

# Estudos da Mecânica Ocular

## VI - Resultante dos Componentes da Ação muscular em torno de cada Eixo de movimento, durante uma Rotação Ocular (\*)

Harley E. A. Bicas \*\*

Já se viu num trabalho anterior que os componentes vetoriais da ação muscular V, T, e H correspondem aos valores relativos da força que um dado músculo dispense em cada plano fundamental, ou seja, em torno de cada eixo de rotação ocular (X, Y, Z) a partir do ponto em que o olho se encontra ( $P_r$ ).

Assim, considerando-se por exemplo o reto superior, obtém-se para a posição primária: V = 55,42% (elevação), T = -25,79% (inciclodução) e H = 18,79% (adução), de onde se infere que a ação vertical do RS é aproximadamente o dobro da torcional e o triplo da horizontal, quando esse músculo traciona o olho a partir da posição primária. Por outro lado, essa ação vertical aumenta (enquanto as outras diminuem) chegando a 100% numa abdução de 26,738°. Em valores maiores de abdução, V começa novamente a decrescer, enquanto T e H aumentam, mas com sinais (sentidos) opostos aos anteriores (Tabela I).

TABELA I

Valores dos componentes vetoriais (c.v.) no plano sagital (V), frontal (T) e horizontal (H) para o reto superior, em função do posicionamento ocular no plano horizontal (h).

h	0°	-25°	-26,738°	-30°	-53,476°
c.v.					
V	55,42%	95,34%	100,00%	91,60%	55,42%
T	-25,79%	- 2,69%	0 %	4,86%	25,79%
H	18,79%	1,96%	0 %	- 3,54%	-18,79%

Por exemplo, a partir da posição de abdução de 30°, V = 91,60% (elevação), T = 4,86% (exciclodução) e H = -3,54% (abdução). O fato do músculo ser agora abdutor (H < 0) não implica, logicamente, que a abdução até aquele ponto (h = -30°) tenha sido efetuada por ele. Na verdade, quando o olho gira da posição primária à posição de abdução de 30° no plano horizontal (h = -30°, v = 0°), a maior parte da ação horizon-

tal (H) do reto superior é dispendida no sentido de adução (H > 0), isto é, opondo-se à rotação imprimida ao olho (fig. 1 c).

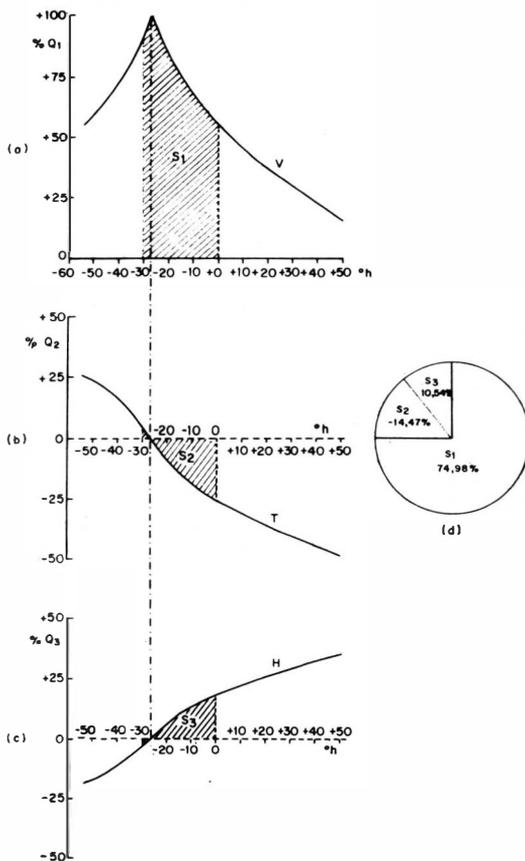


Fig. 1 — Representação da variação dos componentes vetoriais do reto superior (valores percentuais dos quais são tomados em ordenadas) em abduções no plano horizontal a partir da posição primária (valores expressos em abscissas). A área determinada por cada curva significa o dispêndio relativo de ação do músculo durante a rotação respectiva: (a) no plano de ação vertical; (b): no plano de ação torcional; (c): no plano de ação horizontal.

\* Desenvolvido com auxílios da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (São Paulo, Brasil) e da Smith-Kettlewell Eye Research Foundation (San Francisco, California, U.S.A.).

\*\* Professor Adjunto, Departamento de Oftalmologia e Otorrinolaringologia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

14.100 — Ribeirão Preto — SP. — Brasil.

