

Ajustamentos posicionais oculares e estabilizações do equilíbrio oculomotor sem impedir rotações*

Ocular positional adjustments and stabilization of oculomotor balance without hindering rotations

Harley E. A. Bicas ⁽²⁾

RESUMO

Apresenta-se o princípio de introdução de forças no sistema oculomotor pelo uso de campos magnéticos com duas vantagens principais e específicas desse método: 1) A de que as forças atuam sem contato material entre o(s) elemento(s) que as geram (um ímã permanente em posição periorbitária) e o ponto de sua aplicação (p.ex., uma placa ferromagnética fixada à superfície escleral). 2) A de que tais forças, embora atuando permanentemente, não são constantes, mas variam com as distâncias entre os elementos do circuito magnético. Isso permite que se introduzam no sistema oculomotor forças suficientes para uma condição (por exemplo, bloqueio de um nistagmo), sem impedir que outras mais intensas as superem, desfazendo o vínculo estabilizador e permitindo rotações normais. Ligas de neodímio, ferro e boro permitem a obtenção de ímãs permanentes muito eficientes que, em tamanhos muito reduzidos, geram forças de ordens necessárias nesses processos de estabilizações oculomotoras. Montagens com “armaduras” suscitam outras melhorias de desempenho. Por outro lado, as placas para uso na superfície escleral impedem o efeito do campo magnético além delas. O método, assim estudado, é por isso bem indicado para o bloqueio de nistagmos, mas pode servir também a outras aplicações, como a de ajustamento e estabilização de posições oculares em seqüência a cirurgias de correção de estrabismo.

Palavras-chave: Nistagmos; Ímãs; Ajustamentos.

INTRODUÇÃO

A) Princípios

De maneira abrangente, os desequilíbrios oculomotores podem ser classificados em **estáticos** (como no caso de estrabismos em que, apesar de boas rotações serem possíveis, há uma inadequação no direcionamento dos eixos visuais a cada situação do objeto de fixação) e **dinâmicos** (quando há movimentos oculares incoordenados, ou coordenados mas indesejados, como no caso de certas formas de nistagmos em que, ao contrário, apesar de um bom relacionamento das direções dos eixos visuais, há uma instabilidade no que toca à manutenção de uma boa “fixação” ocular); isto é, por defeitos de posicionamento (espaciais) e de estabilidade (temporais). As correções de quaisquer desequilíbrios oculomotores devem, por isso, atender a essas exigências: num estrabismo permitir um ajustamento posicional (paralelismo dos eixos visuais) em todas as direções, conseqüentemente sem comprometer

* Trabalho agraciado com o primeiro “Prêmio Oftam-C.B.E.”, Categoria Sênior, 1997.

⁽²⁾ Professor Titular, Departamento de Oftalmologia e Otorrinolaringologia, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto (SP) CEP 14049-900.

as rotações (que devem se manter conjugadas), estável (sem oscilações) e duradouro (sem variações temporais). Nem pode ser tida como satisfatória a eliminação de um nistagmo, ainda que definitiva, se isso for obtido pela perda completa da movimentação ocular (olhos “congelados”).

Por isso, a condição de poder ajustar posições, como quando se almeja um resultado no pós-operatório de um estrabismo, pela técnica das suturas ajustáveis, é também frustrante: não há qualquer garantia de que uma correção perfeita então obtida se conserve assim; nem conhecimentos que permitam prever como evoluiria um outro qualquer resultado, no decorrer do tempo. Mais, portanto, do que a própria condição de mudança do relacionamento dos eixos visuais (correções espaciais), de consecução, afinal, não tão difícil, interessaria um método terapêutico que permitisse a estabilização de seus resultados e o impedimento de rotações indesejadas, sejam elas ocorridas a longo prazo (recidiva dos estrabismos), sejam as constantes e involuntárias, como as dos nistagmos.

Neutralização de movimentos oculares indesejados, conservando a possibilidade dos necessários, ou estabilizações posicionais, com a manutenção de rotações são, portanto, requerimentos similares, cujo atendimento é de toda conveniência. Eventualmente, outras aplicações poderiam ser cogitadas como, por exemplo, a de prevenção de contraturas musculares (em estrabismos após afecções neurais) ou a de “ajustes” posicionais finos (desvios angulares pequenos). Obviamente, tais circunstâncias operacionais requerem aplicações de forças (F), suficientes para neutralizar as dos fatores de instabilidade (nistagmos, recidivas de correções cirúrgicas de estrabismo), isto é, F_i , mas não tão intensas para constranger as de rotações normais (F_n). A simplicidade desse condicionamento $F_i < F < F_n$ é, por outro lado, surpreendentemente paradoxal, pois que já se tem naturalmente $F_i < F_n$, tanto no caso de nistagmos, como no de insucessos cirúrgicos nos estrabismos.

Na verdade, cada posição ocular temporalmente estável (p_A), numa dada direção do olhar (A) pode ser descrita como um estado de equilíbrio entre forças de ação para um lado (F_A) e suas antagonistas (F_a), tais que $F_A = F_a$. Qualquer ruptura desse equilíbrio corresponde a um deslocamento ocular da posição A, até uma nova, B, em que as forças voltam a se equilibrar, sendo elas agora $F_B = F_b$. É claro, então, que $F_B - F_A = \Delta F = F_b - F_a$, isto é, o eventual aumento de forças (ΔF) num sentido ($F_B - F_A$) é compensado pelo aumento de forças no sentido oposto ($F_b - F_a$), com igual magnitude. Ou, em outros termos, $p_B - p_A = f\Delta F$ (o deslocamento da posição p_A à p_B é função da variação de forças). Tal variação (ΔF) é normalmente condicionada pelo estado de contração dos músculos oculares externos (forças ativas), ainda que não dependa apenas delas. Ora, ΔF é, por exemplo, o fator de desequilíbrio posicional ocular num nistagmo (cuja amplitude se dá da posição p_A à p_B), com movimento de reposição à direção original de fixação (p_A) tendo a mesma duração (nistagmo pendular) ou sendo mais rápido (nistagmo “jerky” ou em sacudida). ΔF é, também, o determinante da variação

posicional $\Delta p = p_B - p_A$, que ocorre como resultado de uma cirurgia e, ou com o passar do tempo, depois dela (recidiva do ângulo de desvio). De qualquer modo, não será surpresa que um fator de instabilização ($F_i = \Delta F = F_B - F_A$) seja **menor** do que outras forças que produzam rotações normais, a uma outra posição C ($F_n = F_C - F_A$), isto é:

$$F_i < F < F_n \therefore F_B - F_A < F < F_C - F_A \therefore F_B < F + F_A < F_C$$

Claro que isso não poderia ser feito com suturas de contenção. Se pouco resistentes, neutralizariam, inicialmente, a ação de pequenos diferenciais de força (bloqueariam o nistagmo), mas à primeira necessidade de rotação maior seriam rompidas. Se muito resistentes, impediriam quaisquer movimentos: os involuntários (batimentos nistágmicos) e os volitivos (versões e vergências). Por outro lado, há condições, como as de forças de campo magnético que propiciam uma ação bloqueadora das oscilações indesejadas entre dois elementos, mas que pode ser desfeita se forças mais intensas os separarem, sendo depois recuperada se ambos forem novamente reaproximados (Figura 1).

