

Marcelo Jordão Lopes da Silva

**Influência da Idade, Espessura Central da Córnea e do
Índice de Qualidade na TONOMETRIA DE CONTORNO
DINÂMICO.**

CAMPINAS

2009

Marcelo Jordão Lopes da Silva

**Influência da Idade, Espessura Central da Córnea e do
Índice de Qualidade na TONOMETRIA DE CONTORNO
DINÂMICO.**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), para obtenção do título de Doutor em Ciências Médicas, Área de Oftalmologia.

Orientador: Prof. Dr. Vital Paulino Costa

Campinas

Unicamp

2009

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS DA UNICAMP**

Bibliotecário: Sandra Lúcia Pereira – CRB-8ª / 6044

	Silva, Marcelo Jordão Lopes da
Si38i	Influência da idade, espessura central da córnea e do índice de qualidade na tonometria de contorno dinâmico / Marcelo Jordão Lopes da Silva. Campinas, SP : [s.n.], 2009.
	Orientador : Vital Paulino Costa
	Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Médicas.
	1. Glaucoma. 2. Tonometria ocular. I. Costa, Vital Paulino. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Médicas. III. Título.

Título em inglês : Influence of age, central corneal thickness, and quality score on dynamic contour tonometry

Keywords: • Glaucoma
• Tonometry, ocular

Titulação: Doutor em Ciências Médicas

Área de concentração: Oftalmologia

Banca examinadora:

Prof. Dr. Vital Paulino Costa

Prof. Dr. Jose Paulo Cabral de Vasconcellos

Prof. Dr. Enyr Saran Arcieri

Prof. Dr. Jayter Silva de Paula

Prof. Dr. Ivan Maynart Tavares

Data da defesa: 07-12-2009

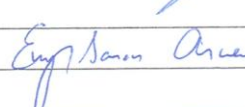
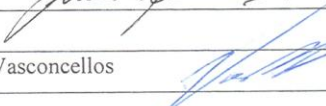
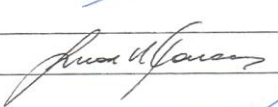
Banca examinadora de Tese de Doutorado

Marcelo Jordão Lopes da Silva

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Vital Paulino Costa



Membros:
Professor (a) Doutor (a) Jayter Silva de Paula
Professor (a) Doutor (a) Ivan Maynart Tavares
Professor (a) Doutor (a) José Paulo Cabral de Vasconcellos
Professor (a) Doutor (a) Enyr Saran Arcieri



Curso de pós-graduação em Ciências Médicas da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas.

Data: 07/12/2009

Dedicatória

A minha amada esposa lara, pelo apoio
incessante e companheirismo.

As minhas filhas Julia e Lara, pelo carinho
e amor.

Aos meus pais, Nelson e Arlene, pela
dedicação abnegada à minha formação.

A minha família, pelo apoio.

Ao Professor

Dr. Vital Paulino Costa, Orientador desta
Tese, amigo e mestre, por seu apoio,
incentivo e ensinamentos.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Remo Susanna Junior, meu professor, por me ensinar apaixonadamente o caminho das atividades acadêmica e profissional.

Ao Prof. Dr. Jorge Alberto F. Caldeira, pelo ingresso no Hospital das Clínicas da F.M.U.S.P. e pelo exemplo profissional.

Ao Prof. Dr. Newton Kara José, que me orientou, com seus exemplos, para o caminho das atividades acadêmica e profissional.

Aos Profs. Drs. Roberto F. S. Malta, Marcelo Nicolela, Alberto Jorge Betinjane, por seus ensinamentos e amizade.

Aos colegas e funcionários do Departamento de Oftalmologia do Hospital das Clínicas da Universidade de Campinas, pela amizade e apoio.

Ao Prof. Dr. Carlos Akira Omi, meu amigo, por seus ensinamentos, apoio nesta Tese e exemplo profissional.

Ao Profs. Drs. Jose Garone Lopes Filho e Guilherme Ortolan Junior, meu amigo, por seus ensinamentos, apoio nesta Tese e exemplo profissional.

Ao Dr Paulo Cesar Steola Bin, meu amigo, por seus ensinamentos, apoio nesta Tese e exemplo profissional.

A Sra Conceição Moreira Souza Pimenta, por seus ensinamentos, apoio na correção ortográfica da tese.

Sumário

Dedicatória	vi
Agradecimentos	ix
Lista de gráficos e tabelas	xv
Lista de figuras	xvii
Lista de Abreviações de símbolos	xix
Resumo	xxi
Abstract	xxiii
1. INTRODUÇÃO	25
1.1 Histórico da medida da tonometria	26
1.2 Princípios da tonometria	30
1.3 Tipos de tonômetros	33
1.3.1 Tonômetro de aplanção de Goldmann	33
1.3.1.1 Acurácia do tonômetro de aplanção de Goldmann	35
1.3.1.2 Efeito de tonometria repetida	35
1.3.1.3 Reprodutibilidade do tonômetro de aplanção de Goldmann	36
1.3.1.4 Relação entre a espessura central de córnea e o tonômetro de	

aplanação de Goldmann	37
1.3.2 Tono-pen	37
1.3.2.1 Acurácia do Tono-pen	39
1.3.2.2 Reprodutibilidade das medidas de pressão intra-ocular com o Tono-pen.....	40
1.3.2.3 Relação entre a espessura central da córnea e Tono-pen	40
1.3.3 Tonômetro de não-contato	41
1.3.3.1 Acurácia de tonômetro de não-contato	44
1.3.3.2 Reprodutibilidade das medidas da pressão intra-ocular com o tonômetro de não contato	45
1.3.3.3 Relação entre a espessura central da córnea e não-contato	45
1.3.4 Analisador da Resposta Ocular	46
1.3.4.1 Comparação entre pressão intra-ocular “corrigida” pelo Analisador da Resposta Ocular e o tonômetro da aplanção de Goldmann.....	48
1.3.4.2 Relação entre a espessura central da córnea e Analisador da Resposta Ocular	49
1.3.5 Tonômetro de contorno dinâmico	50
1.3.5.1 Acurácia de tonômetro de contorno dinâmico	54
1.3.5.2 Correlação entre o tonômetro de aplanção de Goldmann e o tonômetro	

de contorno dinâmico	54
1.3.5.3 Relação entre a espessura central da córnea e o tonômetro de contorno dinâmico	55
1.4 Justificativa	56
1.5 Objetivos	56
2. MÉTODOS	57
2.1 Casuística	58
2.1.1 Critérios de inclusão	58
2.1.2 Critérios de exclusão	58
2.1.3 Dados demográficos	59
2.2 Métodos	59
2.2.1 Exame Oftalmológico	59
2.2.2 Paquimetria	59
2.2.3 Tonometria de aplanção de Goldmann	60
2.2.4 Tonometria de contorno dinâmico	60
2.3 Análise estatística	61
3. RESULTADOS	63

4. DISCUSSÃO	75
4.1 Correlação entre a espessura central da córnea e o tonômetro de aplanção de Goldmann	76
4.2 Correlação entre a espessura central de córnea e o tonômetro de contorno dinâmico	85
4.3 Medidas do tonômetro de aplanção de Goldmann versus medidas do tonômetro de contorno dinâmico	89
4.4 Influência da idade sobre a medidas do tonômetro de aplanção de Goldmann e o tonômetro de contorno dinâmico	92
4.5 Influência da qualidade da medida sobre o tonômetro de contorno dinâmico	93
5. CONCLUSÕES	95
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
7. ANEXOS	111

