as proporções de distribuição da sua força numa contração que começasse naquele ponto.

Convém, no entanto, que se veja as **resultantes** desses componentes (H, V e T) na trajetória do olho até aquele ponto. Dados desse tipo podem ser obtidos por cálculo integral (da área determinada pela curva de valores de cada um dos componentes vetoriais em cada ponto do trajeto), considerando-se o movimento iniciado sempre a partir da posição primária, e ocorrendo pelo trajeto mais curto até o ponto final (para o qual o resultado é buscado). As áreas correspondentes a cada componente são a seguir relacionadas entre si de forma que o valor de cada uma seja percentual e que a soma deles atinja sempre 100% (BICAS, 1979 e). Por exemplo, para o dado anteriormente considerado, as resultantes (áreas integrais) relativas dos componentes vetoriais do reto medial no deslocamento desde a posição primária ($h = 0^\circ = v$) até o ponto de $h = +20^\circ$ e $v = +20^\circ$ são $H = 81,29\%$, $V = 8,95\%$ e $T = 9,76\%$.

Ainda assim, entretanto, o "efeito rotacional" estaria sendo apenas considerado em

um dos seus aspectos: o **direcional**. De fato, o trabalho dispendido pelo músculo, como entidade vetorial, deve ser expresso por um módulo (quantidade) e um sentido. A grandeza discriminativa do módulo tem sido relacionada a um valor absoluto, com a quantidade de encurtamento (contração) muscular ou o volume respectivo (BOEDER, 1961; BICAS, 1979 c) ou a um valor relativo E, relacionando a contração muscular à excursão ocular respectiva (BICAS, 1979 d). Por exemplo, no caso do deslocamento ocular desde a posição primária até a posição de $h = +20^\circ$ e $v = +20^\circ$, o reto medial se contrai 4,78 mm linearmente (equivalente a $21,06^\circ$), ou $83,14 \text{ mm}^3$ se se considerar sua área de secção transversal; e sendo $D = 27,99^\circ$ o deslocamento ocular respectivo, resulta $E = 75,26\%$.

Em última análise, tanto os valores referentes às resultantes dos componentes vetoriais, como ao trabalho total dispendido pelo músculo (expresso em termos absolutos, ou relativizado ao deslocamento ocular respectivo) são aspectos parciais da solução; um equivalente ao sentido do vetor, o outro ao seu módulo.

MÉTODO

A determinação quantitativa das funções rotacionais dos músculos extra-oculares em cada plano de ação, requer um considerável volume de cálculos. Mesmo o arcabouço matemático que serve de base à redação de um programa para computador digital é relativamente complicado. Por isso far-se-á aqui apenas referência às equações fundamentais desse programa, deixando o aprofundamento analítico para consulta eventual: as bases do cálculo vetorial (BICAS, 1979 a,b), a integração desses valores (BICAS, 1979 e) e a determinação da contração (trabalho) muscular para cada rotação ocular (BICAS, 1979 c,d).

As considerações fundamentais desse programa teórico são de que:

a) o olho é tomado como uma esfera, girando em torno de um centro de rotação fixo. As coordenadas de inserção ocular e origem de cada músculo são as de VOLKMANN (1869). Essas premissas tem sido tradicionalmente empregues em trabalhos de mecânica ocular (KREWSON, 1950; BOEDER, 1961; BOEDER, 1962). No entanto, as coordenadas da inserção ocular do músculo, como referidas por Volkmann, não correspondem ao olho como esfera, o que já acarreta fator de erro, pela contradição das premissas: cada músculo insere-se em distâncias diferentes em relação ao centro de rotação ocular, variando de 12,767 mm (para o oblíquo superior) a 11,347 mm (para o reto lateral), o que corresponde a uma diferença de 12,5% do primeiro em relação ao segundo (*). Por essa razão, tomou-se o cuidado de reformar as coordenadas de Volkmann de inserção

$$\overline{AC} = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} \quad (2)$$

$$\overline{OC} = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2} \quad (3)$$

$$k_0 = x_0 x_1 + y_0 y_1 + z_0 z_1 \quad (4)$$

$$k = x_0 (x_1 M_1 + y_1 M_2 + z_1 M_3) + y_0 (x_1 M_4 + y_1 M_5 + z_1 M_6) + z_0 (x_1 M_7 + y_1 M_8 + z_1 M_9) \quad (5)$$

$$\text{onde } M_2 = -M_4 = -\text{sen } h \cos v = -\text{sen } a \cos p \quad (6)$$

$$M_5 = \cos h \cos v = \cos a \quad (7)$$

$$M_6 = -M_8 = \text{sen } v = -\text{sen } a \text{ sen } p \quad (8)$$

$$M_3 = M_7 = (\text{sen } h \text{ sen } v \cos v) / (1 + \cos h \cos v) = M_2 M_6 / (1 + M_5) = \text{sen } p \cos p (1 - \cos a) \quad (9)$$

