

# Resistência da córnea após ceratotomia radial: estudo experimental em coelhos

Cornea resistance after radial keratotomy: experimental study in rabbits

Luís Eduardo M. R. de Carvalho<sup>(1)</sup>  
Maurício Della Paolera<sup>(2)</sup>

## RESUMO

**Realizamos estudo experimental prospectivo da resistência corneal após a Ceratotomia Radial em coelhos. Foram utilizados 13 animais da raça cinzento europeu. Empregamos, em todos os casos, a mesma técnica e instrumental cirúrgico. As alterações na resistência, sofridas pela córnea, foram estudadas e registradas por intermédio de um Diagrama Tensão Deformação.**

**A análise estatística envolveu o teste "t" para amostras pareadas, baseado na distribuição "t" de Student. Esta análise envolveu a diferença entre os valores da Tensão de Ruptura no olho Operado e no olho Não operado. O teste "t", para amostras pareadas, mostrou ser significativa a redução da resistência da córnea após esta cirurgia refrativa.**

## INTRODUÇÃO

A Ceratotomia Radial é um procedimento cirúrgico potencialmente benéfico para pacientes portadores de miopia pura e/ou associada a astigmatismo, a partir dos 17 anos, na faixa de -0.75 a -6.00 DE. É também uma cirurgia ocular que sofreu sérias resistências até sua implantação como alternativa ao uso de óculos ou lentes de contato, e que atualmente é executada por cirurgiões treinados em todo o mundo. Esta polêmica existe já há algum tempo, desde que *Sato* (1939) iniciou suas investigações, publicando-as posteriormente (1953).

Vários outros autores contribuíram para o aperfeiçoamento desta técnica, mas foi *Fyodorov* (1979) quem possibilitou um grande impulso; este autor

selecionou um grupo de 130 pacientes, portadores de miopia de 1 a 3 DE, e nestes relatou 100% de resultados com acuidade visual de 20/50, ou melhor, sem correção óptica, e 85,4% com 20/25, ou melhor, também sem correção. Outro grupo de 546 olhos, com follow-up de mais de um ano, portadores de miopias de -3.25 a -6.00 DE apresentaram 20,8% dos olhos emétopes, 4,4% hipermetropes de até +0.75, 37% com acuidade visual pós-operatória de 20/25 e 408 olhos com miopia residual. Nos USA, *Bores* (1980) publicou resultados bastante satisfatórios com emprego de técnica similar.

A técnica cirúrgica utilizada na realização da Ceratotomia Radial tem-se incrementado muito desde a sua introdução. Atualmente, o paquí-

- (1) Médico Assistente Voluntário da Clínica Oftalmológica da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo. (Setor de Estrabismo).
- (2) Médico Assistente Voluntário da Clínica Oftalmológica da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo. (Setor de Glaucoma).

metro ultra-sônico e o bisturi com ponta de diamante estão plenamente estabelecidos (Durham, 1966; Thornton, 1983).

Em 1981, é criado nos USA, pelo National Eye Institute, o PERK Study (Prospective Evaluation on Radial Keratotomy), com técnicas cirúrgicas padronizadas e avaliações pós-operatórias controladas, estudo conduzido por 9 universidades norte-americanas, com duração de 5 anos, já renovados por mais 5 anos (Waring; Morffit; Geelder; Borque and PERK Study Group, 1983).

As 16 incisões inicialmente recomendadas (Fyodorov, 1980) foram reduzidas para 8 incisões radiais (Knauss, 1982; Smith, 1982); atualmente este número foi reduzido a 6 e 4 incisões, na dependência do esférico-equivalente do olho a ser operado, podendo ser associadas a incisões transversas e arciformes, para a correção astigmática. Retoques pós-operatórios são realizados para a obtenção de ajuste-fino da refração final, o mais perto possível da emetropia, pelo reaprofundamento de incisões pré-existentes ou pela adição de novas incisões, até no máximo de 16 incisões.