Lista de gráficos e tabelas

Gráfico 1. Histograma das idades da população estudada.....	64
Gráfico 2. Histograma dos valores da pressão intra-ocular obtidos com o tonômetro de aplanção de Goldmann	65
Gráfico 3. Histograma dos valores da pressão intra-ocular obtidos pelo tonômetro de contorno dinâmico	66
Gráfico 4. Gráfico de dispersão com a reta estimada pela análise de regressão da medida da pressão intra-ocular do tonômetro de aplanção de Goldmann comparado à medida da pressão intra-ocular do tonômetro de contorno dinâmico em 500 indivíduos normais	67
Gráfico 5. Gráfico de Bland-Altman mostra a diferença entre as medidas do tonômetro de contorno dinâmico e do tonômetro de aplanção de Goldmann em 500 indivíduos normais	68
Gráfico 6. Gráfico de dispersão com a reta estimada pela análise de regressão da medida da pressão intra-ocular do tonômetro de aplanção de Goldmann comparado à medida da espessura central da córnea em 500 indivíduos normais	69
Gráfico 7. Gráfico de dispersão com a reta estimada pela análise de regressão da medida da pressão intra-ocular do tonômetro de contorno dinâmico comparado à medida da espessura central da córnea em 500 indivíduos normais	70

Tabela 1. Médias das medidas de PIO obtidas com o tonômetro de contorno dinâmico e tonômetro de aplanção de Goldmann, de acordo com a estratificação paquimétrica	71
Gráfico 8. Gráfico de dispersão com a reta estimada pela análise de regressão da medida da pressão intra-ocular do tonômetro de contorno dinâmico comparado à idade em 500 indivíduos normais	72
Gráfico 9. Gráfico de dispersão com a reta estimada pela análise de regressão da medida da pressão intra-ocular do tonômetro de aplanção de Goldmann comparado à idade em 500 indivíduos normais	73
Tabela 2. Médias de pressão intra-ocular, idade, espessura central da córnea, distribuição de sexo e raça, de acordo com o índice de qualidade (Q) obtido com o tonômetro de contorno dinâmico	74

Lista de figuras

Figura 1. Tonômetro de Schiötz:	31
Figura 2. A: Lei de Imbert-Fick ($P = W / A$). B: Modificação da Lei de Imbert-Fick para a córnea ($P = W / A_1 + S - B$)	33
Figura 3. Tonômetro de aplanção de Goldmann. A: Aspecto geral do tonômetro, mostrando em contato com a córnea. B: Aumento mostra menisco do filme lacrimal criado pelo contato do bi-prisma com a córnea	34
Figura 4. Tonometria de Mackay-Marg. Mesmo princípio utilizado pelo Tono-pen. A. À medida que o prato (p) entra em contato com a córnea, o traçado começa a subir. B. Um pico na onda (c) é atingido, quando o diâmetro do contato iguala a superfície do prato (1,5 mm). C. Com aplanção corneana maior, a força de deformação da córnea é transferida à luva de borracha que rodeia o prato, e o traçado cai em uma depressão (t), quando o diâmetro do contato iguala 3 mm. D. Aplanção corneana ainda maior leva a uma elevação artificial da pressão intra-ocular. A distância da linha de base (b) do traçado ao ponto mais baixo da depressão (t) é lida como a PIO	38
Figura 5. Tono-pen (Reichert TONO-PEN AVIA®)	41
Figura 6. Tonometria de não-contato: A. Fonte de luz do transmissor (T) é refletida pela córnea em direção ao receptor (R), enquanto a córnea está alinhada pelo sistema óptico (O). B. Um pulso de ar (1), emitido pelo sistema pneumático (P), deforma a córnea, aumentando o numero de raios de luz (2) recebidos e detectados por R. O tempo (t) de um	

ponto de referência interno ao momento de detecção máxima de luz (o que corresponde à aplanção da córnea) é convertido em pressão intra-ocular (com base na calibração com o tonômetro de aplanção de Goldmann) e mostrado em mostrador digital. C. A continuação do pulso de ar produz posteriormente, momentânea concavidade da córnea, causando redução aguda dos raios de luz recebidos por R. D. À medida que a córnea retorna ao estado normal não deformado, um segundo momento de aplanção causa outro pico de luz	42
Figura 7. Tonômetro Computadorizado CT – 80 (Topcon®)	45
Figura 8. A. Analisador da resposta ocular. Gráfico da força impulsionada pelo jato de ar que gera o primeiro pico na aplanção e no segundo pico da recuperação da córnea; a diferença entre esses dois valores resulta na histerese	47
Figura 9. Analisador da Resposta Ocular Reichert®	50
Figura 10. Dispositivo hipotético trans-corneal para a medida da pressão ocular	52
Figura 11. Tonômetro de contorno dinâmico; área de contato (AC) com diâmetro de contorno dinâmico	53
Figura 12. Tonômetro de contorno dinâmico ou Pascal®	55
Figura 13. Paquímetro Micropach 200p, Sonomed	60

Lista de abreviaturas e símbolos

PIO	Pressão intra-ocular
mmHg	Milímetros de Mercúrio
μm	Micrômetro
g	Grama
TCD	Tonômetro de contorno dinâmico
TAG	Tonômetro de aplanção de Goldmann
ECC	Espessura central da córnea
GAT	Goldmann applanation tonometry
DCT	Dynamic contour tonometry
CCT	Central corneal thickness
Q	Qualidade
T	Transmissor
R	Receptor
O	Sistema óptico
ORA	Analizador da resposta ocular
PIOg	Pressão intra-ocular correlacionada ao Goldmann

PIOcc	Pressão intra-ocular corrigida
HC	Histerese corneana
FRC	Fator de resistência corneana
OPA	Ocular Pulse Amplitude
Ac	Área de contato
Rc	Raio de curvatura
OPA	Amplitude de pulso ocular
LASIK	Laser-assisted in situ keratomileusis
PRK	Photorefractive keratectomy
SD	Standart deviation
IC	Intervalo de Confiança
B	Branco
P	Pardo
N	Negro
A	Amarelo
M	Masculino
F	Feminino