$$M_9 = 1 - \left\{ \text{sen}^2 v / (1 + \cos h \cos v) \right\} = 1 - \left\{ M_6^2 / (1 + M_5) \right\} = 1 - (1 - \cos a) \text{sen}^2 p \quad (10)$$

$$M_1 = \cos h \cos v + \left\{ \text{sen}^2 v / (1 + \cos h \cos v) \right\} = M_5 + 1 - M_9 = M_5 + \left\{ M_6^2 / (1 + M_5) \right\} = 1 - (1 - \cos a) \cos^2 p \quad (11)$$

sendo x_0, y_0, z_0 as coordenadas da origem do músculo; x_1, y_1, z_1 , as coordenadas de sua inserção ocular, h e v as medidas das rotações horizontal e vertical tomadas no sistema de Fick (ou, equivalentemente, p e a coordenadas do ponto de fixação no sistema de Listing; a é o deslocamento angular numa dada direção e p o ângulo entre o plano no qual se dá esse deslocamento e o plano horizontal (*). Note-se que correlações entre as coordenadas do sistema de Fick e de Listing podem ser obtidas de:

$$\cos a = \cos h \cos v \quad (12)$$

$$\text{sen } v = \text{sen } a \text{ sen } p \quad (13)$$

$$\tan v = \text{sen } h \tan p \quad (14)$$

$$\tan h = \cos p \tan a \quad (15)$$

A variação relativa do comprimento muscular (E) vem de:

$$E = L/a \quad (16)$$

(*) As medidas de p são contadas a partir do lado medial, em sentido anti-horário; assim, adução corresponde a $p = 0^\circ$; elevação a $p = 90^\circ$; abdução a $p = 180^\circ$ e abaixamento ocular a $p = 270^\circ$.

expressando a porcentagem de "aproveitamento" do trabalho do músculo naquela rotação (BICAS, 1979 d).

B) Para a resultante da variação do componente vetorial durante a excursão ocular.

$$V_I = \frac{S_V}{|S_V| + |S_T| + |S_H|} \quad (17)$$

$$T_I = \frac{S_T}{|S_V| + |S_T| + |S_H|} \quad (18)$$

$$H_I = \frac{S_H}{|S_V| + |S_T| + |S_H|} \quad (19)$$

C) Para o cálculo do desempenho rotacional do músculo

Vista a representação da grandeza que expressa o trabalho total de cada unidade motora do músculo (L) e sua relação com

$$S_V = U_1 \frac{a}{180} + U_2 \text{sen } a + U_3 (1 - \cos a) \quad (20)$$

$$S_T = U_1 \frac{a}{180} + U_2 \text{sen } a + U_3 (1 - \cos a) \quad (21)$$

$$S_H = U_1 \frac{a}{180} + U_2 \text{sen } a + U_3 (1 - \cos a) \quad (22)$$

$$\text{onde } U_1 = (x_0 \text{ sen } p + z_0 \text{ cos } p) y_1 \text{ cos } p$$

$$U_2 = (z_0 \text{ sen } p - x_0 \text{ cos } p) y_1 \text{ sen } p - y_0 z_1 \quad (24)$$

$$U_3 = (x_0 \text{ cos } p - z_0 \text{ sen } p) z_1 - y_0 y_1 \text{ sen } p \quad (25)$$

$$U_4 = (z_1 \text{ sen } p - x_1 \text{ cos } p) (x_0 \text{ sen } p + z_0 \text{ cos } p) \quad (26)$$

$$U_5 = (x_0 \text{ cos } p - z_0 \text{ sen } p) (x_1 \text{ sen } p + z_1 \text{ cos } p) \quad (27)$$

$$U_6 = (x_1 \text{ sen } p + z_1 \text{ cos } p) y_0 \quad (28)$$

$$U_7 = - (x_0 \text{ sen } p + z_0 \text{ cos } p) y_1 \text{ sen } p \quad (29)$$

$$U_8 = y_0 x_1 + (z_0 \text{ sen } p - x_0 \text{ cos } p) y_1 \text{ cos } p \quad (30)$$

$$U_9 = (z_0 \text{ sen } p - x_0 \text{ cos } p) x_1 - y_0 y_1 \text{ cos } p \quad (31)$$

a rotação ocular correspondente (a) de forma a se obter uma porcentagem de "aproveitamento" do trabalho muscular; e conhecendo-se os sentidos pelos quais esse trabalho se aplica (V_I , T_I e H_I), é fácil determinar qual a distribuição do aproveitamento da energia muscular em cada plano de ação (V_E , T_E , H_E), ou seja, os rendimentos respectivos da contração.

$$V_E = V_I \cdot E \quad (32)$$

$$T_E = T_I \cdot E \quad (33)$$

$$H_E = H_I \cdot E \quad (34)$$

RESULTADOS

Os valores resultantes das equações 32 a 34 são postos em forma gráfica, de forma a poder se os recompor, por interpolação, para qualquer posição ocular compreendida dentro dos limites de rotação de 50° para cada lado. Assim, em termos horizontais (h) desde abduções de -50° a aduções de +50° e em termos verticais (v) desde elevações de +50° a abaixamentos de -50°. Nos esquemas que mostram a distribuição dos resultados de V_E , o sinal positivo significa ação elevadora e o negativo, de abaixadora ocular; nos que representam H_E , o sinal positivo é para adução e o negativo para abdução; e nos que dispõe dados de T_E , o sinal positivo vale para exciclodução e o negativo para inciclodução.