Em suma, os componentes vetoriais V, T, H, embora deem a conhecer de que modo a força de tração muscular se distribui pelos eixos de rotação X, Y, Z (componentes direcionais do movimento a ser feito quando o olho é tracionado a partir daquela posição considerada) não contribuem à noção de como o trabalho muscular realizado entre dois pontos de fixação se distribui pelos mesmos eixos X, Y, Z.

Para conhecer o valor do trabalho dispendido por um músculo em torno de um dado eixo de rotação (por exemplo, Z no caso) quando o olho gira de uma posição (por

$$S_n = \int_0^a Q_n = \int_0^a (U_{3n-2} + U_{3n-1} \cos a + U_{3n} \sin a) da = F(a) - F(0) = U_{3n-2} \frac{\pi a}{180} + U_{3n-1} \sin a + U_{3n} (1 - \cos a)$$

onde n representa o componente buscado: para n = 1, S<sub>1</sub> representa o valor de V, para n = 2, S<sub>2</sub> representa o de T e para n = 3, S<sub>3</sub> representam para cada músculo os componentes proporcionais da força usada para girar o olho em torno dos eixos X, Y, Z, na extensão de a graus a partir da posição primária, na direção p.

Nessas condições pode-se então reexaminar a relação das áreas S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, que correspondem à integração das ações V, T e H a partir da posição primária até uma outra (que pode ser definida pelos parâmetros h e v ou então por p e a: direção e amplitude do movimento) (Tabela II e figura 1 d).

TABELA II

Valores integrados dos componentes vetoriais (c.v.i.) da ação do reto superior, entre a posição primária de fixação e outro posicionamento ocular no plano horizontal (h).

c.v.i.	h		
	-25°	-30°	-53,476°
S <sub>V</sub>	71,05%	74,98%	100%
S <sub>T</sub>	-16,74%	-14,47%	0%
S <sub>H</sub>	12,20%	10,54%	0%

Assim, para se chegar à posição de abdução de 30° (h = -30°) a partir da primária, três quartos da força gasta pelo reto superior são aproveitados para "elevação" (na realidade contrabalançando outras ações depressoras, já que o olho permanece no plano horizontal), cerca de 10% consumida em "adução" (na verdade de oposição ao movimento do olho para o lado temporal) e o resto em "inciclodução" (e também aqui, esta ação é apenas neutralizadora de outras

exemplo, h = 0°, v = 0°) a outra (por exemplo, h = -30°, v = 0°) é portanto necessário inicialmente integrar os valores dos componentes da força ou tração, exercidos naquele plano (H) entre os dois pontos considerados. No caso da figura 1, trata-se de determinar a área sub-entendida pela curva de H (ou S<sub>3</sub>).

As áreas S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, cobertas pelos componentes vetoriais Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> ou Q<sub>3</sub> (equações 51 a 53, Capítulo II) podem então ser calculadas entre os intervalos 0 (posição primária) a a (onde a é o deslocamento total do olho na direção p) pela integral:

tendentes a produzir exciclodução). Porisso, como o músculo muda suas "ações" torcional e horizontal (na abdução de 26,738°) mas mantém a vertical, é lógico que o componente vertical proporcional do trabalho aumente embora o valor absoluto do componente vertical vetorial diminua. Em outras palavras, embora o componente vetorial V seja maior na abdução de 25° que na de 30° (Tabela I), a área proporcional S<sub>v</sub>, correspondente à soma dos componentes vetoriais a partir da posição primária é maior na posição h = -30° que na de -25° (Tabela II). Aliás, para uma abdução de 53,476° os componentes vetoriais V, T, e H são outra vez numericamente iguais aos da posição primária, mas com sinais trocados para T e H, isto é: V = 55,42%, T = 25,79% e H = -18,79% (Tabela I). Assim, para chegar a essa posição, partindo da posição primária, o reto superior passa a metade da excursão (até abdução de 26,738°) como inciclodutor e adutor e a outra metade com ações opostas: exciclodução e abdução. Consequentemente, a soma do trabalho feito em torno dos eixos V (torção) e Z (ad-abdução) é nula e toda a energia é gasta em torno do eixo X (isto é, no plano vertical). De fato, as integrais proporcionais para o ponto de abdução de 53,476° são:

S<sub>V</sub> = 100%; S<sub>T</sub> = 0%; S<sub>H</sub> = 0% (Tabela II).