Resumo

Os objetivos deste trabalho são comparar a pressão intra-ocular (PIO), medida com tonometria de contorno dinâmica (TCD) e tonometria de aplanção de Goldmann (TAG), analisar a influência da espessura central da córnea (ECC) e idade, em ambas as medições, bem como a influência do índice de qualidade sobre as leituras da TCD. Foram avaliados 500 indivíduos saudáveis (1000 olhos), sem história prévia de glaucoma ou hipertensão ocular (idade: 7 a 86 anos) recrutados consecutivamente. TAG, TCD e ECC foram obtidos de ambos os olhos de cada indivíduo, nessa ordem, por três observadores. A média de cinco medidas da ECC foi utilizada para análise. As medições da TCD foram aceitas quando o escore de qualidade variou entre 1 (qualidade superior) e 3 (menor qualidade). A média das PIOs obtidas com TCD foram superiores em 3,2 mmHg às medições com TAG. A análise de Bland-Altman revelou má concordância entre as leituras de TCD e TAG, com intervalos de confiança de 95% de $\pm 6,98$ mmHg. Os valores da ECC variaram entre 449 e 653 μm . As PIOs medidas com TAG mostraram-se fortemente correlacionadas à ECC ($r^2 = 0,28$, $p < 0,001$), enquanto as PIOs obtidas com TCD apresentaram fraca correlação com a ECC ($r^2 = 0,01$, $p = 0,017$). Tanto as medidas de TCD ($r^2 < 0,01$, $p = 0,044$) quanto as obtidas com TAG ($r^2 = 0,01$, $p < 0,001$) apresentaram fraca correlação com a idade. Os escores de qualidade das medidas de TCD foram 1 ($n = 369$, 36,9%), 2 ($n = 340$, 34,0%) e 3 ($n = 291$, 29,1%). As leituras de medida com TCD com escore de qualidade 3 ($18,8 \pm 3,4$ mmHg) foram significativamente maiores do que aquelas com escore 1 ($16,7 \pm 2,9$ mmHg) e 2 ($17,4 \pm 2,9$ mmHg) ($p < 0,001$). Concluiu-se que a medida com TCD não é influenciada pela ECC, ao contrário daquela com TAG. As medidas de PIO tomadas com TCD e com TAG não são

influenciados pela idade. Finalmente, medidas de TCD com qualidade inferior apresentam valores maiores que as de qualidade superior.

Abstract

The purposes of this study are to compare the IOP measurements obtained with dynamic contour tonometry (DCT) and Goldmann applanation tonometry (GAT), and to analyze the influence of central corneal thickness (CCT) and age on both measurements, and the influence of the quality score on DCT readings. 500 healthy subjects with no previous history of glaucoma or ocular hypertension (ages: 7 to 86 years old) were consecutively recruited. GAT (Haag Streit R900, Switzerland), DCT (SMT Swiss Micro Technology, Switzerland), and CCT (Sonomed Micropach 200P+, USA) measurements were obtained from both eyes of each individual, in this order, by three observers. The mean of five CCT measurements was used for analysis. DCT measurements were accepted when quality scores varied between 1 (higher quality) and 3 (lower quality). In our series, the mean DCT measurements were 3.2 mmHg higher than GAT readings. CCT values varied between 449 and 653 μm . IOP measured by GAT correlated strongly with CCT ($r^2=0.28$, $p<0.001$), whereas DCT readings correlated poorly with CCT ($r^2=0.01$, $p=0.017$). Both DCT ($r^2<0.01$, $p=0.044$) and GAT ($r^2=0.01$, $p<0.001$) measurements correlated poorly with age. Bland-Altman analysis revealed disagreement between DCT and GAT readings, with 95% confidence intervals of ± 6.98 mmHg. Quality scores for DCT measurements were 1 ($n=369$, 36.9%), 2 ($n=340$, 34.0%) and 3 ($n=291$, 29.1%). DCT readings with quality score of 3 (18.77 ± 3.35 mmHg) were significantly higher than those with quality scores of 1 (16.61 ± 2.91 mmHg) and 2 (17.44 ± 2.93 mmHg) ($p<0.001$). In conclusion, DCT is not influenced by CCT, unlike GAT. Both DCT and GAT measurements are not influenced by age. DCT measurements with lower quality scores are associated with higher readings.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Histórico da medida da tonometria

As observações realizadas na Idade Média por dois médicos muçulmanos, At Tabari, no século X e Sams AL Din, em 1348, representam os primeiros atestados de que alguém dirigiu sua atenção para o tônus ocular, em um paciente portador de uma doença dos olhos (*apud* ALMEIDA e COHEN, 2008*). A relação de causa e efeito entre a tensão ocular elevada e a cegueira não foi descrita, mas deve ter sido imaginada por esses excelentes observadores. Os dois preciosos manuscritos, entretanto, permaneceram guardados e desconhecidos durante séculos.

No mundo ocidental, a primeira observação da relação entre pressão ocular e doença oftálmica ocorreu somente em 1622, constatada pelo oftalmologista inglês Richard Banister (BANISTER, 1622).

Banister contribuiu com o desenvolvimento da Oftalmologia inglesa, da época, elaborando a primeira tradução do livro de Jacques Guillemau, “Dês Maladies de l’Oeil qui sont en Nombre de Cent Treize aux quelles Il est Subject”, em 1622. A essa edição do livro, Banister anexou o “Breviário”, de sua autoria, a primeira obra escrita da Oftalmologia inglesa. Nele, Banister assinala existir “clara diferença entre guta obscura (ou seja, a catarata curável) e a guta serena, na qual o humor aquoso está organizado, como substancia sólida e dura, dentro das cavidades dos nervos onde cura não é possível”. Cria, em seu breviário, uma tétrade clínica: 1) tensão (“se alguém tateia o olho, comprimindo-o através da pálpebra, sente que ele está mais sólido e duro do que deveria ser”), 2) longa duração da moléstia, 3) ausência de percepção de luz e 4) presença de pupila fixa.

* Almeida, G.V. e Cohen, R. Glaucoma: história de uma doença. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 2008.

A citação da dureza do olho, como sinal diagnóstico e prognóstico, é o seu legado histórico, pois é a primeira, no mundo ocidental, a perceber, pela palpação dos olhos, através das pálpebras superiores, a dureza do globo ocular afetado pelo glaucoma.

Somente no início do século XIX, mais precisamente, em 1818, é que encontramos na literatura uma descrição bastante precisa de um quadro de hipertensão ocular, realizada pelo oftalmologista Frances Antoine-Pierre Demours: “Le globe devient dur au toucher”. Descreve pela primeira vez a visão, pelo paciente, das cores de um arco-íris em volta das luzes (DEMOURS, 1818). Os quatro volumes constituem-se nos mais elaborados livros publicados, nesse tempo. O trabalho é uma compilação de centenas de casos, cuidadosamente anotados, obtidos nos cinqüenta anos de experiência de seu pai e dos mais de vinte anos do filho (DEMOURS, 1818). Depois dessa publicação, o conceito de elevação da pressão ocular tornou-se plenamente estabelecido.

Em 1823, em Londres, George James Guthrie afirmou que a dureza do olho é sinal de uma doença que ele denominou glaucoma (GUTHRIE, 1823). Em 1826, Carl Heinrich Weller, em Dresden, na Alemanha, escreveu que a dureza do olho não ocorre somente no quadro estabelecido, mas também na fase de desenvolvimento da doença (WELLER, 1826).

Em 1835, Willian Mackenzie, na segunda edição do livro-texto de sua autoria, estabeleceu que a pressão ocular elevada é característica essencial, tanto do glaucoma agudo como da forma crônica congestiva (MACKENZIE, 1835).

Com as primeiras observações oftalmoscópicas da escavação glaucomatosa feitas por Jacobson (JACBSON, 1853), Jaeger (JAEGER, 1854) e von Graefe (GRAEFE, 1854),

referendadas pelos estudos anátomo-patológicos de Muller, a pressão ocular, após 1854, foi considerada como responsável pelo glaucoma. Somente a percepção da rigidez do bulbo ocular, pela sua palpação através da pálpebra superior, não satisfazia os estudiosos do glaucoma. Fazia-se necessário medir a pressão ocular. Assim, os primeiros modelos de aparelhos destinados a mensurar a pressão ocular, os tonômetros, começaram a aparecer. Von Graefe, em 1862, em carta dirigida a Donders, relatou suas tentativas preliminares de construção de um modelo. Em 1863, lançou o seu tonômetro de indentação escleral, que nunca teve grande aceitação. Seguiram-se vários outros modelos construídos por diferentes pesquisadores.