As linhas desenhadas correspondem a uma função rotacional constante, e os valores a elas relacionadas não tem unidades, ou seja, são "puros" (pois que originados do produto de outros dois números puros: o da equação 16 e o da 17, 18 ou 19). São porisso independentes de variáveis particulares de cada músculo (e.g., sua área de secção trans-

versal, como fator de proporcionalidade à sua capacidade funcional). Pode-se então interpretá-los em termos porcentuais, assim como E e V_I , T_I ou H_I e fazem comparações entre valores correspondentes aos diferentes músculos. Note-se que $|V_I| + |T_I| + |H_I| = 1$, mas $E \leq 1$. Daí se verifica que a soma de $|V_E| + |T_E| + |H_E|$ numa dada posição ocular não será necessariamente igual a 100% para cada músculo mas sim ao E % respectivo. Por outro lado, a soma dos V_E (ou T_E ou H_E) de todos os músculos, numa dada posição ocular, também não se igualará obrigatoriamente a 100%, como se pode notar da Tabela II e da figura 8.

TABELA II

Valores (porcentuais) para cada músculo do aproveitamento da contração (E), da resultante dos componentes vetoriais em cada plano (V_I , T_I , H_I) e dos produtos respectivos (V_I , T_I , H_I) na rotação ocular da posição primária de fixação até o ponto de $h = +20^\circ$ $v = +20^\circ$

	E	V I	T I	H I	V E	T E	H E
RS	82,17	48,28	-29,92	21,80	39,68	-24,58	17,92
RM	75,26	8,95	9,76	81,29	6,73	7,34	61,18
OI	53,17	42,11	51,07	6,82	22,39	27,15	3,63
RI	-20,27	-41,06	33,04	25,90	8,32	-6,70	-5,25
RL	-45,95	13,73	-21,59	-64,68	-6,31	9,92	20,72
OS	-57,57	-17,88	-46,43	-5,70	27,56	26,73	3,28

A Tabela II mostra a inversão de sinais de V_I , T_I e H_I para, respectivamente, V_E , T_E e H_E , quando o valor de E é negativo, ou seja, quando o músculo se apresenta estendido. Por essa razão, evitando-se então possíveis confusões devidas à sinalização, foram consideradas nas figuras seguintes, apenas as demarcações de valores de V_E , T_E e

H_E nas porções do campo oculomotor em que E se apresenta positivo (contração muscular). Obviamente o valor zero representa: ou comprimento muscular inalterado ($E = 0$, quando a linha delimita as áreas de valor de V_E , T_E ou H_E , positivo ou negativo, da

área vazia de outras curvas); ou então, quando E é diferente de zero e a variável considerada (V_E , T_E ou H_E) é nula (nesse caso a linha delimita valores positivos e negativos da mesma variável, como pode ser visto nas figuras 1a, 1b, 2a, 2b e 6c.

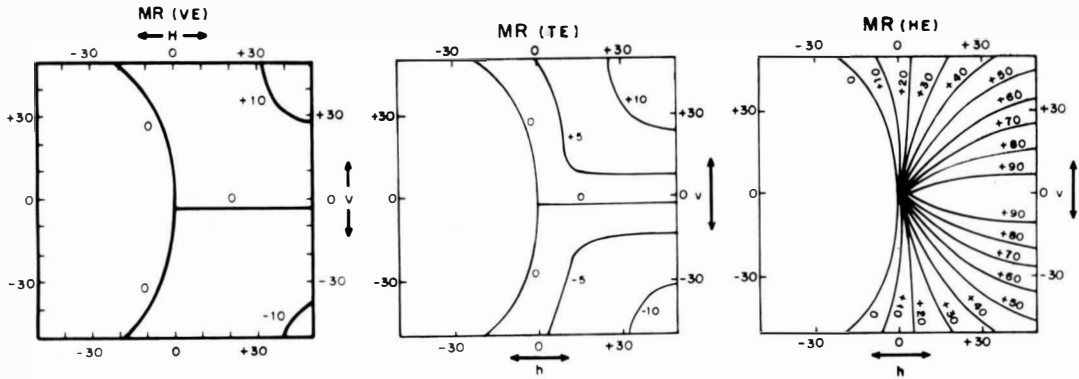


Fig. 1 — Funções rotacionais do reto medial: VE) vertical; TE) torcional; HE) horizontal.