B) Sobre a correção de nistagmos

As instabilidades oculomotoras conhecidas como **nistagmos**, além de produzir constrangimentos sociais aos seus possuidores são sempre relacionadas a reduções significativas do poder visual discriminativo de formas e movimentos. O tratamento dessas afecções visa, portanto, um duplo resultado: o de impedir a continuidade do movimento ocular involuntário e, conseqüentemente, propiciar melhores condições de rendimento visual resolutivo, por uma fixação estabi-

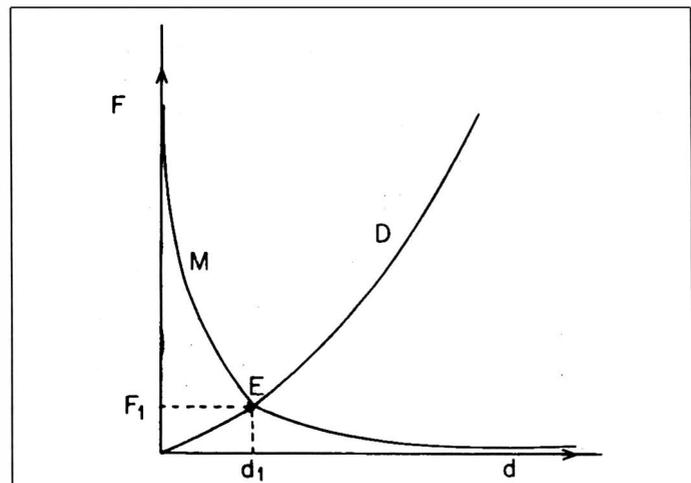


Fig. 1 - Representação de variação de forças de atração (F) entre dois elementos magnéticos puntiformes, conforme a distância (d) entre eles (curva M) e a força desenvolvida para o deslocamento de um relativamente ao outro (curva D). As curvas cruzam-se num ponto crítico (E); para distâncias (afastamentos entre os elementos) menores que d, predominam as forças de atração (M) sobre as de desgarramento (D) e os elementos manter-se-ão aproximados. Para afastamentos maiores, as forças de atração como que “perdem” seus efeitos.

lizada. É verdade que, em alguns casos, o nistagmo decorre de perdas da funcionalidade de estruturas responsáveis por uma boa acuidade visual (por exemplo, por uma lesão cicatricial de uma coriorretinite afetando a área macular) e, então, a capacidade visual resolutive não poderá ser normalizada, embora se chegue a esperar que, também neles, algum benefício advenha de um posicionamento ocular mais firme. Em resumo, o tratamento dos nistagmos tem objetivos sensoriais (ainda que os resultados de recuperação de deficiências visuais sejam principalmente esperados nos casos em que a instabilidade oculomotora é a causa das perdas, não sua consequência) e cosméticos (sempre).

De qualquer modo, o tratamento dos nistagmos é extremamente problemático, de tal sorte que apenas poucos de seus tipos têm sido elegíveis como encorajadores a uma possível intervenção. O mais favorável é aquele que se apresenta com uma “posição de bloqueio” (total ou parcial), isto é, uma situação ocular em que a instabilidade oculomotora deixa de ocorrer (ou diminui acentuadamente). Por exemplo: em levoversão. Para, então, olhar “firmemente” (sem nistagmo, ou com um muito reduzido) a um objeto que não esteja à sua esquerda, o paciente deve portanto mover a cabeça, de modo a manter os olhos nessa posição relativa de levoversão (em relação às órbitas). Ou seja, para fixar “em frente” (de seu corpo) gira a cabeça para a direita, fazendo que seus olhos permaneçam posicionados à esquerda das respectivas órbitas (o olho esquerdo em abdução e o direito em adução). Em tal situação, o rendimento visual discriminativo fica melhorado, mas a posição viciosa de cabeça com a qual se obtém é constrangedora, além de (como continuada) produzir, a longo prazo, assimetrias de desenvolvimento facial. Em sua quase totalidade, tais nistagmos apresentam (em outras posições dos olhos relativamente às órbitas) um movimento de fases distintas: lento para o lado em que se dá o bloqueio (no caso, para a esquerda) e rápido em sentido oposto (no caso, para a direita), sendo então denominados pelo movimento de fase rápida (no caso “nistagmo para a direita”). A racionalidade da intervenção cirúrgica desses nistagmos é enfraquecer os músculos causadores da fase lenta (no caso, o reto lateral esquerdo e o reto medial direito) e fortalecer seus antagonistas (no caso o reto medial esquerdo e o reto lateral direito), tudo se passando como se o tratamento fosse, simultaneamente, de uma exotropia do olho esquerdo e de uma esotropia do olho direito com iguais magnitudes. De fato, na posição de bloqueio do nistagmo é em tal situação que os olhos se encontram relativamente às respectivas órbitas (OE em abdução e OD em adução). Os resultados dessas cirurgias têm sido considerados relativamente bons, mas suas limitações são também conhecidas:

a) Quanto à **magnitude** das correções. Obviamente o que se pretende é corrigir a posição viciosa de cabeça, ou seja, a de bloqueio do nistagmo, fazendo com que a estabilização motora se dê na posição primária do olhar. Os ângulos de posições viciosas da cabeça são, freqüentemente, grandes: em torno de 30° (isto é, 58^Δ) ou 40° (isto é, 84^Δ), maiores, portanto, do que os valores “máximos” convencionalmente admitidos para correções

de desvios de um olho, por cirurgias em seus músculos oculares externos, sem lhes causar acentuadas limitações rotacionais. Realmente, admite-se que correções “máximas” de um desvio horizontal (por exemplo, por recuo de inserção de um músculo e ressecção de seu antagonista direto), sejam de aproximadamente 50^Δ (ou 26,6°), em cada olho. A correção de desvios posicionais oculares maiores, comuns em nistagmos bloqueados, é então muito difícil, a não ser que se admita poderem os olhos permanecer com rotações bem reduzidas ou, até, “congeladas”.

b) Quanto à **simetria** da correção. Corrigir uma “exotropia” de 30° do olho esquerdo e uma “esotropia” de 30° do olho direito, requer intervenções nem sempre simétricas e, de qualquer modo, de resultados variáveis, freqüentemente dissimilares. Então, um estado de posição viciosa de cabeça, mas **sem** estrabismo (por exemplo, desvio dos olhos relativamente às órbitas, em levoversão, mas simétricos) pode causá-lo, ou levar a um estado de desvio compensado (heteroforia), eventualmente sintomático.

c) Quanto à estabilidade **espacial**, isto é, ao resultado em outras posições do olhar. Ainda que o objetivo de se deslocar a posição de bloqueio do nistagmo de uma situação de “desvio” (por exemplo, em levoversão) para a “sem desvio” (posição primária do olhar) possa ser perfeitamente alcançado, é bem sabido que o nistagmo continua a se manifestar com idênticas características (no caso do exemplo, com fase rápida para a direita) na posição ocular oposta à do bloqueio (então, em dextroversão) e geralmente se **inverte** na posição em que antes estava bloqueado (isto é, em levoversão apresentará, depois de uma cirurgia, fase rápida para a esquerda).

d) Finalmente, no que toca à estabilidade **temporal**, são também descritas “recidivas”, ainda que parciais. Por exemplo, a posição de bloqueio, antes ocorrendo em 35° de levoversão, passa a ser de 15°, em levoversão, embora o resultado imediato tenha sido “bom”.

O tratamento clínico, com prismas, é teoricamente possível mas, na prática, inviável pela magnitude dos valores referidos. Mesmo com os prismas plásticos de contacto em lentes convencionais (prismas de Fresnel), seriam alcançadas correções de apenas 30^Δ, ou cerca de 16,7°, muito inferior às necessárias para a grande maioria dos desvios dos olhos relativamente às respectivas órbitas, nos quais as posições de bloqueio são obtidas.