As técnicas variam em função do número de cirurgões que realizam esse procedimento (Bores, 1981; Rowsey, 1982; Fyodorov, 1980; Cowden, 1982; Deitz, 1984; Hoffer, 1981). Todos esses autores confirmam que a cirurgia é efetiva na redução da miopia, de 1 a 6 dioptrias, mas as técnicas não são coincidentes. A utilização de sofisticados programas de computador tem possibilitado uniformizar a margem de acerto do cirurgião; são aplicadas equações matemáticas e observadas as diversas características biológicas de cada paciente em particular, o que elimina o uso de estatísticos nomogramas. Assim, o computador de programa "Regressão Linear Múltipla" em que as variáveis biológicas de cada paciente são considera-

das ao se traçar o plano cirúrgico de cada olho (Coelho, 1989).

Apesar do seu largo emprego em nosso meio, poucos estudos experimentais surgiram para analisar as complicações decorrentes deste procedimento (Dantas, 1988). Comunicações pessoais (Souza-Dias, 1989; Holchuch, 1989) alertam para a diminuição da resistência da córnea após a cirurgia da miopia. Trabalhos publicados nos EUA chamam a atenção dos cirurgiões para a possibilidade de redução da resistência corneana a traumas severos, em que poderia haver da corneano maior em olhos ceratotomizados (Binder, Perry, 1988).

Muito embora milhares de ceratotomias refrativas-radiais transversas e hexagonais sejam realizadas em todo o mundo, o relato de complicações pós-operatórias imediatas ou tardias, secundárias a traumas severos sobre o globo ocular, é muito pequeno em toda a literatura especializada. A Academia Americana de Oftalmologia publicou um estudo comparado dos diversos relatos publicados na literatura, como o PERK Study, Arrowsmith/Marks Study e Deitz/Sanders Study, sem referências a complicações pós-operatórias imediatas ou tardias, secundárias a trauma severo sobre a córnea (American Academy of Ophthalmology, 1988). A literatura internacional é pobre em citações sobre o assunto. Uma revisão bibliográfica mostra apenas 5 trabalhos até agora publicados (Lutrell, 1982; Simons, 1987; Spivak, 1987; John Me, 1983; Linsalata, 1987). A proposição deste trabalho é trazer maiores informações a respeito da possível diminuição da resistência da córnea de coelhos submetidos à Ceratotomia Radial, estudando as mudanças da resistência da córnea à compressão com o pós-operatório de 71 dias; fazendo uma possível correlação entre os achados das córneas de coelhos e as córneas submetidas à Ceratotomia Radial.

## MATERIAL E MÉTODO

### 1 - Caracterização

Foram utilizados 8 coelhos e 5 coelhas da raça cinzento europeu, com peso variando entre 3300 e 4300 g (Tabela 1, pag. 5). Os animais procederam do biotério da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo (FCMSC - SP).

As intervenções foram realizadas nas dependências da Disciplina de Técnica Cirúrgica da FCMSC - SP. Convencionamos o olho direito como o olho a ser operado, reservando o esquerdo para controle.

TABELA 1  
Peso e sexo dos animais do experimento

| Coelho | Sexo | Peso (g) |
|--------|------|----------|
| 1      | M    | 3.500    |
| 2      | M    | 3.300    |
| 3      | M    | 4.000    |
| 4      | F    | 3.500    |
| 5      | M    | 3.800    |
| 6      | F    | 4.000    |
| 7      | M    | 4.200    |
| 8      | F    | 4.200    |
| 9      | F    | 4.300    |
| 10     | M    | 3.500    |
| 11     | M    | 3.550    |
| 12     | F    | 3.600    |
| 13     | M    | 3.300    |

### 2 - Anestesia

Os animais foram anestesiados com 0,6 ml de Cloridrato de Cetamina, 57,67 mg\* e 0,4 ml de Cloridrato de 2-(2,6 Xilidino) - 5,6 diidro 4H- 1,3 Tiazina- 2,8\*\*. Ambas as drogas foram administradas através de injeção intramuscular. A seguir, os animais foram submetidos à anestesia ocular, instilando-se duas gotas de Cloridrato de Proparacaína a 0,5% \*\*\* no olho direito. Os animais permaneceram em respiração espontânea durante todo o ato cirúrgico.