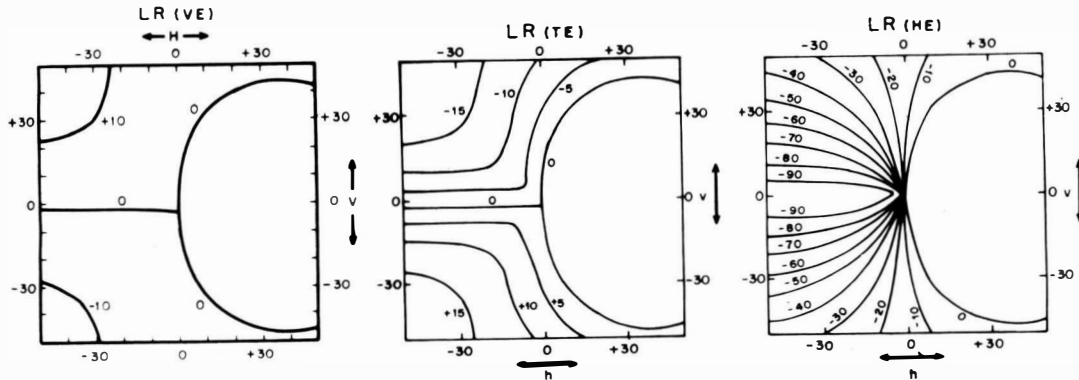


Fig. 2 — Funções rotacionais do reto lateral: VE) vertical; TE) torcional; HE) horizontal.

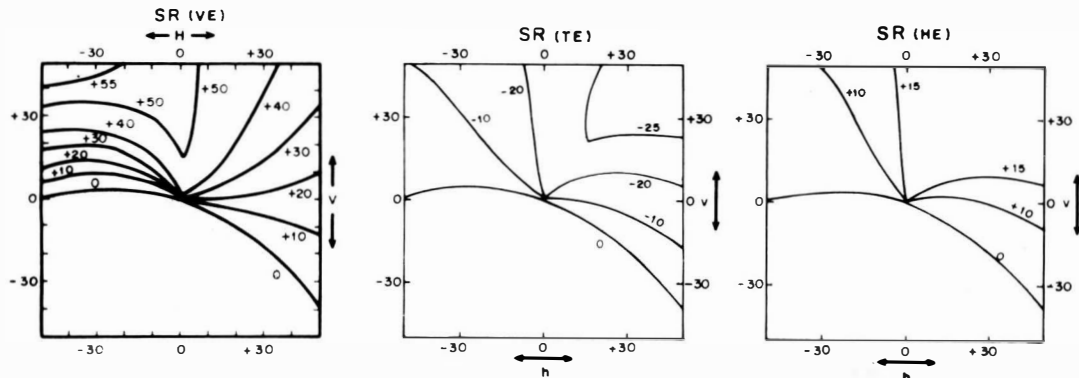


Fig. 3 — Funções rotacionais do reto superior: VE) vertical; TE) torcional; HE) horizontal.

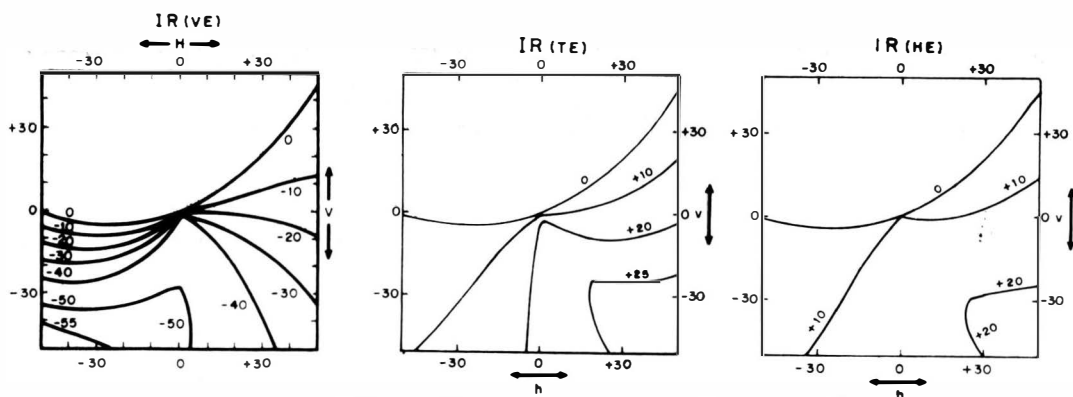


Fig. 4 — Funções rotacionais do reto inferior. VE) vertical; TE) torcional; HE) horizontal.