Note-se que essa análise vetorial integrada das rotações oculares relaciona as proporções das ações vertical (S<sub>v</sub>), torcional (S<sub>T</sub>) e horizontal (S<sub>H</sub>) para cada músculo, particularizadamente e portanto não significa relações de trabalho entre músculos. Ou seja, ao se obter S<sub>v</sub> = 100% para o reto superior na abdução de 0° a 53,476° no plano horizontal, isso não quer dizer que todo o poder

para a elevação (ou melhor, toda a energia que se contrapõe às forças de depressão) seja realizado pelo reto superior.

Realmente, o exame comparado das várias figuras (2 a 7) mostra que para se atingir essa posição à partir da primária, o reto inferior contribui decisivamente com ação depressora (fig. 5 a), assim como em menor proporção o oblíquo superior (fig. 6 a). Mas

mesmo que se despreze a contribuição elevatória praticamente nula do reto medial (fig. 2 a) e do reto lateral (fig. 3 a) resta ainda o oblíquo inferior (fig. 7 a) que pode bastar para contrabalançar as tendências depressoras em abdução. Em outras palavras, a falta de abaixamento ocular em abdução não necessariamente implica em normalidade do reto superior.

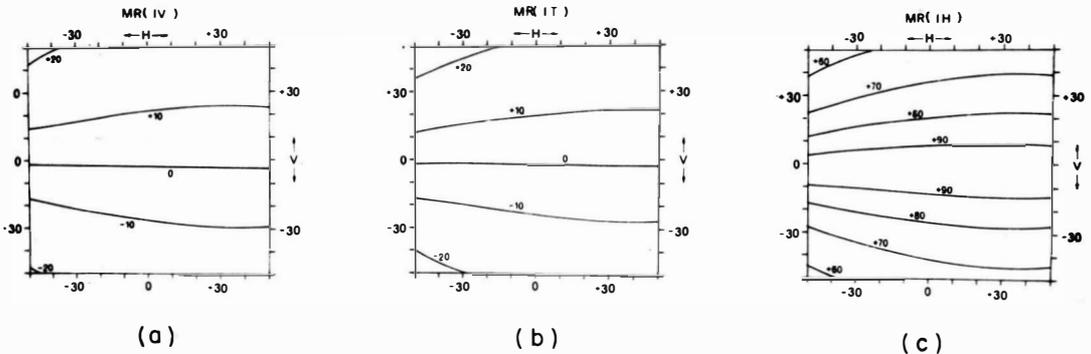


Fig. 2 — Valores relativizados (porcentuais) da variação do componente vetorial de ação vertical (a), torcional (b) e horizontal (c) do reto medial em rotações oculares a partir da posição primária de fixação, até o ponto considerado.

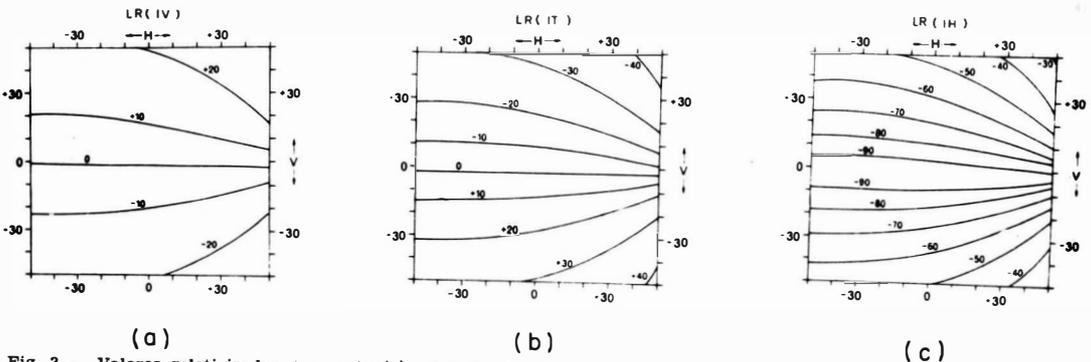


Fig. 3 — Valores relativizados (porcentuais) da variação do componente vetorial de ação vertical (a), torcional (b) e horizontal (c) do reto lateral em rotações oculares a partir da posição primária de fixação, até o ponto considerado.