\* Ketalar® \*\* Rompum® \*\*\* Anestalcon®

**TABELA 2**  
**Medida da espessura corneal**

|                      |          |
|----------------------|----------|
| Valor Máximo obtido: | 0,413 mm |
| Valor Mínimo obtido: | 0,403 mm |
| Valor Padrão:        | 0,375 mm |

### 3 – Técnica operatória

#### 3.1 – Medida da espessura corneal

Utilizamos o paquímetro ultra-sônico STORZ CS 100 com ajuste de velocidade de 1630 m/seg de velocidade sônica, efetuando medidas no centro da córnea e nas regiões superior, nasal inferior e temporal a 4 mm do centro óptico (Tabela 2, pag 7). Tomamos como padrão a espessura de 0,375 mm, a qual se encontra abaixo da menor medida por nós colhida.

#### 3.2 – Marcação corneal

O centro óptico foi identificado sob visão direta monocular, através de um microscópio cirúrgico e marcado com uma agulha de insulina.

A zona central da córnea foi delimitada com marcador circular de 3 mm de diâmetro e hastes para 8 incisões (Anel atraumático de Thorton).

#### 3.3 – Incisões

As incisões, em número de oito, foram efetuadas de modo radial e centrípeto, partindo da referida marcação até deterem-se nas proximidades do limbo. A profundidade utilizada, como anteriormente citado, foi de 0,375 mm (91,9% da espessura corneana média).

Não empregamos qualquer tipo de irrigação. O uso de medicação pré, per ou pós-operatória não foi necessário.

### 4 – Pós-operatório

Os animais foram mantidos em cativeiro por um período, arbitrariamente estabelecido, de 71 dias. A alimentação foi composta por ração balanceada, própria para coelhos\*. O pe-

\* *Boa Cria*® – ração para coelhos.

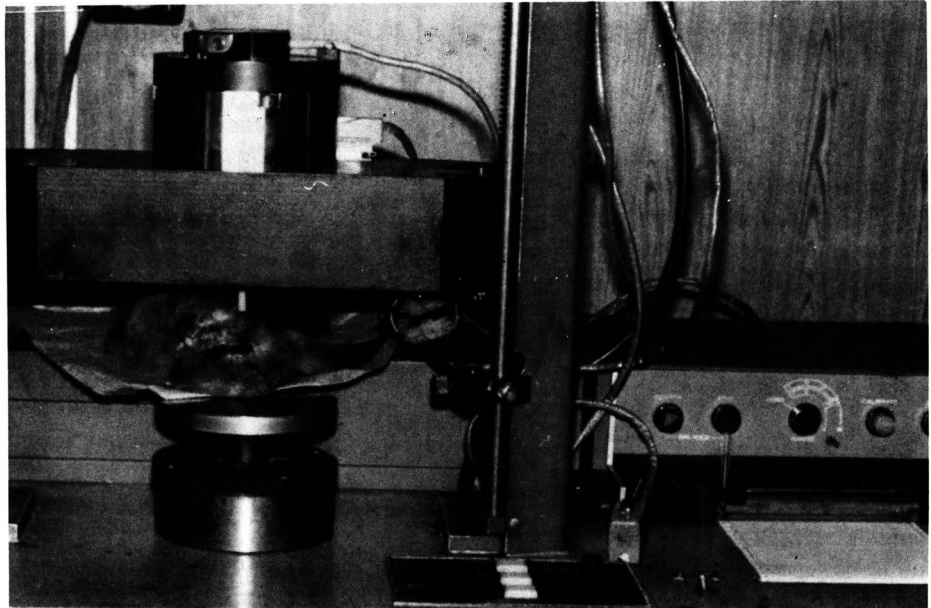


Foto 1: "Clamp Hydraulic Pneumatic"

ríodo de tempo estabelecido decorreu sem nenhuma intercorrência.