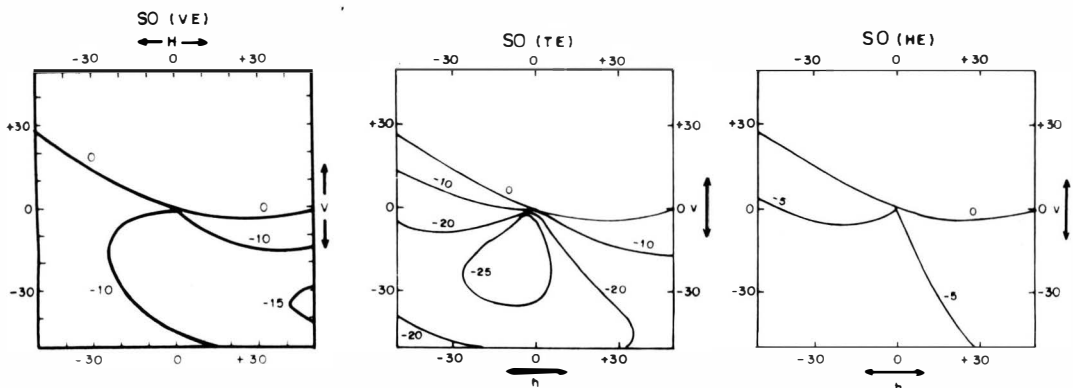


Fig. 5 — Funções rotacionais do oblíquo superior: VE) vertical; TE) torcional; HE) horizontal.

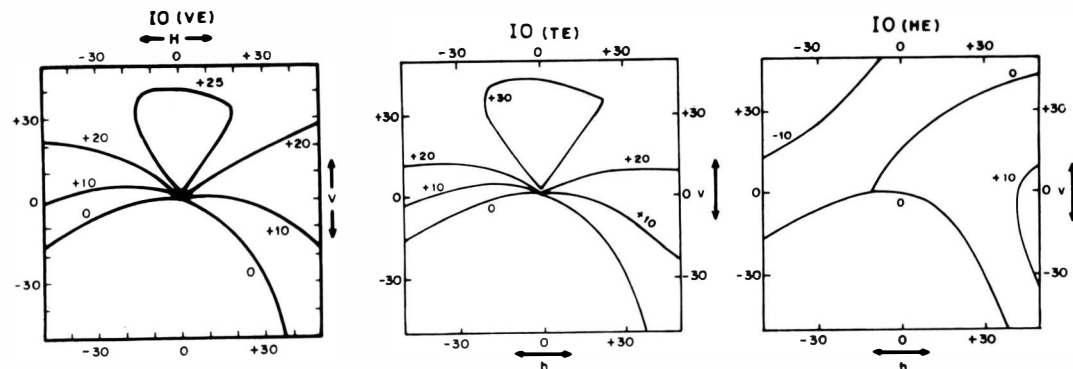


Fig. 6 — Funções rotacionais do oblíquo inferior: VE) vertical; TE) torcional; HE) horizontal.

COMENTÁRIOS

A variável escolhida nesse trabalho para representar a quantificação do desempenho muscular num determinado plano, é bastan-

te útil e certamente uma das mais significativas para o entendimento adequado das funções oculomotoras.

Confirma-se então, pelo exame das várias figuras:

a) que para ação vertical, predominam os retos verticais (o superior em elevação, o inferior em depressão);

b) que ação vertical desses músculos é maior em posições de abdução (embora para pequenos abaixamentos, predomine a ação abaixadora do reto inferior em adução e para pequenas elevações também a ação elevadora do reto superior seja maior em adução);

c) que a ação abaixadora do oblíquo superior é maior em adução; mas que a elevadora do oblíquo inferior é praticamente semelhante, tanto em adução como em abdução, tendo seu máximo numa elevação "pura" a partir da posição primária;

d) que os retos horizontais contribuem para a elevação ou depressão, mas que essas ações são pouco acentuadas;

e) que para a ação horizontal, predominam os retos horizontais (o medial em adução e o lateral em abdução);

f) que essa ação horizontal vai sendo gradativamente perdida à medida que o olho se eleva ou se abaixa;

g) que os retos verticais se comportam como adutores mas mesmo nos pontos onde para isso contribuem maximamente (em adução) são bem menos atuantes que os retos horizontais. Curiosamente a ação do reto inferior aparece como maior que a do reto superior;

h) que os oblíquos são ainda menos eficazes no que concerne à ação horizontal: o superior é fraquíssimo abductor (atuando maximamente em abdução); e o inferior é abductor em abdução (e elevação) e adutor em adução.