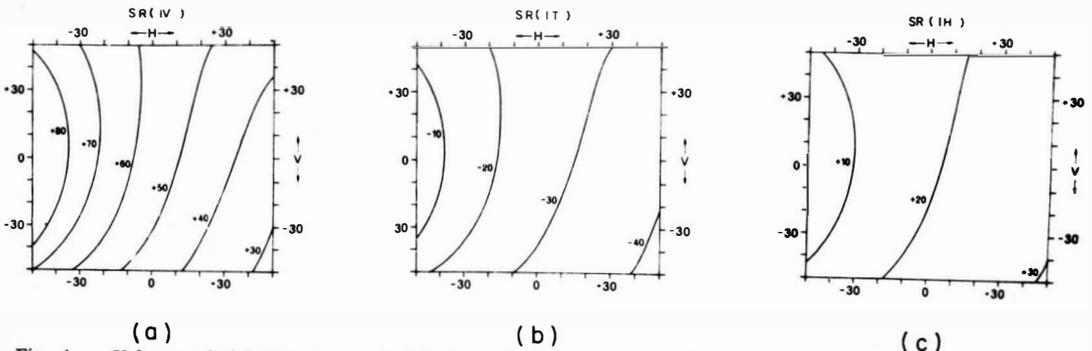


Fig. 4 — Valores relativizados (porcentuais) da variação do componente vetorial de ação vertical (a), torcional (b) e horizontal (c) do reto superior em rotações oculares a partir da posição primária de fixação, até o ponto considerado.

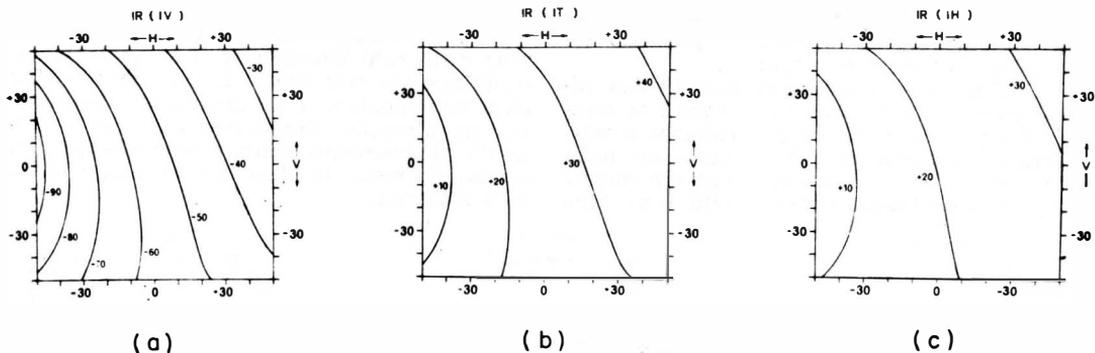


Fig. 5 — Valores relativizados (porcentuais) da variação do componente vetorial de ação vertical (a), torcional (b) e horizontal (c) do reto inferior em rotações oculares a partir da posição primária de fixação, até o ponto considerado.

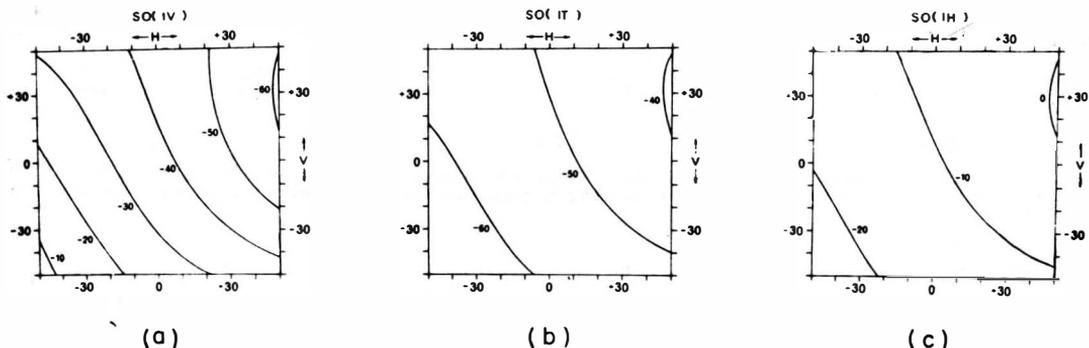


Fig. 6 — Valores relativizados (porcentuais) da variação do componente vetorial de ação vertical (a), torcional (b) e horizontal (c) do oblíquo superior em rotações oculares a partir da posição primária de fixação, até o ponto considerado.