Donders, no mesmo ano, construiu o seu aparelho, também de indentação escleral, com o mesmo princípio. Priestley Smith em 1879 e Lazarat, em 1885, lançaram os seus protótipos, um pouco mais sofisticados que os anteriores.

Em 1884, Carl Koller descobriu a cocaína e o ponto de apoio do tonômetro passou a ser a córnea, que representava uma superfície mais definida e uniforme que a esclera.

Em 1905, Hjalmar Schiotz, publicou o artigo que descreveu as características de um novo tonômetro (SCHIOTZ, 1905). O novo tonômetro baseava-se no princípio de que, se um peso conhecido, com uma área conhecida, é colocado sobre uma esfera, a quantidade de indentação da esfera é inversamente proporcional à pressão no seu interior. Schiotz construiu sucessivos modelos, aperfeiçoados, com suas próprias mãos, de 1905 a 1926. O novo aparelho, mais preciso, mais robusto e mais simples, revolucionou a medida da pressão ocular, expandindo o uso da tonometria, tornando-a mais exeqüível e mais confiável. A aceitação do tonômetro de Schiotz foi rápida e

universal e o aparelho tornou-se o padrão-ouro para a medida da pressão intra-ocular, durante mais de 50 anos, tendo ainda o seu lugar no armamentário do oftalmologista atual.

Adolfo Weber, em 1877, ao lançar seu modelo de tonômetro, foi o primeiro a afirmar que a indentação da córnea, provocada pelos tonômetros, deslocava grande quantidade de líquido, no interior do olho, modificando a pressão ocular que o aparelho deveria aferir (WEBER, 1877). O seu modelo era, teoricamente, superior aos congêneres, pois provocava a aplanção da córnea, deslocando quantidade mínima de líquido. Entretanto, as autoridades em glaucoma da época não souberam valorizar o achado, que foi desprezado.

O trabalho de Weber foi valorizado somente em 1885, quando o princípio da tonometria de aplanção foi novamente empregado, agora pelo professor de Oftalmologia de Moscou, Alexei Nicolajewitsch Maklakov, ao apresentar os desenhos de seu tonômetro, aperfeiçoado em 1892 (MAKLAKOFF, 1885).

Em 1957, Hans Goldmann apresentou ao mundo o seu tonômetro de aplanção, que, pela sua precisão, simplicidade e praticidade de uso tornou-se um dos maiores aliados dos oftalmologistas na luta contra o glaucoma. Passados mais de 50 anos, o tonômetro de aplanção de Goldmann (TAG) ainda representa o padrão-ouro da tonometria (GOLDMANN e SCHMIDT, 1957).

Após a aceitação mundial do TAG, vários outros modelos de tonômetros surgiram e serão descritos a seguir. Alguns com a finalidade de simplificar o ato da tonometria, eliminando a necessidade da anestesia tópica (utilizam jato de ar, sem contato com a

córnea); outros, tornando possível a medida da pressão ocular independentemente da lâmpada de fenda (tonômetros portáteis de Draeger e Perkins); outros, que independem de uma superfície regular da córnea (Tono-pen). Finalmente, existe um que faz o registro contínuo da pressão ocular (Pascal®).

Nenhum tonômetro, nem mesmo o de Goldmann, tem a capacidade de avaliar, com absoluta precisão, a pressão exercida pelo conteúdo do bulbo ocular contra suas paredes. Isso somente é possível por meio da manometria, de uso clínico limitado por ser invasiva (GOLDMANN, 1961).

1.2 Princípios da Tonometria

Define-se tonometria como a medida da resistência que o globo oferece à deformação por forças aplicadas à sua superfície. O objetivo dessa medida é avaliar indiretamente a PIO. Existem dois tipos básicos de tonômetros, que diferem de acordo com tipo de deformação: depressão (indentação) e aplanção (CALIXTO, 1966).

O protótipo do tonômetro de depressão é o Tonômetro de Schiotz. O tonômetro de Schiotz é um instrumento que mede tensão ocular, indicando a facilidade com que a córnea é deprimida. O corpo do tonômetro tem placa-base, que entra em contato com a córnea. Um êmbolo move-se livremente (exceto para efeito de fricção) dentro de uma coluna na placa-base, e o grau de indentação na córnea é indicado pelo movimento do ponteiro em uma escala. Um peso de 5,5 g é permanentemente fixado ao êmbolo, podendo ser aumentado para 7,5, 10 ou 15 g (Figura 1) (FRIEDENWALD, 1937b).

Com esse tipo de tonômetro, olhos que desviam significativamente de um coeficiente “médio” de rigidez escleral, apresentam medidas falsas de PIO. Um coeficiente

de rigidez escleral elevado artificialmente aumenta a medida e um coeficiente baixo artificialmente reduz a medida da PIO. Para determinar o coeficiente de rigidez escleral, FRIEDENWALD (1937a; 1957) desenvolveu o conceito de tonometria diferencial, usando duas leituras tonométricas com pesos diferentes. CALIXTO (1961) realizou estudo de determinação do coeficiente de rigidez escleral por meio do método misto, utilizando o tonômetro de Schiøtz e o de aplanção de Goldmann.

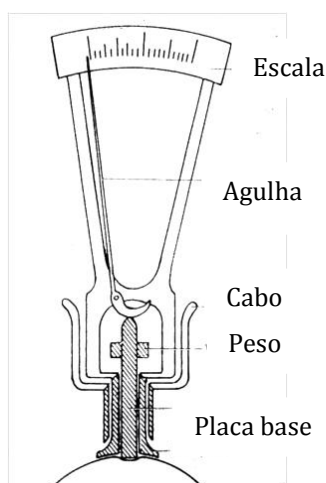


Figura 1. Tonômetro de Schiøtz: aspecto geral das estruturas do tonômetro (SHIELDS, 1998).

Os tonômetros de aplanção podem ser divididos em tonômetros de força constante e área variável e tonômetros de força variável e área constante. MAKLAKOFF (1885), descreveu o primeiro tonômetro de aplanção com aplicação prática. Tratava-se de um tonômetro de área variável e força constante, consistindo de um peso com base plana que é colocado sobre a córnea em posição supina. A estimativa da PIO era feita medindo-se o diâmetro da área de aplanção, produzido pelo peso fixo do tonômetro.