Um nistagmo com peculiaridades afins ao do descrito com fases rápida e lenta é o das esotropias congênicas, com limitações bilaterais de abdução, num quadro conhecido como síndrome de Ciancia (que, para europeus principalmente, recebe a denominação “síndrome do nistagmo bloqueado”). De fato, nesses casos, há uma posição ocular em adução em que a fixação é estável, aparecendo um nistagmo (de fase rápida para a direita, no olho direito e de fase rápida para a esquerda, no olho esquerdo) quando outras direções do olhar são testadas. Diz-se, então, haver “fixação cruzada” (cabeça girada para a direita para favorecer a fixação do olho direito em adução; ou para a esquerda, para favorecer a situação estável do olho esquerdo, em adução).

A simultaneidade de posições antagônicas de bloqueio do nistagmo com a esotropia decorrente dá, como racionalidade de tratamento, a proposta de correção concomitante dessas duas afecções (por exemplo, por recuos de retos mediais). Mas aqui, também, mesmo quando a esotropia é corrigida, permanece o nistagmo, pelo menos nas posições de abdução.

Se nos tipos de melhor prognóstico há insatisfações, estas são enormes quando se pretende a eliminação de nistagmos de outras características. Por exemplo, naqueles em que há **inversão da fase rápida** (por exemplo: para a direita, em dextroversão e para a esquerda, em levoversão), aliás, e muito comumente, o resultado final de tratamento dos nistagmos “unifásicos”. Também, principalmente, nos **pendulares** (em que há uma movimentação de igual amplitude e frequência, para os dois lados) e nos **irregulares**, em que as características (amplitude, frequência, velocidade, etc.) são inconstantes, no tempo e, ou na direção de fixação ocular. Há recomendações de promoção de um enfraquecimento generalizado dos músculos oculares, para a redução dos movimentos nistágmicos. Mas isso nem sempre é possível (quando muito, são debilitados todos os quatro retos horizontais, em nistagmos horizontais, o que nem sempre basta para a estabilização ocular). O caso extremo é o de sutura dos olhos às órbitas de tal modo que **quaisquer** movimentos fiquem impossibilitados. Obviamente, então, o nistagmo torna-se neutralizado, mas à custa de uma paralisação dos demais movimentos oculares, o que é extremamente inconveniente.

Uma alternativa seria a de produção de uma limitação rotacional do olho que cedesse à exigência de uma força maior. Por exemplo: restrições às oscilações do nistagmo, produzidas por diferenciais de força pequenos, mas permisões à ação de forças rotacionais maiores.

C) Condições mecânicas de uso de forças geradas por campos magnéticos

Dadas as características dinâmicas do nistagmo, com fases lentas tendo velocidades semelhantes a de movimentos persecutórios (lentos) e amplitudes geralmente em torno de 5° a 10°, não se pode esperar que forças maiores que 10 gf estejam a eles relacionadas. Ao contrário, é bem provável que forças muito menores sejam, já, suficientes para bloqueá-los. Essas forças necessárias, são facilmente conseguidas com áreas magnéticas relativamente pequenas (ver estudos de “Montagens magnéticas”) e distâncias entre os elementos do circuito magnético (Tabela 5).

A aplicação da força frenadora, que se contraporá à da fase lenta do nistagmo deve, idealmente, ser no plano em que esta age. Por exemplo no horizontal, se o nistagmo for horizontal.

A figura 2 mostra, esquematicamente, a relação de posições de dois elementos de um circuito magnético: um preso à superfície escleral (E) e outro fixo numa das paredes orbitárias (B) em diferentes direções do olhar.

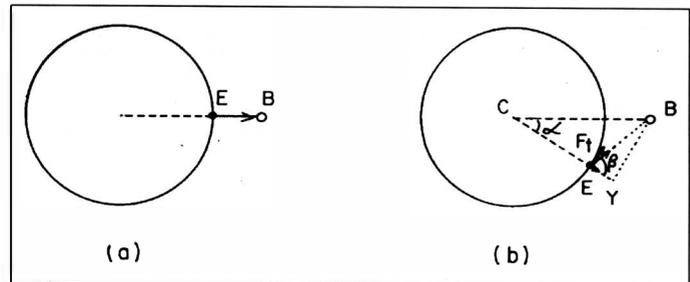


Fig. 2 - Seção esquemática de um olho, mostrando posições de elementos de um circuito magnético: um preso à superfície escleral (E) e outro fixo relativamente às paredes orbitárias (B), antes (a) e após (b) uma rotação ocular (α).

Dela, podem ser tiradas as relações:

a) da distância mínima entre os dois elementos (**d**, Fig. 2a) da qual resulta a máxima força de atração entre eles (F_0), $F_0 = kd^{-2}$, em que o valor de **k** depende, basicamente, da intensidade do campo magnético (“poder” de um ímã, por exemplo).

b) Da distância entre os elementos, após rotação ocular a (isto é, $d_1 = EB$):

$$d_1^2 = r^2 + (d + r)^2 - 2(d + r)r \cos \alpha = [d + r(1 - \cos \alpha)]^2 + r^2 \sin^2 \alpha = d^2 + 2r(d + r)(1 - \cos \alpha)$$

e da respectiva força $F_1 = kd_1^{-2}$.

c) Da força tangencial (F_t):

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= BY/(r + d), \quad \sin \beta = BY/d_1 = F_t/F_1 \\ \therefore (r + d) \sin \alpha &= d_1 \sin \beta = d_1 F_t/F_1 = d_1^3 k^{-1} F_t \\ \therefore F_t &= k [(r + d) \sin \alpha] / d_1^3 = k [(r + d) \sin \alpha] [d^2 + 2r(d + r)(1 - \cos \alpha)]^{-3/2} \end{aligned}$$

d) Da força perpendicular (F_p) correspondente:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= (r + EY) / (r + d) \\ \cos \beta &= EY/d_1 = F_p/F_1 \\ \therefore (EY = F_p \cdot d_1/F_1) &= [(r + d) \cos \alpha] - r \therefore \\ \therefore (F_p = k [-r + (r + d) \cos \alpha] d_1^{-3} \end{aligned}$$

F_t (a componente tangencial de F_1) é a que deve se contrapor à força causadora de uma rotação indesejada (por exemplo, a fase lenta de um nistagmo) estabilizando o olho. Mas F_p (a componente perpendicular a F_t) também age dificultando a rotação, por variação de forças passivas (e.g., aumento do atrito, por compressão; ou distensão de tecidos). (Certamente, o efeito de F_p dependerá de sua direção e sentido, isto é, da situação dos elementos que se atraem magneticamente, quando considerados em relação à órbita).

Note-se que $F_t \geq F_a$ quando $r + (r + d) \sin \alpha \geq (r + d) \cos \alpha$
 $\therefore r(\cos \alpha - \sin \alpha)^{-1} - r \geq d$.

Eventualmente, será possível adaptar-se um campo frenador **fora** do plano original da força a bloquear (Figura 3).

(*) O valor de $k \cong 8,12 \cdot 10^7 B_1 B_2 S_1 S_2$ (ver fórmula IV), quando $B_1 = 2500$ gauss = B_2 e $S_1 = S_2 = 17,7$ mm², fica $k = 1589,95$.

Tabela 1. Valores proporcionais da força tangencial (F_t/k) e da perpendicular (F_p/k) em função da distância entre os elementos magnéticos e do ângulo de rotação ocular (α), para $r = 12,5$ mm.