Note-se que a distribuição das ações horizontais para os retos verticais e oblíquos

confirmam os ensinamentos tradicionais a respeito de suas participações nas variações em "A" e em "V". Saliente-se também a discreta predominância da função adutora em abaixamento e da abdução em elevação e abdução, fato que concorda com o achado mais freqüente da variação em "V" (figura 8 c);

i) que para a ação torcional, a predominância de músculos não é tão nítida; embora se possa dizer que os elevadores predominam em elevação (o OI em abdução e em parte do campo oculomotor em adução; o RS em uma pequena área limitada à adução); os abaixadores em abaixamento ocular (o OS em abdução e o RI em adução) (figura 7 c);

j) que os músculos horizontais são os que menos contribuem para essa função, sendo o medial exciclodutor em elevação e adução e inciclodutor em abaixamento e adução, enquanto o lateral é exciclodutor em abaixamento e abdução e inciclodutor em elevação e abdução;

k) que a ação torcional dos retos verticais, como a horizontal, é maior em posições de adução; mas agora esses músculos se antagonizam, o reto superior funcionando como exciclodutor e o reto inferior como inciclodutor;

l) que a ação exciclodutora do oblíquo inferior, de todas a mais desenvolvida, alcança seu máximo em uma faixa de elevação "pura", diminuindo tanto em posições de adução quanto nas de abdução. A máxima ação do oblíquo superior (inciclodutora) é no abaixamento ocular em discreta abdução.

A figura 7 sintetiza as observações anteriores, mostrando o músculo cuja ação vertical (fig. 7 a), horizontal (fig. 7 b) e torcional (fig. 7 c) predomina em cada posição do campo oculomotor.

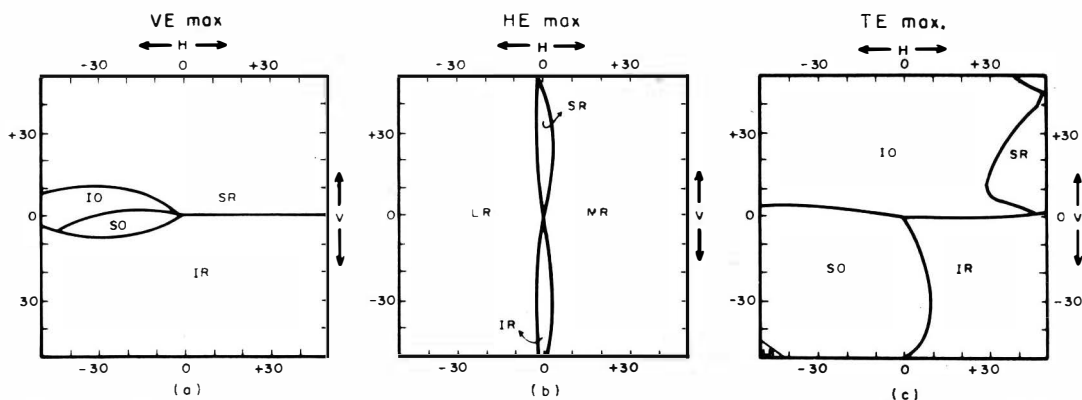


Fig. 7 — Indicação do músculo predominante em cada posição do campo oculomotor, com respeito à função torcional: a) vertical; b) horizontal; c) torcional.

Confirma-se então a impressão generalizada de que o reto medial é o principal

adutor em (praticamente) qualquer posição de adução, assim como o reto lateral é o

principal abductor em (praticamente) toda posição de abdução.

Já para a ação vertical, encontra-se um dado correspondente: o reto superior é o elevador dominante em (praticamente) qualquer posição de elevação, enquanto o reto inferior é o abaixador principal em (praticamente) toda posição de abaixamento ocular. Esse fato sugere que os músculos verticais homônimos sejam os conjugados: por exemplo: o RSD e o RSE para as ações de elevação tanto em dextro como em levoversão e o RID e o RIE para as de abaixamento tanto em dextro como em levoversão, ao contrário da assunção tradicional de conjugação do RSD e OIE (para supradextroversão), do RSE e OID para supraleoversão) do RID e OSE (para infradextroversão) e do RIE e OSD (para infraleoversão). Embora essa conclusão não necessariamente afete o conceito de "posição diagnóstica" para o oblíquo superior, já que mesmo com ação depressora secundária ele é mais abaixador em adução do que em abdução (fig. 5 a), o mesmo não se pode dizer com relação ao oblíquo inferior; sua ação elevadora máxima não se dá nas posições que comumente se consideram como suas diagnósticas (em elevação e adução), mas nas próximas à da elevação "pura" (fig. 6 a). É aliás de se sublinhar que a pequena faixa do campo oculomotor em que a ação vertical dos oblíquos supera a dos retos verticais ocorre em abdução (fig. 7 a). Note-se que tais dados fazem sentido com as observações clínicas de "elevação em adução con-

servada após miectomias totais de oblíquo inferior" e, ao contrário, "elevação em adução (e abdução) praticamente ausente após secções accidentais do reto superior".

Outro dado que discrepa do ensino ortodoxo é o que se refere à ação horizontal do oblíquo inferior. Realmente todas as demais generalizações feitas a partir do diagrama de Márquez-van der Hoeve, isto é, de que o reto superior é, pela ordem, elevador, inciclodutor e adutor; de que o reto inferior é abaixador, exciclodutor e adutor; de que o oblíquo superior é inciclodutor, abaixador e abductor; e de que o oblíquo inferior é exciclodutor e elevador são confirmadas. Mas a ação abductora do oblíquo inferior não o é em qualquer situação do olhar, valendo somente em algumas posições, em elevação e abdução (fig. 6 c). Em outras, o músculo é adutor. De fato essa distribuição de ações concorda mais com a marcante e conhecida influência da hiperfunção do oblíquo inferior nas variações em "V" do que se o músculo fosse apenas um abductor fraco, como o oblíquo superior (*).