O TAG tem área constante e força variável. A deformação do globo ocular, que ocorre com este instrumento, é mínima e o deslocamento do fluido intra-ocular é insignificante. Não é, portanto, influenciado de forma significativa pela rigidez da parede ocular. Devido à sua acurácia, tem sido o tonômetro mais freqüentemente utilizado para avaliar a PIO nas últimas décadas. Baseia-se no princípio de Imbert-Fick (GLOSTER e PERKINS, 1963), que postula que a pressão dentro de uma esfera (P) é igual à força (W) necessária para aplanar uma determinada área de sua superfície, dividida pela área de aplanção (A):

$$P = W / A$$

A validade deste princípio requer que a superfície aplanada seja perfeitamente esférica, seca, flexível e infinitamente fina. A córnea, no entanto, não satisfaz nenhum desses requisitos. O filme lacrimal cria uma tensão superficial (S) que atrai a superfície do tonômetro à superfície corneal. Não sendo perfeitamente elástica, a córnea oferece resistência à aplanção, sendo necessária uma força (B) para deformá-la. A área de aplanção interna (A_1) é menor do que a área externa da aplanção, devido à espessura corneal central (Figura 2). Reconhecendo estes fatores, GOLDMANN e SCHMIDT (1957) modificaram a Lei de Imbert-Fick para:

$$P = W / A_1 + S - B$$

Empregando-se uma área de aplanção externa de cerca de três milímetros de diâmetro, a força necessária para deformar a córnea (B) equilibra-se com a tensão superficial (S). Nessas condições, o deslocamento de volume é insignificante (0,44 μ l). A pressão interna no momento da aplanção é, portanto, muito próxima da pressão interna

em repouso e a rigidez ocular não influencia significativamente na medida. No TAG, empregando-se uma área de aplanção de $7,35 \text{ mm}^2$ (3,06 mm de diâmetro), pode-se converter rapidamente a força de aplanção em gramas para milímetros de mercúrio (mmHg) multiplicando-se por 10 (SCHMIDT, 1960).

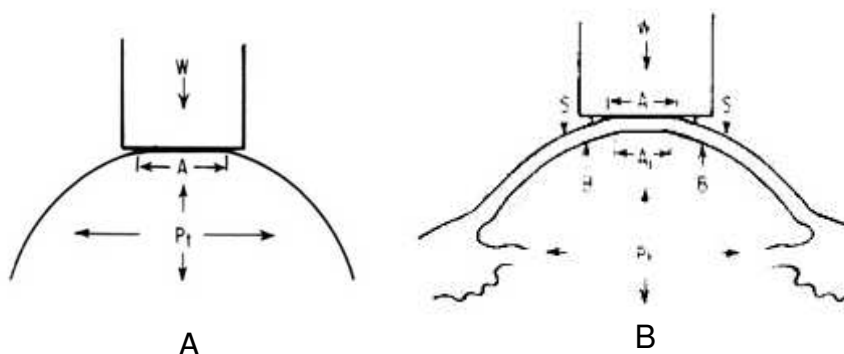


Figura 2. A: Lei de Imbert-Fick ($P = W / A$). B: Modificação da Lei de Imbert-Fick para a córnea ($P = W / A_1 + S - B$) (SHIELDS, 1998)

P = Pressão dentro da esfera (pressão intra-ocular)

W = Força necessária para aplanar determinada área (A) da esfera

A = Área de aplanção (externa)

S = Tensão superficial do filme lacrimal

B = Força necessária para deformar a córnea que não é perfeitamente elástica

A_1 = Área interna de aplanção da córnea

1.3 Tipos de Tonômetros

1.3.1 Tonômetro de aplanção de Goldmann

Como idealizado por GOLDMANN (1954), o instrumento é montado em uma lâmpada de fenda, de forma que a visão do examinador é dirigida através do centro de um

bi-prisma plástico que é usado para aplanar a córnea. Os dois prismas convertem opticamente a área de contato corneal em semicírculos. O cone é ligado por meio de um suporte a um alojamento que contém uma mola espiral ligada a uma série de alavancas que são usadas para ajustar a força do bi-prisma contra a córnea. A córnea é anestesiada com colírio e o filme lacrimal corado com fluoresceína. Iluminando-se com a luz de cobalto da lâmpada de fenda, o bi-prisma é levado a um suave contato com a córnea. Os semicírculos fluorescentes são vistos através do bi-prisma e a força contra a córnea é ajustada até que os bordos internos estejam sobrepostos. Em vigência da oscilação decorrente das pulsações oculares, a leitura da PIO é feita quando os bordos internos se encontram no meio das excursões. A PIO é lida diretamente na escala do suporte do tonômetro (Figura 3).

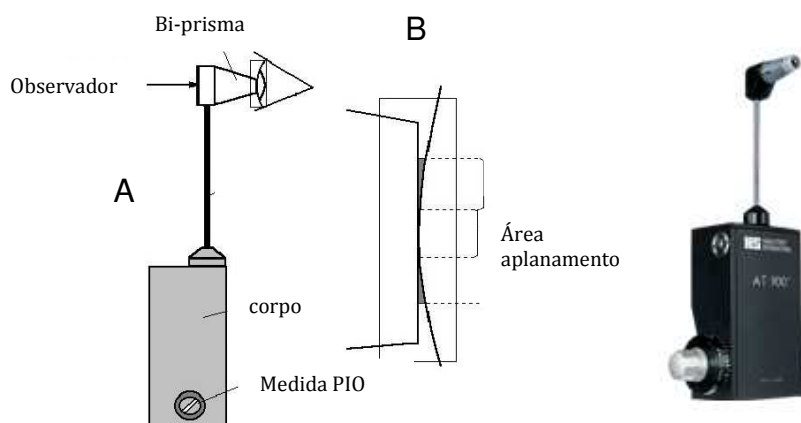


Figura 3. Tonômetro de aplanção de Goldmann. A: Aspecto geral do tonômetro. B: Aumento mostra menisco do filme lacrimal criado pelo contato do bi-prisma com a córnea. (SHIELDS, 1998)

Orienta-se que o menisco de corante, quando observado com 10 aumentos na ocular do biomicroscópio, tenha uma largura aparente de 1 mm (CALIXTO, 1966).

Meniscos muito largos causam estimativas de pressão falsamente elevadas e meniscos muito finos leituras falsamente baixas. A concentração de fluoresceína no filme lacrimal também tem importância clínica, sendo que concentrações muito baixas levam a uma subestimativa da PIO. O alinhamento vertical mal feito também leva a estimativas falsas da PIO (MOSES, 1958).

1.3.1.1 Acurácia do tonômetro de aplanção de Goldmann

Em 1957, SCHMIDT (1957) relatou os resultados do TAG em quatro olhos recentemente enucleados, nos quais a PIO era ajustada manometricamente entre 10 e 50 mmHg. Dentro do intervalo de pressão testado, o valor médio relatado para a tonometria de aplanção, nos quatro olhos, não foi maior do que 1 mmHg diferente da verdadeira PIO, mas o erro em olhos individuais variou entre 1 mmHg e 2,5 mmHg.

GOLDMANN e SCHMIDT (1961) avaliaram 10 olhos recentemente enucleados com PIO controlada manometricamente de 10 a 50 mmHg, encontrando boa concordância com o TAG (não foram apresentados os valores de r).

EHLERS e HANSEN (1974) realizaram manometria simultaneamente à tonometria com tonômetro de Perkins (tonômetro portátil com o mesmo princípio do tonômetro de Goldmann) em 29 olhos que iriam ser submetidos à cirurgia de catarata. Realizaram três medidas tonométricas em pressões manometricamente determinadas de 10, 20 e 30 mmHg, observando os valores acurados das medidas de PIO, quando a espessura corneal central era de 520 μm .