$\alpha \backslash d$	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0	0	0	0	0	0	0
5	4,000	1,000	0,250	0,111	0,063	0,040
10	0,625	0,341	0,101	0,040	0,020	0,011
15	0,249	0,275	0,156	0,087	0,053	0,036
20	0,191	0,155	0,086	0,047	0,027	0,017
25	0,026	0,052	0,061	0,048	0,036	0,027
30	0,088	0,079	0,057	0,038	0,026	0,018
35	0,001	0,012	0,023	0,024	0,021	0,017
40	0,050	0,047	0,038	0,029	0,022	0,016
45	-0,003	0,002	0,009	0,011	0,011	0,011
50	0,022	0,021	0,019	0,016	0,014	0,011
55	-0,004	-0,003	0	0,002	0,003	0,003
60	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008
65	-0,004	-0,003	-0,002	-0,001	0	0,001

O momento rotacional da força que produz o nistagmo (aplicada no ponto T, Figura 3a, b, c) é $F_n \cdot r$; e o da força induzida pelo par magnético é $F_m \cdot r$, mas de modo que o ângulo entre elas (F_n e F_m) seja $180 - \alpha$. Os momentos rotacionais são de igual magnitude, mas sentidos contrários. Então, a componente de F_m necessária para produzir o bloqueio (F_b) é:

$$F_n = F_b = F_m \cos \alpha$$

ou seja, F_m deve ser maior que F_n .

Mas, nesses casos, pequenos binários translacionais (Figura 3b) e torcionais (Figura 3c) poderão comprometer a estabilidade do sistema, não sendo, pois, idealmente aconselháveis tais colocações.

D) Embasamento da proposta

Um ímã permanente, fixo à órbita, atraindo um elemento que concentre as linhas de campo magnético (e.g., um pequeno bloco de ferro), preso ao olho, agirá, pois, como um auxiliar das ações musculares que não são suficientes para se contrapor a certas forças (e.g., as da fase lenta do nistagmo, ou as das oscilações, se ele for pendular).

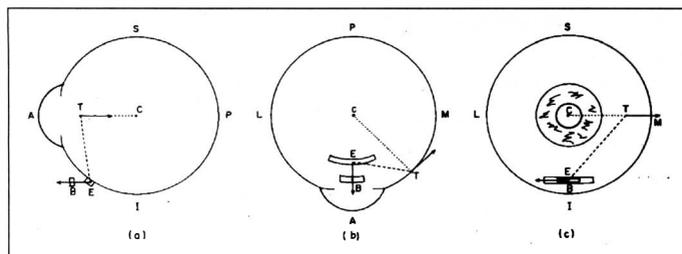


Fig. 3 - Situações possíveis de elementos de um circuito magnético, com um ímã permanente (B) preso a estruturas orbitárias e uma placa de material ferromagnético (E) presa à superfície escleral, em projeções no plano sagital (a), horizontal (b) e frontal (c). Uma força horizontal tangencial (T), causadora de um nistagmo e a gerada pelo par magnético, que a ela se contrapõe, são também mostradas.

A ação de campos magnéticos sobre tecidos vivos é ainda mal conhecida. Supõe-se, todavia, que os de fraca intensidade, como o eventualmente gerado por um pequeno ímã, sejam totalmente inócuos, mesmo quando continuamente atuantes. Mas, claro, será conveniente evitar-se a saturação magnética do bloco escleral, por precaução adicional.

Convém recordar que as linhas de um campo magnético são deformadas pela presença de materiais ferro, para ou diamagnéticos, concentrando-se muito nos primeiros, pouco nos segundos e sendo repelidas pelos últimos. Os materiais ferromagnéticos são os que mais interessam aos propósitos deste estudo.

Essa condição de concentração das linhas de força do campo magnético evita que elas se espalhem pelo espaço; e, assim, o material age como um “escudo”, bloqueando a influência de uma ação magnética (gerada por exemplo por um ímã) sobre um determinado ponto, próximo à fonte geradora (P, Figura 4b).

Obviamente, se o campo magnético gerado for muito intenso (grande quantidade de “linhas”) e, ou o volume do material ferromagnético for reduzido, haverá saturação deste, de modo que uma quantidade de linhas não poderá ser por ele contida, “vazando” ao seu redor (Figura 4c). De qualquer maneira, será possível adequar-se tamanhos de um bloco de material ferromagnético aplicável sobre a superfície escleral e intensidade de um campo magnético gerado por um ímã, tal que não ocorram penetrações de linhas de campo magnético no interior do globo ocular (Figuras 5 e 6).

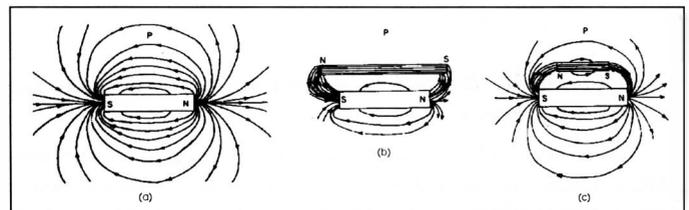


Fig. 4 - Esquema de distribuição de linhas de força de campo magnético gerado por um ímã (a), com materiais ferromagnéticos próximos dele, de tamanho maior (b) ou menor (c).

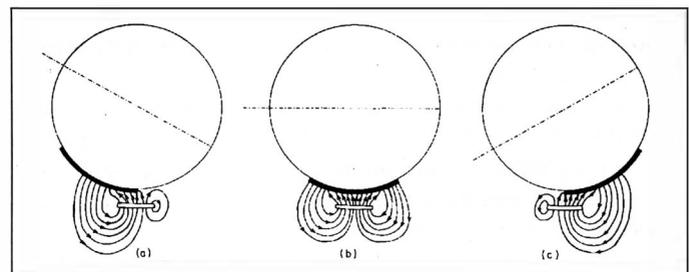


Fig. 5 - Esquema de provável distribuição das linhas de campo magnético entre um ímã permanente (pequeno retângulo claro) e uma placa de material ferromagnético presa ao olho (arco escuro, curvo) em diferentes posições oculares num mesmo plano (sugeridas pela orientação do eixo visual, representado pela linha pontilhada).

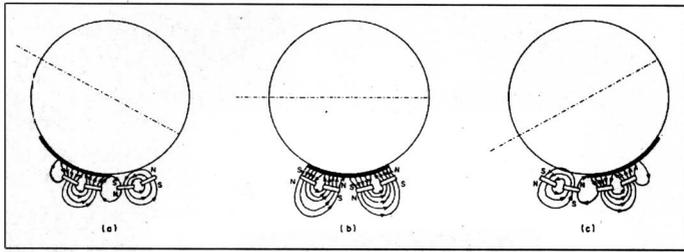


Fig. 6- Esquema de provável distribuição das linhas de campo magnético entre uma associação de ímãs permanentes (quatro pequenos retângulos claros) e uma placa de material ferromagnético presa ao olho (arco escuro, curvo) em diferentes posições oculares num mesmo plano (sugeridas pela orientação do eixo visual, representado pela linha pontilhada).

E) Outras aplicações terapêuticas de campos magnéticos

Praticamente todos compostos orgânicos e inorgânicos não contém átomos com elétrons não pareados; neles, o magnetismo devido ao movimento ("spin") de um elétron, num sentido, é cancelado pelo de outro, em sentido contrário. As moléculas dessas substâncias não possuem qualquer momento magnético permanente, levando a que se espere que não recebam influência de campos magnéticos. Em outras palavras esses compostos, diamagnéticos, com suscetibilidade magnética específica negativa e muito baixa ($\cong 10^{-6}$), não são praticamente afetados por campos magnéticos¹. Estes, também, quase nada afetam estruturas com paramagnetismo (e.g., radicais livres), estimando-se que com os de intensidade da ordem de 5000 Oe, torne-se apenas possível uma redução de 1% na velocidade de suas reações (e que para cessação delas, seriam necessários campos com H cerca de 1000 vezes maiores)².

O uso de ímãs permanentes em Ortodontia foi proposto há 20 anos^{3,4,5} e desde o início concluiu-se pela ausência de efeitos biológicos adversos⁶. Nessas aplicações, ímãs de Sm-Co com produto $B \times H = 26$ MGOe e relativamente volumosos (em pares de cerca de 45 e 90 mm³) foram testados. Realmente, em circuitos magnéticos "fechados", o "vazamento" de campo magnético é negligenciável. Em outras aplicações na área da Odontologia, o uso de ímãs é ainda mais antigo⁷⁻⁹. Há várias, em Medicina¹⁰.