Aliás, com respeito aos fenômenos "A" ou "V", encontra-se, mecanicamente, uma explicação para a ocorrência mais frequente das variações em "V": a figura 8 mostra a somatória dos valores de V_E , T_E e H_E (nos campos em que os músculos se acham encurtados), sobressaindo-se a função adutora em abaixamento ocular e a abductora em elevação (figura 8 c).

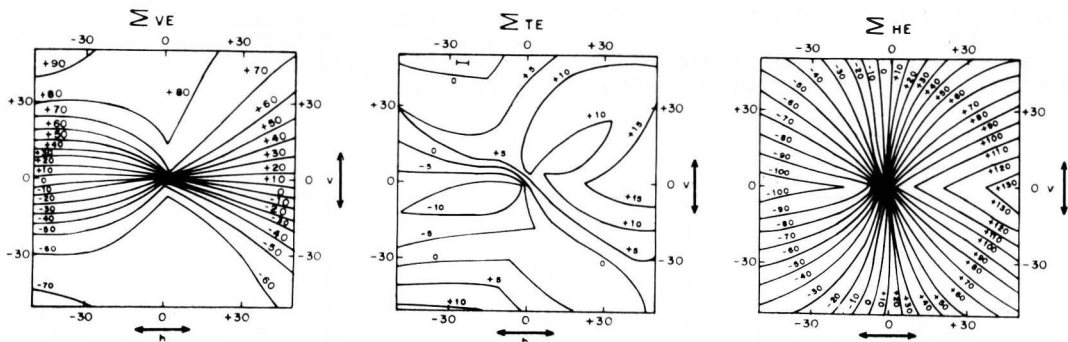


Fig. 8 — Somatórias das funções rotacionais dos músculos extra-oculares, nos campos de sua contração, relativas às ações: VE) vertical; TE) torcional; HE) horizontal.

CONCLUSÕES

A variável escolhida para representar as funções oculomotoras de um músculo em torno dos diferentes eixos fundamentais de rotação, apresenta uma série de vantagens teóricas, podendo ser tomada, genericamente, com relativa segurança. Por ela, são de fato confirmadas as noções substanciais da oculo-

motricidade, como a das funções atribuídas para cada músculo, a participação de retos verticais e oblíquos nas variações em "A" e

* A diferença entre os valores máximo e mínimo de H_E alcança aproximadamente 29,87% para o oblíquo inferior e somente cerca de 7,84% para o superior. (Os dados são referidos como "aproximados" por se originarem de computações de posições oculares guardando intervalos de 5° em 5°, tanto para h como para v).

"V", etc. Os dados apresentados em forma de diagramas, expandem entretanto a possibilidade de se considerar as ações musculares de um ponto de vista amplo, dinâmico, ao contrário de um restrito à posição primária, ou quando muito às do plano horizontal, facultando comparações quantitativas das funções rotacionais. Assim, alguns resultados, apoiados por observações clínicas (por exemplo, a de que o reto superior é o principal elevador do olho, assim como o reto inferior é o principal abaixador, tanto em abdução como em adução), conduzem à necessidade de se rever o conceito de conjugação muscular nas supra e infraversões. Outros achados afetando o ensino teórico clássico são os de que o oblíquo inferior comporta-se como músculo adutor, tanto em posição primária como em outras de adução (o que corrobora a importância da hiperfunção desse músculo na gênese de uma variação em "V", muito mais do que se ele fosse um abductor também em adução) enquanto sua "posição diagnóstica" não se subordina ao sentido tradicional (elevação e adução), mas àquele de uma elevação "pura" (o que confirma a reduzida importância desse músculo na elevação em adução e sugere uma explicação para a relativa baixa frequência com que paralisias do mesmo são diagnosticadas, já que a maior falta de elevação causada por elas ficaria mascarada pela ação do reto superior ipsilateral).