1.3.1.2 Efeito de tonometria repetidas

Se o olho é submetido a medidas repetidas da PIO com o TAG, poderá ser observado que a PIO diminui, durante o primeiro minuto. Segundo SCHMIDT (1960), isto não se deve a um efeito de massagem, pois a redução por tal motivo consistiria em somente alguns décimos de mmHg. Acredita-se que isto ocorra, provavelmente, devido à apreensão do paciente em relação ao procedimento. WILKE (1971; 1972) investigou o efeito de tonometrias repetidas em seis pacientes, não encontrando diferença significativa entre medidas isoladas realizadas a cada cinco minutos. Quando essas medidas foram feitas a cada minuto durante cinco minutos em ambos olhos, uma redução na medida da PIO em média de 2,6 mmHg ocorreu no olho direito, acompanhada de uma redução de 1,8 mmHg no olho esquerdo.

1.3.1.3 Reprodutibilidade do tonômetro de aplanção de Goldmann

A reprodutibilidade do TAG variou de 2 a 4 mmHg, segundo KASS (1996). PHELPS e PHELPS (1976) encontraram uma variabilidade inter-observador superior a 3 mmHg em 30% dos olhos. MOTOLKO *et al.* (1982) encontraram valor de $\pm 4,5$ mmHg como intervalo de confiança de 90% de uma medida de PIO isolada. Porém, com a média de duas medidas, o intervalo de confiança caía para ± 3 mmHg.

DIELEMANS *et al.* (1994) estudaram a reprodutibilidade da medida da PIO com TAG em 62 pacientes, realizando três medidas consecutivas em cada olho, efetuadas por dois examinadores diferentes. Encontraram uma variação intra-observador de $1,64 \pm 2,07$ mmHg. Para mediana de três medidas, a variação intra-observador foi de $1,50 \pm 1,90$ mmHg. A variação média inter-observador foi de $1,79 \pm 2,14$ mmHg, para a primeira medida e de $1,60 \pm 2,15$ mmHg para a mediana das medidas. Os autores concluíram que,

ao utilizar o valor mediano de três medidas consecutivas, reduz-se a variação inter-observador em 11% e a variação intra-observador em 9%, quando comparadas com uma única medida.

1.3.1.4 Relação entre a espessura central de córnea e o tonômetro de aplanção de Goldmann

A modificação da Lei de Imbert-Fick pressupõe a aplicação do TAG em córneas de espessura de 520 μm (GOLDMANN, 1957).

A medida obtida com o TAG é superestimada em olhos com córneas espessas e subestimada em finas (LOWE, 1969; HANSEN, 1971; HANSEN e EHLERS, 1971; EHLERS e HANSEN, 1974; EHLERS *et al.*, 1975a; EHLERS *et al.*, 1975b; JOHNSON *et al.*, 1978; GRAF, 1991; SIMON *et al.*, 1993; ARGUS, 1995; WOLFS *et al.*, 1997; FOSTER *et al.*, 1998; MORAD *et al.*, 1998; COPT *et al.*, 1999; FIALHO *et al.*, 1999; DOUGHTY e ZAMAN, 2000; SHIMMYO *et al.*, 2003; KOTECHEA *et al.*, 2005; HERNDON, 2006; LESK *et al.*, 2006; BRANDT, 2007; KONAREVA-KOSTIANEVA e ATANASSOV, 2007; MACKEY, 2007; MEHDIZADEH *et al.*, 2007; RUFER *et al.*, 2007; BRANDT *et al.*, 2008; CONNELL *et al.*, 2008; DOUGHTY *et al.*, 2008; GOREZIS *et al.*, 2008; IYAMU e ITUAH, 2008; TORRES *et al.*, 2008; JIMENEZ-RODRIGUEZ *et al.*, 2009; KURTZ *et al.*, 2009; MOHAMED-NOOR *et al.*, 2009). Em sua descrição original do tonômetro, GOLDMANN e SCHMIDT (1957) discutiram a influência de variações na espessura corneana na tonometria de aplanção, referindo que os princípios do TAG seriam válidos somente para os olhos com córneas com espessura normal.

1.3.2 Tono-pen

Consiste de um tonômetro de aplanção portátil, operado por baterias, que utiliza um micro-transdutor medidor de tensão. Tem 18 cm de comprimento e até 2 cm de largura, pesando cerca de 60 g. A medida da PIO baseia-se no mesmo princípio do tonômetro de MACKAY e MARG (1959). A extremidade do tonômetro consiste de um anel de 3,22 mm de diâmetro, circundando um êmbolo central, com 1,02 mm diâmetro, que faz pequenos movimentos de poucos micrômetros ($5\text{ }\mu\text{m}$), quando aplicado à córnea. A força exercida sobre o êmbolo é transmitida como uma onda de voltagem semelhante, em configuração, à onda produzida no registro com o tonômetro de Macky-Marg. Quando a córnea é aplanada contra o êmbolo e imediatamente após, contra o anel que o circunda, uma típica mudança de voltagem ocorre: uma onda ascendente até um pico, seguido de uma depressão e, posteriormente, uma segunda ascensão. Esta alteração de voltagem é amplificada, analisada e digitalizada por um microprocessador.

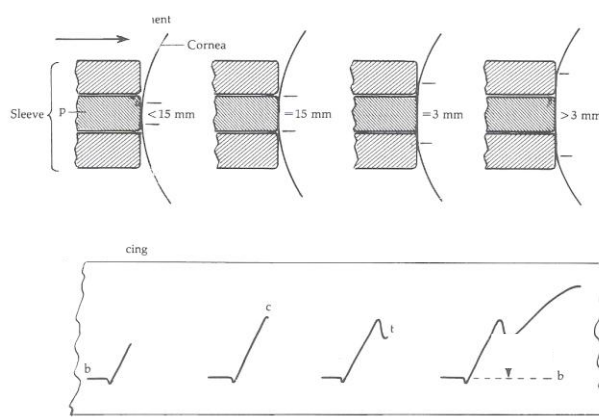


Figura 4. Tonometria de Mackay-Marg. Mesmo princípio utilizado pelo Tono-pen.

- (A). A medida que o prato (p) entra em contato com a córnea, o traçado começa a subir.
- (B). Um pico na onda (c) é atingido quando o diâmetro do contato iguala à superfície do prato (1,5 mm).
- (C). Com aplanção corneana maior, a força de deformação da córnea é

transferida à luva de borracha que rodeia o prato e o traçado cai em uma depressão (t) quando o diâmetro do contato iguala 3 mm. (D). A aplanção corneana ainda maior leva a uma elevação artificial da PIO. A distância da linha de base (b) do traçado ao ponto mais baixo da depressão (t) é lida como a PIO (SHIELDS, 1998).

O valor da onda de voltagem é armazenado e a média de 3 a 6 medidas adequadas é calculada. Este valor é digitalizado e mostrado em um visor de cristal líquido. O coeficiente de variação (desvio padrão / média e multiplicado por 100) também é mostrado no visor (5%, 10%, 20% ou maior que 20%). Um som é emitido

a) quando o instrumento está pronto para a seqüência de medidas, b) quando cada medida é feita e c) quando uma série de medidas aceitáveis for registrada. Antes da medida de cada paciente, a extremidade do aparelho é coberta com uma membrana de látex descartável (MINCKLER *et al.*, 1987).