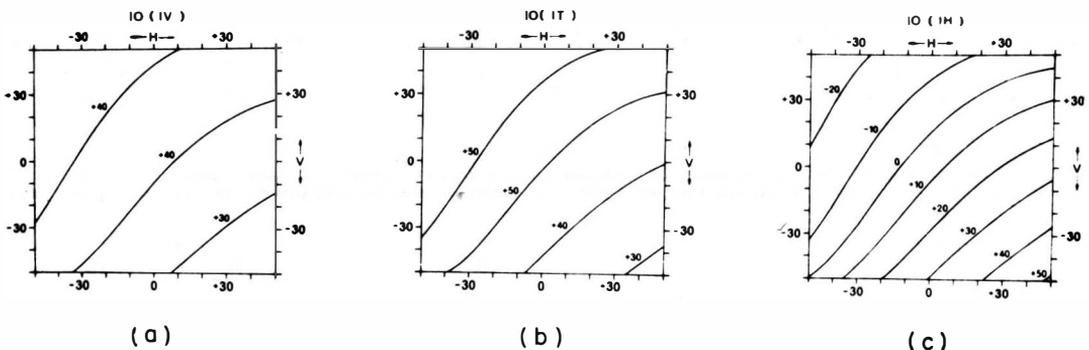


Fig. 7 — Valores relativizados (porcentuais) da variação do componente vetorial de ação vertical (a), torcional (b) e horizontal (c) do oblíquo inferior em rotações oculares a partir da posição primária de fixação, até o ponto considerado.

Ressalte-se que as ações horizontais dos oblíquos confirmam a expectativa que se tem sobre eles com respeito às variações em A e em V. De fato, na hiperfunção do oblíquo superior apareceria uma variação em A, compatível com maior abdução em depressão (fig. 6 c) e na hiperfunção do oblíquo inferior, surgiria uma variação em V, correspon-

dente a maior abdução em elevação e/ou adução em depressão (fig. 7 c). Já entretanto para os retos verticais, a ortodoxia não é confirmada: a hiperfunção do reto superior causaria variação em A, ligada a maior adução em elevação (contrariamente ao que ocorre na fig. 4 c) e a hiperfunção do reto inferior manifestaria variação em V, relacionada a

maior adução em depressão (também contrariamente ao que se vê na fig. 5 c). É verdade que as diferenças de ação horizontal em elevação e depressão são mais acentuadas no caso dos oblíquos (especialmente no do inferior) que no dos retos verticais, mas mesmo assim é curiosa a contradição ao pensamento dominante. Também interessante é a ação adutora do oblíquo inferior (fig. 7 c). De qualquer forma, a análise contida no presente trabalho não leva em conta o quanto de trabalho é realmente realizado (pela contração muscular respectiva), devendo-se para uma visão mais panorâmica das funções oculomotoras, consultar o capítulo seguinte (VII) desta série.

Saliente-se por fim a homogeneidade desses gráficos de integrais proporcionais das ações vetoriais para cada músculo. Ou seja: na figura 2 as linhas são praticamente horizontais, convergindo para um ponto em abdução; na figura 3 são também horizontais, convergindo para um ponto em adução; na 4 apresentam uma discreta inclinação de baixo e à esquerda para cima e à direita (o que também se repete na figura 7) e na 5 a inclinação é oposta (o que também se repete na figura 6). Enfim, há uma identidade entre o tipo de gráfico (independentemente de que a ação considerada seja a vertical, a torcional ou a horizontal) e o músculo a ele relacionado.

Outro ponto bastante sugestivo é o da distribuição das ações verticais e torcionais bastante equilibrada, enquanto a horizontal, não o é: para as ações verticais (figs. 2 a, 3 a, 4 a, 5 a, 6 a, 7 a) o reto superior e o oblíquo inferior permanecem em todos os campos como elevadores, ganhando a contribuição dos retos horizontais em elevação; os depressores são o oblíquo superior e o reto inferior, recebendo a ajuda dos retos horizontais em depressão. Isso configura uma equilibrada distribuição de forças. Para as ações torcionais (figs. 2 b, 3 b, 4 b, 5 b, 6 b, 7 b), oblíquo inferior e reto inferior aparecem como exciclodutores em todo o campo, auxiliados pelo reto medial em elevação e pelo reto lateral em depressão; os inciclodutores surgem como o oblíquo superior e o reto superior por todo o campo, além do reto lateral em elevação e do medial em depressão. Também aqui se manifesta uma distribuição aproximadamente uniforme de forças opostas. Já para as ações horizontais, três músculos aparecem como adutores em todo o campo: o reto medial (fig. 2 c) o superior (fig. 4 c) e o inferior (fig. 5 c), além do oblíquo inferior na metade infero-interna (fig. 7 c) e do oblíquo superior num pequeno segmento no canto súpero-interno (fig. 6 c). Abdutores são o reto lateral em todo o campo (fig. 3 c), o oblíquo superior idem, exceto pelo pequeno