### 5 – Avaliação dos resultados

No prazo previamente estabelecido de 71 dias, os coelhos foram anestesiados com máscara de éter etílico e mortos com injeção intracardíaca de Cloreto de Potássio (KCL 19, 1%).

#### 5.1 – Avaliação da resistência da córnea à compressão do olho

Após a morte, os animais foram levados até o Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de São Paulo (IPT), setor de plásticos. Sob supervisão dos técnicos responsáveis pelo setor supracitado, ambos os olhos de cada coelho(a) foram submetidos a um ensaio com a finalidade de analisar a resistência da córnea.

A seguir encontra-se descrita a sequência de eventos necessária para realização deste experimento:

A – Estabilização da temperatura da sala em 18°C, mantida por meio de um aparelho de ar-condicionado e aferida por termômetro;

B – Escolha da máquina para a realização do ensaio. A opção foi pelo "Clamp Hidraulic Pneumatic", equipamento utilizado na realização de ensaio axial (tração ou compressão), onde um corpo de prova é fixado convenientemente a este e passa a ser solicitado gradativa e axialmente em ordem crescente. Tal instrumento tem procedência norte-americana (INSTRON®) e é utilizado no IPT para testes com materiais frágeis (Foto 1);

C – Ajuste da velocidade média da máquina em 5 cm/min;

D – Ajuste da escala de força para 5 Kgf;

E – Posicionamento do animal em decúbito lateral, sendo esquerdo para teste com o olho direito e direito para teste com o olho esquerdo;

F – Adaptação para ensaio axial de compressão (colocou-se a ponta da prensa em um ângulo de 90° em relação ao centro óptico do olho em teste);

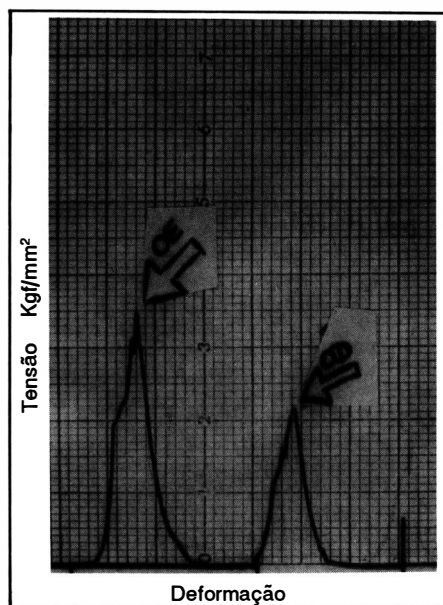


Foto 2: Diagrama Tensão Deformação

- G - Fixação do olho a ser submetido ao ensaio com anel de THORNTON de 16 mm de diâmetro;
- H - Compressão da córnea através de uma peça de plástico de alta resistência, medindo 30 mm de comprimento por 1,5 mm de diâmetro (área de contato de 1,77 mm<sup>2</sup>);
- I - Registro das alterações observadas em um diagrama *Tensão Deformação* (Foto 2), onde no eixo das ordenadas são marcadas as tensões e no eixo das abscissas as deformações específicas.

### 5.2 - Avaliação do diagrama tensão deformação

Para a correta interpretação do diagrama, foi necessária a definição de alguns conceitos (Trindade 1985);

A - *Tensão*: Quociente resultante da força aplicada pelo "Clamp" em relação à área de contato entre o cilindro utilizado e a córnea (1,77 mm<sup>2</sup>). A unidade utilizada foi Kgf por mm<sup>2</sup>