1.3.2.1 Acurácia do Tono-pen

A acurácia do Tono-pen foi estudada em 6 olhos enucleados, por HESSEMER *et al.* (1988). Os autores encontraram um coeficiente de correlação de 0,99 entre as medidas com o Tono-pen e as determinações manométricas da PIO. Observou-se subestimativa em pressões acima de 17 mmHg e superestimativa em pressões inferiores a 17 mmHg. O desvio máximo encontrado foi de 2,5 mmHg em relação à medida manométrica.

KHAN *et al.* (1991) avaliaram as medidas de PIO obtidas com o Tono-pen em várias localizações corneanas e esclerais. Observaram que as medidas, obtidas na média periferia e limbo corneano, não diferiam significativamente das medidas centrais, no intervalo de 10 a 35 mmHg, encontrando-se dentro de $\pm 2,4$ mmHg da medida central

média. As medidas feitas na esclera foram, no entanto, 8,8 a 17 mmHg mais elevadas que as medidas corneanas centrais. Comparando-se com os valores manométricos, as medidas corneanas centrais e límbicas apresentaram correlação mais próxima da PIO real, ao passo que as medidas na média periferia corneana e na esclera tenderam a superestimar a PIO real.

1.3.2.2 Reprodutibilidade das medidas de pressão intra-ocular com o Tono-pen

BOOTHE *et al.* (1988) avaliaram 50 pacientes (100 olhos) enucleados, em que encontraram boa reprodutibilidade em estudo manométrico (desvio padrão = 1,21 mmHg) com o Tono-pen. DRAEGER *et al.* (1989) estudaram 24 pacientes e, no entanto, encontraram uma baixa reprodutibilidade das medidas de PIO com este tipo de tonômetro (desvio padrão = 4,5 mmHg).

1.3.2.3 Relação entre a espessura central da córnea e Tono-pen

Alguns estudos (RAO *et al.*, 2001; BHAN *et al.*, 2002) têm mostrado boa correlação entre as medidas da PIO obtidas com o TAG e o Tono-pen. AMARAL *et al.* (2006) encontraram correlação positiva entre as medidas da PIO pelo TAG e o Tono-pen Central ($r = 0,71$; $p < 0,0001$). Apesar disso, é necessário ter cautela na análise das medidas dos valores da PIO, pois os valores obtidos com o Tono-pen na região central da córnea foram, em média, 4,2 mmHg superiores aos obtidos com o TAG e 6,0 mmHg superiores aos obtidos quando a medida com o Tono-pen foi realizada na periferia da córnea.



Figura 5. Tono-pen (Reichert TONO-PEN AVIA®).

1.3.3 Tonômetro de não-contato

Este tipo de tonômetro foi originalmente concebido em 1951 por Erich Zeiss que, no entanto, não patenteou sua invenção (REMKY, 1990). Foi somente em 1972 que GROLMAN (1972) desenvolveu e introduziu o primeiro tonômetro de não-contato para aplicação clínica. O aparelho é montado sobre uma mesa e consiste de três subsistemas: um sistema de alinhamento, um sistema de monitorização de aplanção eletrônico e um sistema pneumático que gera um sopro de ar dirigido contra a córnea (FORBES *et al.*, 1974). Baseia-se no princípio da tonometria de aplanção, onde a força requerida para aplanar uma determinada área da córnea é diretamente proporcional à PIO.

O sistema de alinhamento no tonômetro de não-contato original (Americal Optical Manufacturing Company of Southbridge, Massachusetts, EUA) baseia-se em um sistema óptico o qual requer que o examinador veja a córnea e ative manualmente a mensuração. Os modelos Topcon CT-10 e CT-20 e Reichert XPERT monitorizam o alinhamento por meio de um vídeo e, assim, como o PULSAIR (modelo portátil fabricado pela Keeler Instruments Inc), possuem um sistema que ativa automaticamente o jato de ar, quando o alinhamento adequado é obtido (BRENCHER *et al.*, 1991).

A força do jato de ar, gerado por um sistema pneumático, aumenta linearmente com o tempo e deforma progressivamente a córnea, levando a uma aplanação e mesmo a uma leve depressão na mesma, antes que o sistema de jato de ar seja desativado e a córnea retome sua conformação (GROLMAN, 1972). O sistema eletrônico, que detecta a aplanação, consiste de um transmissor que dirige um feixe colimado de luz em direção à córnea e de um receptor que aceita somente raios paralelos, coaxiais, refletidos por ela. A córnea não deformada reflete divergentemente os raios de luz. Poucos raios, portanto, chegam paralelamente ao receptor. A redução da curvatura corneana pelo jato de ar aumenta o numero de raios que são detectados pelo receptor. O pico máximo de recepção de luz ocorre no momento em que a córnea é aplanada. Quando o jato de ar começa a produzir uma concavidade na córnea, a quantidade de raios de luz captada no receptor volta a diminuir e a emissão de ar é desativada (GROLMAN, 1972).

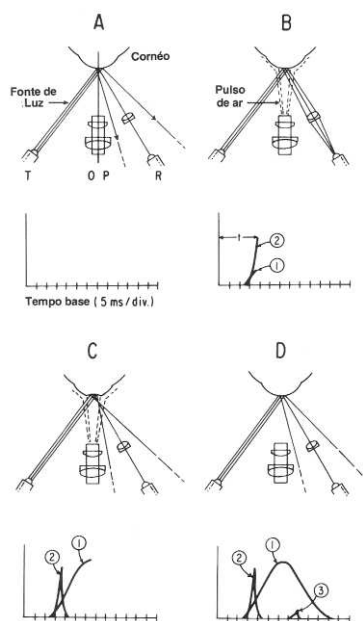


Figura 6. Tonometria de não-contato: A. Fonte de luz do transmissor (T) é refletida pela córnea em direção ao receptor (R), enquanto a córnea está alinhada pelo sistema

óptico (O). B. Um pulso de ar (1) emitido pelo sistema pneumático (P) deforma a córnea, aumentando o número de raios de luz (2) recebidos e detectados por R. O tempo (t) de um ponto de referência interno ao momento de detecção máxima de luz (o que corresponde à aplanção da córnea) é convertido em pressão intra-ocular (baseado em calibração com o TAG) e exibido em mostrador digital. C. A continuação do pulso de ar produz, posteriormente, momentânea concavidade da córnea, causando redução aguda dos raios de luz recebidos por R. D. À medida que a córnea retorna ao estado normal (não deformado), um segundo momento de aplanção causa outro pico de luz (3). (SHIELDS, 1998)

Nos tonômetros de não-contato da marca Topcon (CT-10 e CT-20) existe um sensor de pressão incorporado à câmara de ar do sistema pneumático, que mede mudanças de pressão, ao mesmo tempo em que um foto-sensor mede a quantidade de luz refletida pela córnea. A intensidade da luz captada pelo foto-sensor aumenta em função da pressão na câmara interna de pressão. A pressão na câmara de ar registrada pelo sensor no momento de reflexão máxima da luz, momento da aplanção, é convertida em mmHg e expressa em um mostrador digital. A conversão dos valores da pressão na câmara de ar, em valores de PIO em mmHg foi feita através de comparação com valores obtidos com o TAG (VERDOORN e DEUTMAN, 1988). O diâmetro da área de aplanção da córnea neste tonômetro (4mm) foi medido por meio de métodos fotográficos (WIRT *et al.*, 1989).

Uma das vantagens da tonometria de não-contato é a teórica eliminação da contaminação e transmissão infecciosa entre pacientes, particularmente, nos recém-operados (VERNON, 1989).