Em Oftalmologia há descrições de uma técnica para fixação transescleral da retina descolada¹¹ e de métodos para restabelecer a função palpebral^{12,13}. Seu uso para restabelecimento de rotações oculares foi também sugerido¹⁴⁻¹⁷.

MATERIAL E MÉTODOS

A) Forças de campo magnético

Além da vantagem de introdução de forças de magnitude variável ao sistema oculomotor, de tal sorte que um ponto crítico de equilíbrio seja ajustado (Figura 1) sem impedimento de rotações em quaisquer sentidos, o uso de campos magnéticos oferece uma outra importante conveniência para tais aplicações. É a de que entre o elemento gerador das forças (um ímã permanente, ou um eletroímã) e o de suas aplicações, junto à superfície escleral (um outro ímã permanente ou, simplesmente, uma placa de material ferromagnético) não há vínculos materiais: elas atuam através de tecidos e estruturas, não sendo neutralizadas ou impedidas por formações cicatriciais (que assim desaconselham o uso de forças cuja aplicação se faz por meios "concretos").

A conveniência do uso de forças (F) produzidas por campos magnéticos fica restrita à distância (d) entre a fonte geradora do campo (e.g., um ímã permanente, fixo relativamente ao olho) e a peça sobre a qual os efeitos dessa força são estabelecidos (e.g., um outro ímã permanente, ou um pedaço de ferro, presos à superfície ocular). Na dependência do "poder" magnético dessas duas peças, p_1 e p_2 , e da permeabilidade magnética (μ) do meio entre elas, a clássica fórmula de Coulomb relaciona essas variáveis:

$$F = \mu p_1 p_2 / 4\pi d^2 \quad (I)$$

onde $\mu = 1$ G/Oe para unidades no sistema CGS e $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ tesla por ampère/metro (ou weber/ampère-metro) para as no SI.

Em geral, todavia, o conceito de massa magnética do pólo (p) é menos usado que o de densidade de fluxo magnético (B) dele:

$$p = HS = BS/\mu \quad (II)$$

de tal sorte que:

$$F = B_1 B_2 S_1 S_2 / 4\pi \mu d^2 \quad (III)$$

Para B em gauss, S em mm² ($= 10^{-2}$ cm²), d em mm ($= 10^{-1}$ cm) e F em gf ($= 980$ dinas):

$$F = 8,12 \cdot 10^{-7} B_1 B_2 S_1 S_2 / d^2 \quad (IV)^*$$

Com ímãs permanentes compostos com uma liga de neodímio, ferro e boro podem ser obtidos fluxos magnéticos com densidades $B \cong 2500$ gauss, ou maiores, na superfície**. A Tabela 2 mostra algumas das propriedades mais comumente usadas para caracterizar tipos de materiais de ímãs permanentes disponíveis comercialmente.

(*) Expressão equivalente é a que se toma para a força (em dinas) exercida por cada pólo (o efeito total F_1 produzido por um ímã em U é, portanto, o dobro de F na fórmula abaixo, $F_1 = 2F$): $F = B^2 A / 8\pi$

em que A é a área de abertura do circuito magnético (ou "air gap"), geralmente sendo tomada como idêntica à da superfície do ímã (em cm²) e B em gauss. Para F_1 em gramas-força (1 gf \cong 980 dinas), B em gauss e A_1 em mm²:

$980 F_1 = B^2 (A_1 / 10^2) / 8\pi \therefore F_1 = 4,06 \cdot 10^{-7} B^2 A_1$, fórmula que acaba sendo muito difundida por fabricantes de ímãs permanentes em países de língua inglesa, depois de sua transformação para unidades britânicas: F_2 em libras-"pcso" ($= 454$ gf), B_2 em kilogauss e A_2 em polegadas quadradas ($= 2,54^2$ cm²): $(980 \times 454) F_2 = (1000 B_2)^2 A_2 (2,54^2) / 8\pi \therefore F_2 = 0,577 B_2^2 A_2$

(**) Frequentemente os fabricantes dão para ímãs permanentes o valor de B_r , a densidade do fluxo magnético correspondente a um circuito magnético fechado. Mas a abertura do circuito faz com que B_r se reduza. Ímãs de Ne-Fc-B e outros apresentam B_r de cerca de 12000 gauss ($= 1,2$ teslas $= 1,2$ weber/m²).

Tabela 2. Propriedades de materiais de certos ímãs permanentes disponíveis comercialmente (densidade, D; densidade de fluxo residual, B_r, em Gauss; força coercitiva, H_c em Oersteds; produto B×H máximo em G.Oe.10⁶).

Propriedade Unid.	D g/cm ³	B _r G	H _c Oe	B × H máx. MGOe
Material				
Alnico 5	7,34	12.500	640	5,5
Alnico 8	7,34	8.300	1.650	5,5
Sm Co 18	8,31	8.600	7.200	18
Sm Co 26	8,31	10.500	9.200	26
Ne Fe B 27	7,40	10.500	10.000	26
Ne Fe B 30	7,40	11.200	10.700	30
Sm Co 32	8,31	11.500	10.600	32
Ne Fe B 35	7,40	12.300	11.300	35
Ne Fe B 45	7,40	13.500	11.700	45

Discos e cilindros de NeFeB 27 ou 30 com diâmetro 0,12" = 3,048 mm (e, portanto, área de 7,297 mm²) e espessuras de 0,06" = 1,524 mm ou 0,12" = 3,048 mm estão, por exemplo, entre os mais adequados para adaptações ao redor do olho (veja Tabela 3).

Com comprimentos diversos (que podem ser adaptados a um desejado), existem ainda muitos outros tipos de ímãs com diâmetros pequenos (de até 5 mm), como por exemplo bastonetes de Alnico 5 (3,18 ou 4,75 ou 4,78 mm), de Alnico 8 (2,36 ou 3,05 ou 3,15 ou 3,18 ou 4,75), de SmCo (Samário-Cobalto) 18 (2,54 e 3,00, com comprimentos equivalentes; ou diâmetro 1,52 mm e comprimento 4,75 mm), de NeFeB (3,05,

Tabela 3. Dimensões de ímãs permanentes comercialmente disponíveis, com espessura de até cerca de 2 mm e diâmetro de até cerca de 5 mm (discos).

Material	Espessura (mm)	Diâmetro (mm)
Sm Co 18	1,02	3,05
Ne Fe B 35	1,02	3,99
Sm Co 18	1,17	5,08
Sm Co 18	1,27	3,51
Ne Fe B 27	1,52	3,05
Ne Fe B 30	1,52	3,05
Sm Co 18	1,52	3,96
Sm Co 18	1,52	4,75
Ne Fe B 27	1,52	4,75
Ne Fe B 30	1,52	4,75
Sm Co 18	1,52	5,08
Ne Fe B 35	1,96	3,51
Ne Fe B 35	1,96	3,99