**TABELA 3**  
Valores da Força Máxima e Tensão Última registrados em cada um dos olhos dos animais do experimento

| Coelho Kgf | OD                 |                            | OE                 |                            |
|------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
|            | Força Máxima / Kgf | Tensão Kgf/mm <sup>2</sup> | Força Máxima / Kgf | Tensão Kgf/mm <sup>2</sup> |
| 1          | 0,75               | 0,42                       | 0,70               | 0,40                       |
| 2          | 0,60               | 0,34                       | 1,40               | 0,80                       |
| 3          | 0,60               | 0,34                       | 1,20               | 0,68                       |
| 4          | 1,10               | 0,62                       | 1,50               | 0,85                       |
| 5          | 0,65               | 0,37                       | 0,75               | 0,42                       |
| 6          | 1,15               | 0,65                       | 1,50               | 0,85                       |
| 7          | 0,70               | 0,40                       | 0,80               | 0,45                       |
| 8          | 1,25               | 0,71                       | 1,50               | 0,85                       |
| 9          | 0,85               | 0,48                       | 1,45               | 0,82                       |
| 10         | 0,60               | 0,34                       | 1,10               | 0,62                       |
| 11         | 0,85               | 0,48                       | 0,75               | 0,42                       |
| 12         | 1,35               | 0,76                       | 1,45               | 0,82                       |
| 13         | 1,30               | 0,73                       | 1,25               | 0,71                       |

(quilogramas força por milímetro quadrado);

B - *Tensão Última*: Tensão onde a reação do material ante a força externa é máxima.

A reação interna de um material é fisicamente explicada como a oposição à mudança do seu estado físico de equilíbrio quando sob a ação de esforços solicitantes; esta oposição é determinada pelos esforços intramoleculares.

Para certos tipos de materiais frágeis, como a córnea, não ocorre nenhuma mudança sensível no modo de deformação, isto é, nos diagramas TENSÃO DEFORMAÇÃO, dos respectivos materiais, o ponto representante da TENSÃO ÚLTIMA é praticamente coincidente com o ponto de ruptura.

O diagrama TENSÃO DEFORMAÇÃO varia muito para um mesmo material, podendo ocorrer resultados diversos em vários ensaios com uma mesma amostra.

### 6 - Estudo estatístico

Em virtude do perfil da amostra envolvida neste ensaio, a análise estatística foi feita com base no valor

obtido em cada um dos olhos dos animais.

Empregamos o teste "t" para amostras pareadas, baseado na distribuição "t" de Student. Neste caso, elegemos um nível de significância de 5% ou 0,05, considerado como valor máximo razoável para o risco de rejeitarmos uma hipótese verdadeira. A hipótese de nulidade é aquela onde a diferença média entre valores obtidos no olho operado e o olho controle é igual a zero.

### RESULTADOS

Os resultados obtidos encontram-se distribuídos na Tabela 3.

#### 1 - Resultados estatísticos

O peso dos animais do experimento variou de 4,3 kg (valor máximo) até 3,3 kg (valor mínimo).

O teste "t" para amostras pareadas, baseado na distribuição "t" de Student, teve como índice de significância 0,05 ou 5%, ou seja, consideramos como significativos os valores acima deste patamar. Para um teste que envolveu 13 comparativos, o índice de significância de 5% para 12 graus de liberdade emprega o valor de 2.1788

para o "t" crítico. Deste modo, comparamos o valor obtido nesta amostra (3,46) como o "t" crítico acima e observamos a existência de diferença significativa.

---

#### COMENTÁRIOS

---

Motivados pela comunicações pessoais de *Holzchuch* e *Souza-Dias* (1989), buscamos, de maneira até agora não descrita na literatura, verificar e quantificar as alterações da resistência corneal, após a realização da Ceratotomia Radial.

Utilizamos o coelho cinzento europeu como animal de experimento por ser resistente, de boa compleição física, o que torna o ato operatório, pela dimensão das estruturas envolvidas e pelo tipo de material empregado, de fácil execução.

O ato operatório envolveu a mesma seqüência de tempos cirúrgicos em todas as 13 vezes em que foi realizado. Dentre as variantes técnicas, optamos por realizar 8 incisões radiais (*Knauss*, 1982; *Smith*, 1982).