RESUMO

O artigo considera a composição das influências vectoriais em um dado plano, durante o deslocamento ocular e também o aproveitamento relativo da contração de cada músculo. O valor numérico resultante do produto dessas grandezas é um número puro, independente de variáveis particulares de cada caso, e expressa o comportamento funcional de cada músculo para cada deslocamento ocular a partir da posição primária. As premissas orientadoras dos cálculos são discutidas e os resultados apresentados em forma gráfica para posições compreendidas entre abdução de -50° a adução de $+50^\circ$ e elevação de $+50^\circ$ a abaixamento de -50° . O exame dos diagramas obtidos mostra que as noções fundamentais sobre as ações musculares são em grande parte confirmadas. Nesse aspecto, a maior vantagem oferecida pelos gráficos é a de possibilitar a diferenciação quantitativa das funções musculares pelas várias posições do olhar. Em alguns casos, entretanto, os resultados discordam das assunções teóricas clássicas e admitem novas explicações para fatos clínicos bem conhecidos, tais como o de que os retos verticais são marcadamente os músculos de ação vertical principal, tanto em abdução como em adução; o de que o oblíquo inferior é abductor em certas posições (principalmente de elevação e abdução), mas adutor em outras; o de que o sentido no qual se observa a máxima função elevatória do oblíquo inferior não é em elevação e adução mas em elevação quase pura. Essas informações são coerentes com as de que, por exemplo, a paralisia do reto superior afeta profundamente a elevação, tanto em abdução, como em adução; que o oblíquo inferior é um importante músculo na produção de variações em V e que sua paralisia pode passar despercebida no tocante a sua ação vertical, já que essa é pequena e nas posições em que mais se destaca, pode ser perfeitamente mascarada pela função do reto superior.

Em contrapartida, por fim, uma série de outros conceitos deverão ser reexaminados à luz desses dados, principalmente o de "conjugação muscular" em supra e infraversões.

SUMMARY

The paper considers the combination of vectorial influences in a given plane during an ocular displacement and the relative utilization of the muscular contraction. The value which results from the product of such quantities is a pure number, independent of the specific variables of each case; it expresses the functional behaviour of each muscle for a given rotation starting from the primary position. The premises leading to the calculations are discussed and the results are displayed in graphic form, for ocular positions ranging from an abduction of -50° to an adduction of $+50^\circ$ and from an elevation of $+50^\circ$ to a depression of -50° . The examination of those graphs shows that basic notions about muscular actions are mostly confirmed. Under this point of view, the best information given by them refers to the variation of the muscular actions accordingly the ocular position. In some cases, however, the results disagree with the classic theoretic assumptions and admit new explanations for well known clinic facts; e.g., the vertical recti markedly are the chief muscles for the vertical action, both in abduction and in adduction; the inferior oblique is an abducting muscle in some positions (mainly in elevation and abduction) but adducting in other ones; the sense in which it shows its maximum elevating action is not in elevation and adduction but in an almost pure elevation. Such informations support others like that the paralysis of the superior rectus deeply affects elevation, either in abduction as in adduction. That the inferior oblique is an important muscle for causing V patterns, and that concerning its vertical action, its paralysis may be unrecognized, since such a function is small and occurs maximally in positions where it can be masked by the superior rectus function. Opposedly, at last, some other concepts must be reviewed as consequence of the data, mainly that of the yoke muscles which act in supra and infraversions.

REFERÊNCIAS

- BICAS, H. E. A. — Estudos da Mecânica Ocular. II: Análise das Rotações Oculares. Enviado para publicação. Arq. Bras. Oftal., 1980a.
- BICAS, H. E. A. — Estudos da Mecânica Ocular. III: Componentes vectoriais da força de cada músculo nas rotações oculares. Enviado para publicação. Arq. Bras. Oftal., 1980b.
- BICAS, H. E. A. — Estudos da Mecânica Ocular. IV: Comprimento muscular e trabalho respectivo em função das rotações oculares. Enviado para publicação. Arq. Bras. Oftal., 1980c.
- BICAS, H. E. A. — Estudos da Mecânica Ocular. V: Relação entre a variação do arco de contacto de um músculo e a rotação ocular respectiva. Enviado para publicação. Arq. Bras. Oftal., 1980d.
- BICAS, H. E. A. — Estudos da Mecânica Ocular. VI: Resultante dos componentes da ação muscular em torno de cada eixo de movimento, durante uma rotação ocular. Enviado para publicação. Arq. Bras. Oftal., 1980e.
- BOEDER, P. — The co-operation of extraocular muscles. Am. J. Ophthalmol., 51: 469-481, 1961.
- BOEDER, P. — Co-operative action of extra-ocular muscles. Brit. J. Ophthalmol., 46: 397-403, 1962.
- CASTANERA-PUEYO, A. — Estrabismos y Heteroforias. Fisiopatología de la visión binocular. 3.ª Ed., Editorial Paz Montalvo, Madrid, 1968, pp. 100.
- KREWSON, W. E. — III: The action of the extraocular muscles. A method of vector-analysis with computations. Trans. Am. Ophthalmol. Soc., 48: 443-486, 1950.
- PARK, R. S.; PARK, G. E. — The center of ocular rotation in the horizontal plane. Am. J. Physiol., 104: 545-552, 1933.
- VERRIJP, C. D. — Ocular movements. Arch. Ophthalmol. N. Y., 4: 73-83, 1930.
- VOLKMANN, A. W. — Zur Mechanik der Augenmuskeln. Ber. Verh. Ges. sachs. Wissenschaft, 21: 28-70, 1869.