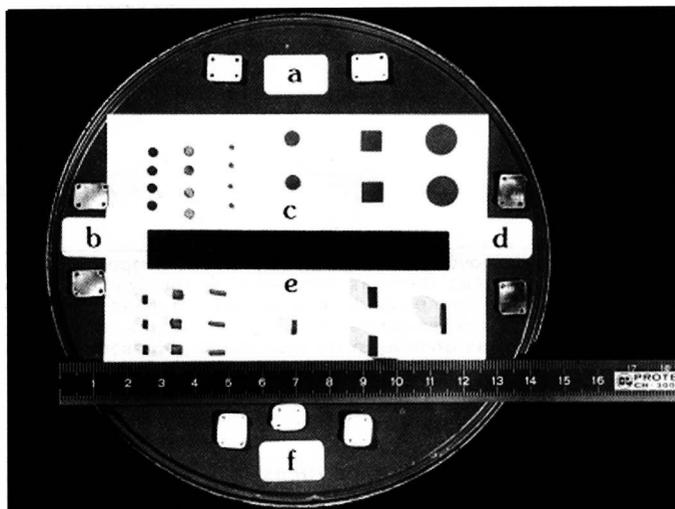


Fig. 7. Ímãs permanentes, mostrados conforme seus eixos longitudinais (c) ou transversais (e). Da esquerda para a direita (veja Tabela 4): i, ii...vi. Placas metálicas para fixação à superfície ocular, com recobrimentos de: esmalte branco e silicone (a), tinta prateada (b), verniz incolor (d) e epóxi branco (f).

com comprimento também desse mesmo valor) e de NeFeB 30 (2,54, com comprimento de 5,08 mm). Também com secções quadradas e retangulares, como as de Alnico 5 (1,57 por 1,57; ou 3,18 por 3,18; ou 3,18 por 6,35) ou as de Alnico 8 (1,57 por 1,57; ou 3,18 por 1,57 ou 3,18 ou 6,35; 4,75 por 6,60) ou as de NeFeB 30 com película de níquel (2,54 × 6,35 × 6,35 ou 2,54 × 5,08 × 10,16), etc.

A figura 7 e a tabela 4 mostram alguns dos ímãs utilizáveis. Nesta, da esquerda para a direita, conforme a composição, "grau" (produto B×H máximo em MGOe) e o tamanho em milímetros (diâmetro e comprimento, ou espessura, para os discos ou bastões; lados e espessura no caso do bloco quadrado), área (da face perpendicular ao eixo longitudinal, em mm²) e volume (em mm³):

Assim, para dois ímãs permanentes iguais (S₁ = S₂) com B = 2500 G, a F.IV se transforma em (para S e d em mm² e mm, respectivamente):

$$F = 5,075 S^2/d^2 \quad (V)$$

Ou seja, se elege $F \geq 40gf$ como uma força a ser exercida, resulta que a relação entre S e d deva ser $S \geq 2,807 d$, ou (para um ímã de face circular, $S = \pi r^2 = \pi s^2/4$ onde s é o diâmetro dela), $s^2 \geq 3,575 d$.

Tabela 4. Ímãs permanentes mostrados na figura 7.

Composição	B×H máx.	Medidas	Área	Volume
i) NeFeB	27	3,05 × 1,52	7,30	11,12
ii) NeFeB	27	3,05 × 3,05	7,30	22,24
iii) SmCo	18	1,52 × 4,75	1,82	8,66
iv) NeFeB	27	4,75 × 1,52	17,72	27,00
v) NeFeB	27	6,35 × 6,35 × 2,54	40,32	102,42
vi) NeFeB	27	9,52 × 1,52	71,26	108,59

Tabela 5. Cálculo de forças produzidas por ímãs permanentes (com $B = 2500 \text{ G}$) em gramas-força, de acordo às suas áreas (S) e distância entre os pólos (d).

d (mm)	S (mm ²)	6	9	12	15	18	21
1		183	411	731	1142	1644	2238
2		46	103	183	285	411	560
3		20	46	81	127	183	249
4		11	26	46	71	103	140

B) Montagens magnéticas

Com ímãs permanentes de Neodímio-Ferro-Boro (Ne-Fe-B), uma liga que, presentemente, oferece as maiores concentrações de fluxo magnético gerado por volume de material (isto é, possibilita as melhores miniaturizações), condição muito necessária quando são pretendidos artefatos de tamanho reduzido, será possível a construção de um circuito magnético de tamanho adequado aos do olho.

Foram estudadas diferentes montagens:

A) Disco com diâmetro 0,120" (igual a 3,05 mm) e espessura 0,060" (igual a 1,52 mm), portanto com área de 7,3 mm² (item "i", Tabela 4).

B) Idem, sobre lâmina de ferro.

C) Dois discos "A" com pólos homônimos justapostos um ao lado do outro, sobre lâmina de ferro.

D) Dois discos "A" com pólos complementares justapostos um ao lado do outro, sobre lâmina de ferro.

E) Disco com diâmetro 0,187" (igual a 4,75 mm, portanto área igual a 17,7 mm²) e espessura 0,060" (igual a 1,52 mm), sobre lâmina de ferro (item "iv", Tabela 4).

As medidas da indução magnética foram realizadas com um gaussímetro modelo GM1A comercializado por "Applied Magnetics Laboratory Inc." com sonda modelo PT-72 (Figura 8) colocada sobre a superfície do(s) ímã(s) (A...E) (separação "zero") ou a distâncias asseguradas pela interposição (entre a montagem magnética e a sonda) de lâminas de alumínio de espessura constante. Procurou-se relacionar a medida ao cen-

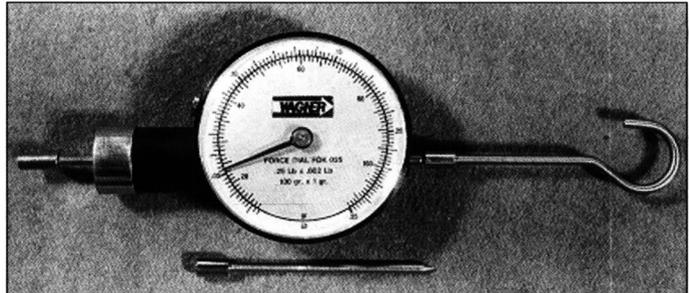


Fig. 9 - Dinamômetro Wagner e hastas auxiliares: para medidas por tração (gancho) e por compressão (haste reta, ao lado).

tro da superfície do(s) ímãs(s), sendo buscada a leitura de maior valor por ocasião de pequenos deslocamentos da sonda ao redor desse ponto.

Para medidas de forças utilizou-se um dinamômetro Wagner, com capacidade de medida até 115 gf, com resolução de 1 gf (Figura 9).

A montagem de um ímã único (Figura 5) ou de uma associação deles (Figura 6) para bloqueio de nistagmo pode ser feita para ação em várias partes da superfície ocular. Em qualquer dos casos, o mecanismo estabilizador será eficiente e circunscrito aos componentes usados (ímãs e placas metálicas). O tamanho deles, relativamente ao de um olho, fica esclarecido pela figura 10.

Foram testadas em coelhos implantações com cobertura feita por silicone, por poliuretano e por poliuretano pré-moldado (Figura 11).

RESULTADOS

A análise histopatológica dos olhos de coelhos sobre os quais foram implantadas as placas metálicas, mostrou a formação de um granuloma de corpo estranho e um processo inflamatório discreto ao redor. Essa discreta reação inflamatória foi interpretada como indiferenciada das encontradas como simples reação ao trauma operatório.

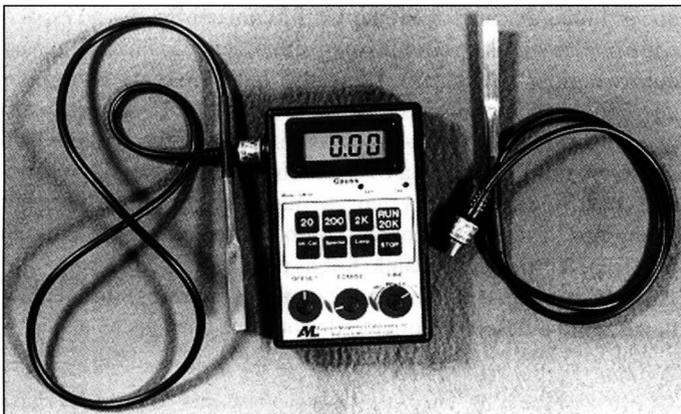


Fig. 8 - Gaussímetro utilizado no experimento, com sonda modelo PT-72 montada e outra (modelo PT-75) ao lado.