A escolha da profundidade de corte padrão (0,375 mm) foi feita por opção pessoal, fazendo-a abaixo do limite inferior da espessura da córnea obtido neste trabalho (0,403 mm).

O instrumental utilizado foi análogo, destacando-se o bisturi de ponta de diamante com ajuste micrométrico. Assim, garantimos a uniformidade das incisões realizadas, sempre feitas pelo mesmo cirurgião.

Não observamos qualquer tipo de intercorrência no fechamento ou cicatrização das incisões. Decidimos por um período de 71 dias, para que todos os casos tivessem o mesmo intervalo de tempo para reparo das lesões cirúrgicas. Na literatura, apesar dos vários estudos, tanto em animais quanto em olhos frescos de cadáveres humanos, não há concordância quanto ao tempo exato da cicatrização corneal (*Dantas*, 1988).

Na procura do método ideal para aferição das alterações da resistência corneal decorrentes da Ceratotomia Radial, optamos pela realização de um ensaio de compressão axial (*Trindade*, 1985). Este ensaio, já amplamente estudado e realizado nos laboratórios de pesquisas no campo de engenharia, foi adaptado para o estudo da resistência da córnea.

O local escolhido foi o IPT e a supervisão técnica foi feita pelos responsáveis pelo setor de plásticos. A escolha recaiu sobre a instituição, pela sua respeitabilidade em nosso meio.

Na avaliação dos achados, chamamos a atenção para a variabilidade do Diagrama Tensão Deformação nos diversos ensaios realizados. Este fato está de acordo com as observações de *Trindade* (1985). Assim sendo, não pudemos comparar os valores obtidos nos olhos operados com aqueles encontrados nos não operados.

A alternativa mais próxima à realidade física foi a de compararmos isoladamente a diferença entre as tensões máximas obtidas em ambos os olhos de cada animal.

A análise estatística se enquadra neste perfil, e para tanto foi empregado o teste "t" para amostras pareadas.

Apesar de não podermos transpor estes achados experimentais para o ser humano, no coelho, testado com o pós-operatório de 71 dias, cujo olho tem estruturas e elementos anatômicos que se assemelham ao do homem, este experimento sugere que a realização da Ceratotomia Radial provoca uma diminuição da resistência da córnea. Sua aplicação clínica, no entanto, depende de outros experimentos no homem, havendo necessidade do aperfeiçoamento de técnicas não invasivas para a avaliação dos resultados.

---

#### CONCLUSÕES

---

Nas condições de realização do

presente trabalho, podemos concluir que:

- 1 - Após a Ceratotomia Radial, em olhos de coelhos, houve redução da resistência da córnea;
- 2 - No olho operado houve queda do valor da Tensão Última, demonstrando diminuição da resistência da córnea;
- 3 - Os valores da Tensão Última variaram de ensaio para ensaio, mas mantiveram diferença significativa estatisticamente entre o olho Direito (operado) e olho Esquerdo (não operado).

---

#### SUMMARY

---

*The authors realized experimental prospective study of corneal resistance after Radial Keratotomy in rabbits. 13 grey european rabbits were utilized. The surgical technique and instruments were the same in every cases. The cornea's alterations were studied and registred by Tension-Deformation Diagram. The statistics analysis involved the difference between the value of rupture tension of operated eye and no operated eye. At the "t" test for paralel samples, the corneal resistance showed significant reduction after this surgery.*

---

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

1. BINDER; PERRY, S. - Statement on Radial Keratotomy in 1988: by the Bard of Directors of the International Society of Refractive Keratoplasty. *Journal of Refractive Surgery*, vol 4 #3, May/June 1988.
2. BORES, L, D.; MYERS, W.D.; COWDEN, J. - Radial Keratotomy: An Analysis of the American Experience. *Ann Ophthalmol*, 13:941-8, 1981.
3. COELHO, E, T.; GOMES, E. B.; BORATO, F. - Avaliação Estatística da Técnica "CB" para Microcirurgia da Miopia. *Revista Brasileira de Oftalmologia*, vol XLVIII 1, 2/89.
4. COWDEN, J.W. - Radial Keratotomy: A Retrospective Study of Cases Observed at Kresge Eye Institute for six Months. *Arch Ophthalmol*, 100: 578-80, 1982.
5. DANTAS, P.E.C. - Ceratotomia Radial: Estudo Experimental em Cães. São Paulo, 1988,