segmento no campo nasal superior (fig. 6 c) e o oblíquo inferior na metade súpero-externa (fig. 7 c). Assim enquanto esta última porção do campo motor é servida por três abdutores (RL, OS e OI) contra três adutores (RM, RS e RI), a metade nasal inferior do campo oculomotor se relaciona com quatro adutores (RM, RS, RI e OI) contra dois abdutores (RL e OS) havendo mesmo um pequeno segmento nasal superior em que o único abductor é o reto lateral, contra todos os outros, adutores. Talvez isso possa explicar a maior facilidade dos olhos apresentarem esotropia e variações em V do que exotropia e variações em A.

## RESUMO

O estudo isolado dos componentes vetoriais da ação de um músculo numa dada posição ocular, só pode mostrar como se distribuiriam as rotações em cada plano funcional (vertical, torcional, horizontal), se o movimento fosse iniciado a partir daquele ponto. Para saber, entretanto, com que função um músculo se comporta num deslocamento ocular desde um ponto de fixação até outro, é necessário integrar os valores do vetor estudado (por exemplo, o vertical), por todo o trajeto; obtém-se então um dado representativo da área coberta pela variação desse vetor durante o deslocamento respectivo. Relacionando-se o valor dessa área com o total das áreas (esta e a dos outros componentes) chega-se a uma razão porcentual que significa a resultante funcional da ação do músculo naquele plano considerado (vertical, torcional ou horizontal) durante o deslocamento ocular. Os cálculos são dispostos em forma gráfica, para deslocamentos a partir da posição primária a quaisquer pontos contidos entre os de adução de + 50° aos de abdução de -50° e os de elevação de + 50° aos de abaixamento de - 50°.

A observação desses gráficos permite uma série de inferências entre as quais a de que a resultante da variação do componente vetorial horizontal é, no caso do reto superior (ação adutora), maior em adução e abaixamento e no caso do reto inferior (ação adutora) em adução e elevação, enquanto para o oblíquo superior (ação abdução) em abdução e abaixamento e para o oblíquo inferior há maior ação abdução em elevação e abdução e maior ação adutora em abaixamento e adução. Isso aparentemente confirmaria a ação tradicional tomada para os oblíquos para explicação de variações em "A" e "V" e contradiria a dos retos verticais. Mas há de se notar que essa não é a única função oculomotora, devendo-se para uma análise mais ampla considerar também o trabalho total do músculo durante o deslocamento.

## SUMMARY

The isolated values of the vectorial components of the muscular action in a given position of ocular fixation can only show as the rotations in each functional plane (vertical, torsional, horizontal) would occur, if the movement were initiated from that point. However, for the knowledge of the muscular function during an ocular movement from one position of fixation to another, one needs to integrate values of the considered vector (e.g., the vertical) assumed in each point of the rotation. It is then obtained a value which represents the area covered by the variation of this vector during the respective ocular displacement. Such a value related to the total area (the sum of this area and those of the other two vectorial components) gives a porcentual ratio which means the functional resultant of the muscular action in that considered plane (vertical, torsional or horizontal) during the ocular movement. The calculations are graphically

displayed for ocular rotations from the primary position to any other point between an adduction of  $50^\circ$  to an abduction of  $50^\circ$  and between an elevation of  $50^\circ$  to a depression of  $50^\circ$ . The analysis of such graphs allows some inferences among which that the resultant for the variation of the horizontal vectorial component is greater: in adduction and depression for the superior rectus (adducting action), in adduction and elevation for the inferior rectus (adducting action), in abduction and depression for the superior oblique (abducting ac-

tion), in elevation and abduction (abducting action) or in adduction and depression (adducting action) for the inferior oblique. This would apparently confirm the traditional actions of the oblique muscles for the explanation of A and V patterns, though would conflict with those considered for the vertical recti. However one should note that this is not the only important oculomotor function and for a more extensive view of the problem, the total muscular work which is spent during the eye displacement must also to be considered.