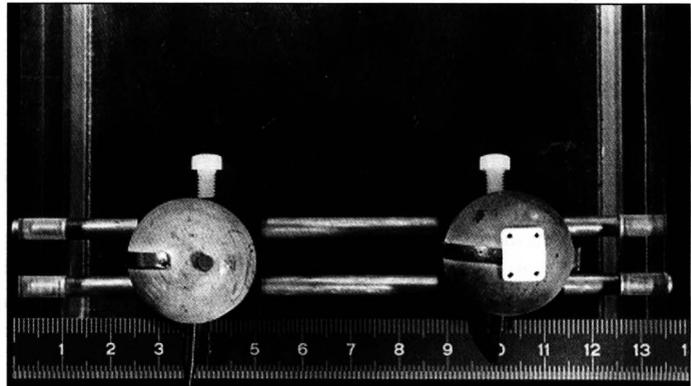


Fig. 10 - Esferas de diâmetro 25 mm (equivalente a o de um olho normal), ímã de Ne-Fe-B de 3,05 mm de diâmetro e 1,52 de espessura (item "i", Tabela 4) e placa de ferro para fixação à superfície escleral.

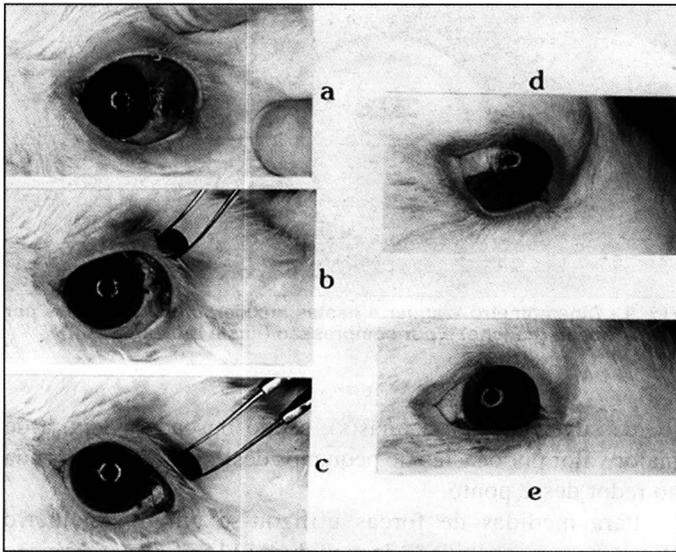


Fig. 11 - Colocações de placas metálicas sob (a, b, c) e sobre a conjuntiva (d, e), em posição natural das pálpebras (e) ou quando abertas (a, d). A influência de um ímã tracionando a placa e modificando a posição do olho pode ser notada em b (torção) e c (abdução).

Cada valor apresentado na Tabela 6 representa a mediana de cinco leituras realizadas conforme o método descrito de medida da indução magnética e de acordo com as várias montagens testadas.

montagem	A	B	C	D	E
d (mm)					
0	2070	2350	2190	2290	2485
1	1195	1630	1548	1200	1854
2	595	868	902	440	1172
4	183	261	384	145	411
8	40	66	104	27	93
16	8	13	20	2	16

Observe-se o efeito de uma “armadura”, potenciando o efeito do ímã (comparar a indução magnética gerada pelas montagens “B” e “A”), o efeito da associação de ímãs (comparar os das montagens “C” e “D”) (*) e o da área (comparar os das montagens “E” e “B”).

Por outro lado, será sempre possível posicionar pólos magnéticos de modo a diminuir o espalhamento do campo, isto é, constituir um circuito magnético “fechado” (Figuras 4, 5 e 6).

A influência protetora exercida por uma “armadura” de ferro de 0,5 mm de espessura, com raio de curvatura 12,5 mm e diâmetro da base igual a 16 mm (área circular de proteção portanto igual a 201 mm²) foi testada com uma montagem de

Tabela 7. Valores (em gauss) de fluxo magnético num ponto a diferentes distâncias da fonte (em mm), com e sem a interposição de uma placa de material ferromagnético.

Distância	sem placa	placa (Fe)
2	650	6
3	338	4
4	196	2
5	118	1
6	77	0

ímãs de Ne-Fe-B 27 de diâmetro 3,05 mm e espessura 1,52 mm, sobre lâmina de ferro, com pólos complementares justapostos um ao lado do outro, com separação de 0,5 mm entre eles (equivalendo pois, aproximadamente, a uma montagem “D” da Tabela 5, duplicada). O fluxo magnético dessa armadura, medido de 2 a 6 mm de sua superfície foi comparado ao fluxo magnético “atrás” do “escudo” protetor, em distâncias equivalentes (Tabela 7).

Isso mostra que cerca de 99% do fluxo magnético é “absorvido” pela placa e que a cerca de 6 mm dela o efeito do campo magnético é praticamente nulo. A placa, na verdade, atua como elemento do circuito magnético, concentrando as linhas de campo (Figuras 4, 5 e 6).

DISCUSSÃO

A introdução de forças no sistema oculomotor por agentes mecânicos de ação “direta”, tais como molas e fios elásticos, foi proposta para restauração de movimentos oculares perdidos (por paralisias neuromotoras, por perdas de músculo), mostrando como um dos inconvenientes a perda de ação do mecanismo pela formação de tecido cicatricial, inelástico, em torno dele^{18,19}. O uso de forças com atuação “indireta”, como as de campos magnéticos, soluciona tal problema, por serem as ações realizadas à distância e atravessando tecidos, sem perdas de efeito.

Embora a ação de campos magnéticos sobre tecidos vivos tenha sido aplicada sem descrições de efeitos deletérios, o sistema a ser usado para estabilização de posições oculares mostra que as linhas de campo praticamente ficam confinadas ao espaço entre os elementos do circuito magnético, sem espalhamento para outras regiões (Tabela 7). Por outro lado, ímãs de alto poder energético, como os usados no experimento (Ne-Fe-B) permitem que com reduzíssimos volumes se obtenha um fluxo magnético relativamente alto (Tabela 6). Tais fluxos, em distâncias respectivas baixas, geram forças mais do que suficientes para bloquear nistagmos (Tabela 5) e conter o olho em posições estáveis, sem lhes impedir rotações, quando forças pouco maiores (desenvolvidas pela contração dos músculos oculares externos) forem acionadas, para o desenvolvimento de rotações normais.

(*) O efeito paradoxal de um menor fluxo magnético medido para a montagem “C” relativamente à “B” em distâncias muito pequenas (zero, isto é, com a sonda do gaussímetro colocada no centro da superfície da montagem, ou a 1 mm dela) ou a “D” (distância “zero”) deve-se, provavelmente, à forte repulsão das linhas do campo de um ímã, pelo outro.

A quantidade de ímãs e, ou seus poderes de geração de forças podem, de qualquer modo, ser alterados, possibilitando que ajustamentos particularizados a cada caso (de intensidade do nistagmo, ou seja, amplitude e freqüência) fiquem obtidos. Esse caráter de removibilidade e manuseabilidade (ímãs colocados em posições perioculares, **fora** da órbita) dá muita segurança ao controle dos elementos geradores das forças.

Por outro lado, a fixação de corpos sobre a superfície ocular (cintas, blocos) é extensamente usada em processos oftalmológicos de rotina (e.g., cirurgias de descolamento de retina), sem maiores intercorrências apesar de funcionarem como calços, deformando a superfície ocular. O fato de, pela proposta, o elemento a ficar, simplesmente, preso ao olho ser metálico (material ferromagnético) não altera substancialmente essa relação de adaptabilidade do organismo; aliás, em várias outras circunstâncias, metais são usados em Medicina (e.g., pinos e cabos, em cirurgias de Ortopedia). Recobrimentos com películas apropriadas podem, todavia, ser convenientes, devendo por isso ser providos como acabamentos das placas metálicas. (Por exemplo, um esmalte branco, para fins estéticos de mimetização delas à esclera; e uma película de material biocompatível, para isolamento do conjunto. É possível que a própria película de coloração, sendo biocompatível, sirva, também, ao segundo propósito). Com idêntica finalidade, aristas e quinas devem ser atenuadas.