Resistência da córnea após ceratotomia radial:  
estudo experimental em coelhos

- Trabalho apresentado no Curso de Especialização em Oftalmologia da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo.
6. DEITZ, M.; SANDERS, D.R.; MARKS, R. - Radial Keratotomy: An Over view of the Kansas City Study. *Ophthalmology*, 91(5): 467-77, 1984.
  7. DURHAM, D.G. - Diamond Knives in Ocular Surgery. *Am J Ophthalmol*, 62(1): 16-9, 1966.
  8. FYODOROV, S.N.; DURNEV, V.V. - Operation of Dosaged Dissection of Corneal Circular Ligament in Cases of Myopia of Mild Degree. *Ann Ophthalmol*, 11: 1185-90, 1979.
  9. FYODOROV, S.N. - Surgical correction of Myopia and Astigmatism. In SCARCHAR, R.A.; LEVY, N.S.; and SCHARCHAR, L. - Keratorefractive, Denison, LAL Publ, 1980, pp 141-70.
  10. HOFFER, R.; LEVENSON, J.E. - UCLA Clinical Trial of Radial Keratotomy. *Ophthalmol* (Rochester), 88: 729, 1981.
  11. HOLCHUCH, N. - Comunicação Pessoal, 1989.
  12. JOHN, M.E.; SCHMITT, T.E. - Traumatic Hyphema After Radial Keratotomy. *Ann Ophthalmology*, 15, 930-932.
  13. KNAUSS, W.; RAPACZ, P.; SENE, L. - Curvature Changes Induced by Radial Keratotomy in Solithane Model of Eye. *Invest Ophthalmol*, 20: 69, 1982.
  14. LUTTELL, J.K.; JESTER, J.V.; SMITH, R.E. - The Effect of Radial Keratotomy on Ocular Integrity in Animal Model. *Arch Ophthalmol*, 100, 319-320, 1982.
  15. ROWSEY, J.J. and BAYEAT, H.D. - Preliminary Results and Complications of Radial Keratotomy. *Am J Ophthalmol*, 93: 437, 1982.
  16. SATO, T. - Treatment of Conical Cornea (incision of Descemet's membrane). *Nippon Ganka Gakkai Sashhi*, 43: 541, 1939.
  17. SATO, T. AKIYAMA, K.; SHIBATA, H. - A New Surgical Approach to Myopia. *Am J Ophthalmol*, 36: 823-9, 1953.
  18. SIMONS, K.B.; LINSALATA, R.P. - Rupture Globe Following Blunt Trauma After Radial Keratotomy; A case Report. *Ophthalmology*, 94(Suppl): 148, 1987.
  19. SPIVAK, L. - Case Report: Radial Keratotomy Incisions Remain Intact Despite Facial Trauma from Plane Crash. *J. Refrac Surg*, 3: 59-60, 1987.
  20. SOUZA-DIAS, C.R. - Comunicação Pessoal, 1989.
  21. THORTON, S.P. - Blade Tecnology in Radial Keratotomy. In \*Refractive Keratoplasty. Denison, LAL Publ 1983, pp 187-97.
  22. TRINDADE, O.A - Textos Básicos de Resistência dos Materiais parte I. In \*capítulos 3-4. FAAP Publ 1985, pp 29-67.
  23. VILLASENOR, R.A. - Introduction to and Historical Overview of Surgical Procedures for the correction of Refractive Erros. *Int Ophthalmol Clin*, 23(3): 1-9, 1983.