Enfim, cálculos e determinações experimentais demonstram a adequação de um sistema de geração de forças, usando campos magnéticos (ímãs permanentes de alto poder energético), sua segurança e conveniência na aplicação a alguns dos problemas oculomotores. Entre esses, prevê-se que o de correção (bloqueio) de nistagmos, sem o impedimento de rotações normais, possa ser o de indicação mais imediata, tudo levando a crer no bom sucesso desse procedimento. O sistema, entretanto, poderá também servir a ajustamentos e estabilizações de posições oculares, após cirurgias de estrabismo.

CONCLUSÕES

1) Um sistema de geração de forças de ação à distância (forças de campo magnético) evita inconvenientes achados em outros modelos, que pretenderam introduzir forças no sistema oculomotor.

2) Forças de campo magnético têm sido aplicadas em humanos em várias circunstâncias, sem descrições de efeitos deletérios.

3) Avanços tecnológicos possibilitam a confecção de ímãs permanentes com alto poder magnético em volumes suficientemente reduzidos para aplicações em Mecânica Ocular. Principalmente os de ligas de neodímio, ferro e boro satisfazem esses condicionamentos.

4) A magnitude das forças em circuitos magnéticos, nos

quais o fluxo energético passa entre o ímã e uma placa de material ferromagnético (e.g., ferro “doce”) é, mesmo em distâncias relativamente grandes, da ordem das que estão relacionadas a movimentos oculares.

5) Uma placa metálica apropriadamente preparada para fixação sobre a superfície ocular (tendo raio de curvatura igual a 12,5 mm) pode concentrar a quase totalidade das “linhas de campo” evitando que elas se espalhem para além dele (isto é, para dentro do olho).

6) A força gerada pode ser ajustada pela quantidade (ou volume) dos ímãs empregados no sistema, ou pela distância entre eles e a placa metálica. Embora não se possa **diminuir** a distância entre esses elementos além de um certo limite (a da espessura de tecidos interpostos entre eles), ela poderá ser facilmente **umentada** por introdução de material magneticamente “transparente”.

7) Ajustamentos assim possibilitados permitirão que se estabilize uma posição ocular, sem impedir rotações, quando forças maiores (de contração muscular) forem acionadas.

8) A aplicação desse método está portanto indicada no bloqueio de nistagmos (ou outros movimentos oculares indesejados) e em reposicionamentos do olho, após uma cirurgia de estrabismo.

SUMMARY

The basic concepts about the introduction of new forces to the oculomotor system, by the use of magnetic fields are presented. This method has two specific advantages: 1) The forces act without any material contact between the element which generates them (a permanent magnet in a periorbital location) and the point of their application (e.g., a ferromagnetic plate fixed to the scleral surface). 2) The forces are not constant (though permanently acting) but depend on the distances between the elements of the magnetic circuit. This allows the generation of forces sufficient to perform an expected function (e.g., the blockade of a nystagmus) without preventing that other greater forces may act. Therefore the stabilization so produced may be overcome and a normal rotation results. With alloys of neodimium, iron and boron, very efficient permanent magnets are obtained. Although of reduced size, they generate the forces required for such oculomotor stabilization. If assembled in metallic plates, their performances are further improved. Besides, there are no practical effects of the magnetic fields beyond the plates fixed to the sclera. Thus, this method is indicated for the treatment of nystagmus but may be also used for other applications as, for instance, that of the adjustment and stabilization of ocular positions, immediately after surgical correction of strabismus.

Keywords: Nystagmus; Magnets; Adjustments.

REFERÊNCIAS

1. Mulay LN. Basic concepts related to magnetic fields and magnetic susceptibility. In: Biological effects of magnetic fields, M.F. Barnothy, ed. New York, Plenum Press, 1964.
2. Valentinuzzi M. Rotational diffusion in a magnetic field and its possible magnetobiological implications. In: Biological effects of magnetic fields, M.F. Barnothy, ed., New York, Plenum Press, 1964.
3. Kawata T, Takeda S. A new orthodontic appliance by means of magnetic bracket. J Dent Res 1977;56A:189 (Abstract 587).
4. Cerny R. Magneto-orthodontics: the application of magnetic forces to orthodontics. Austral Orthod J 1978;5(3):105-13.
5. Freedman H, Smiley H. Magnetic force in orthodontics. Am J Orthod 1978;74(4):435-43.
6. Blechman AM. Magnetic force systems in orthodontics. Am J Orthod 1985;87(3):201-10.
7. Freedman H. Magnets to stabilize dentures. J Am Dent Assoc 1953;47:288.
8. Nadeau J. Maxillofacial prosthesis with magnetic stabilizers. J Prosthet Dent 1956;6:114.
9. Behrman SJ. The implantation of magnets in the jaw to aid denture retention. J Prosthet Dent 1960;10:807.
10. Driller J, Frei EH. A review of medical applications of magnet attraction and detection. J Med Eng Technol 1987;11(6):271-7.
11. Eckardt C, Hennig G. Transcleral magnet fixation of the retina in complicated retinal detachment. Klin Mbl Augenheilk 1984;185(4):296-8.
12. Momma WG, Biermann B. Eine einfache Methode, die Lidfunktion bei Fazialis paresis mit Permanentmagneten wiederherzustellen. Klin Mbl Augenheilk 1976;169:529-33.
13. Garcia JC et al. Nuevo tratamiento quirúrgico del lagofalmo: magnetos para párpados. Arch Oftalmol B Aires 1986;61(3):221-4.
14. Bicas HEA. Princípios teóricos de substituição de ação rotacional de músculo extra-ocular. VII: Emprego de forças geradas por campos magnéticos. Arq Bras Oftalmol 1985;48(2):37-47.
15. Bicas HEA. Fundamentos e considerações preliminares na geração de rotações binoculares combinadas em casos de perdas de ação muscular. Rev Bras Oftalmol 1996;55(6):431-43.
16. Bicas HEA. Geração de rotações oculares combinadas em casos de perdas de ação muscular. Mecanismos para conjugações rotacionais. Arq Bras Oftalmol 1996;59(2):119-28.
17. Bicas HEA. Geração de rotações oculares combinadas em casos de perdas de ação muscular. Modelos baseados em forças produzidas por campos magnéticos. Arq Bras Oftalmol 1996;59(6):550-8.
18. Bicas HEA. A Surgically Implanted Elastic Band to Restore Paralyzed Ocular Rotations. J Ped Ophthal Strab 1991;28:10-3.
19. Scott AB, Miller JM, Collins CC. Eye Muscle Prosthesis. In Proceed. Of the Mechanics of Strabismus Symposium, A.B. Scott, ed. San Francisco. The Smith-Kettlewell Eye Research Institute, 1992; pp. 287-95.

Simpósio Internacional de Glaucoma

16 e 17 de Outubro de 1998

Teatro Marcos Lindenberg Unifesp - EPM

Organização: C.E.O. Prof. Moacyr Álvaro
Departamento de Oftalmologia da Unifesp - EPM
IPEPO

Maiores informações:

WTE Gerenciamento de Eventos Ltda.

Al. Campinas, 463 - 6º andar 01311-000 - São Paulo - SP

Tel.: (011) 253.7947 - Fax: (011) 284.6629

E-mail: wte@sanet.com.br