Devido à sua facilidade de execução, pode ser realizada por pessoal paramédico com treinamento. Além disso, a objetividade da medida da PIO, com reduzida variabilidade intra e inter-examinador (BONOMI *et al.*, 1991), além da não necessidade de anestesia tópica, faz com que a tonometria de não-contato tenha sido empregada, para o rastreamento de glaucoma em estudos envolvendo grande número de indivíduos. RALSTON *et al.* (1992) observaram que a tonometria de não-contato identificava corretamente indivíduos com PIO > 22 mmHg no TAG em 90% dos casos.

1.3.3.1 Acurácia do tonômetro de não-contato

Realizando estudo manométrico em olhos de coelho, GROLMAN (1972) encontrou coeficiente de correlação de 0,99 e um desvio padrão das diferenças de 0,9 mmHg. A calibração do tonômetro de não-contato foi feita com base no TAG, por meio da oftalmodinamometria. Num primeiro estudo elevou-se mecanicamente a pressão em 27 olhos normais com um oftalmodinamômetro de Bailliant e observou-se um coeficiente de correlação de 0,94 e desvio padrão das diferenças, entre os dois tonômetros, de 3,2 mmHg (STEPANIK, 1974). Em outro estudo, foram avaliadas as medidas do TAG e do tonômetro de não-contato em 168 indivíduos normais; observou-se coeficiente de correlação de 0,83 e desvio padrão de 2,0 mmHg e com pacientes, em 115 olhos com glaucoma, obteve-se coeficiente de correlação de 0,95 e desvio padrão das diferenças de 2,6 mmHg (DERKA, 1980).

Não foram encontrados na literatura estudos manométricos com o tonômetro de não-contato em olhos humanos enucleados.

1.3.3.2 Reprodutibilidade das medidas de pressão intra-ocular com o tonômetro de não-contato.

Para testar a reprodutibilidade das medidas com o tonômetro de não-contato, GROLMAN (1972), em seu estudo original, realizou seis medidas a cada 30 e 60 segundos em cinco olhos normais e encontrou variação de 4 a 2 mmHg. SHIELDS (1980), em estudo com tonômetro de não-contato, observou que em seqüência de três medidas, com variação máxima de 3 mmHg, foi obtida em 79,8% de 583 olhos com $PIO \leq 27$ mmHg e em 59,5% de 47 olhos com $PIO > 27$ mmHg.

1.3.3.3 Relação entre a espessura central da córnea e o tonômetro de não-contato.

A tonometria de não-contato é significativamente mais susceptível aos efeitos da ECC do que a TAG (GRAF, 1991; MATSUMOTO *et al.*, 2000; RECEP *et al.*, 2001; TONNU *et al.*, 2005). GRAF (1991) comparou as medidas da PIO entre TAG e o tonômetro de não-contato; encontrou que, a partir de 510 μ m, o tonometro de não-contato hipoestima ou hiperestima a PIO em 1 mmHg a cada 10 μ m.



Figura 7. Tonômetro Computadorizado CT – 80 (Topcon®).

1.3.4 Analisador da Resposta Ocular

Acredita-se que a ECC seja apenas um dos vários fatores corneanos que influenciam a tonometria de aplanção, uma vez que córneas com a mesma espessura podem apresentar níveis diferentes de rigidez (KOTTECHA, 2007). LIU e ROBERTS (2005), em um estudo recente, sugeriram que o erro na medida de PIO, por variações na elasticidade corneana, podem ser maiores do que o causado pela ECC e curvatura corneana (CC). Neste trabalho, a elasticidade corneana contribuiu para diferenças de até 17 mmHg da PIO, quando mantidas constantes a ECC e outros parâmetros.

O Analisador da Resposta Ocular (ORA) (Reichert Ophthalmic Instruments, Depew, USA), determina as propriedades biomecânicas da córnea *in vivo*, usando a relação de força/pressão aplicada e deslocamento. Um jato de ar, semelhante ao utilizado nos tonômetros de ar tradicionais, geram uma pressão na córnea. Para distinguir as propriedades biomecânicas da córnea e da PIO, o ORA utiliza um método que elimina a interferência potencial entre os dois fatores em uma única mensuração. Pares de medidas são utilizadas com intervalo aproximado de 20 milissegundos para permitir a medida dos fatores corneanos e a PIO (LUCE, 2005).

Durante a mensuração pelo ORA, um pulso de ar é lançado em direção ao olho, deslocando a córnea para dentro, gerando a primeira aplanção da córnea, seguida de leve concavidade desta. Milissegundos após, o pulso de ar é desligado e a pressão aplicada ao olho decresce em um tempo inverso e simétrico. Enquanto a pressão decresce, a córnea passa por um segundo momento de aplanção durante o retorno ao estado normal de curvatura convexa (LUCE, 2005).

Um sistema elétrico-óptico de detecção monitora a curvatura corneana nos 3,0 mm centrais durante a medida. O sinal detectado é filtrado e, através dele, define-se precisamente os dois momentos de aplanção que correspondem a dois picos bem definidos. Devido às propriedades viscoelásticas da córnea, estes dois valores de pressão são diferentes entre si. A diferença entre esses valores é chamada de histerese corneana (SULLIVAN-MEE *et al.*, 2008).

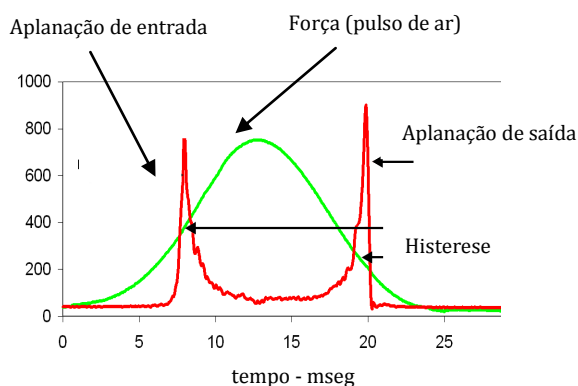


Figura 8. A. Analisador da resposta ocular. Gráfico da força impulsionada pelo jato de ar que gera o primeiro pico na aplanção e no segundo pico da recuperação da córnea; a diferença entre esses dois valores é chamada de histerese.

A média destes dois valores de pressão foi correlacionada com o TAG e foram gerados coeficientes para descrever a PIO e a histerese corneana em milímetros de mercúrio (mmHg).

O ORA gera uma PIO correlacionada ao Goldmann (PIOg), à histerese corneana (HC), ao fator de resistência corneana (FRC) e a uma nova medida de PIO “corrigida” ou, menos influenciada por fatores corneanos (PIOcc) (LUCE, 2005). A HC é um indicador das propriedades viscoelásticas da córnea, refletindo a capacidade de o tecido corneano absorver e dissipar energia. Alguns estudos revelaram que esta medida é independente

do raio, da curvatura ou astigmatismo corneanos, da acuidade visual ou do comprimento axial (AVETISOV *et al.*, 2008; SULLIVAN-MEE *et al.*, 2008). O FRC é derivado da histerese corneana e é um indicador da resistência global da córnea e parece estar relacionado à ECC e à PIOg, mas não à PIOcc. (LUCE, 2005)

1.3.4.1 Comparação entre pressão intra-ocular “corrigida” pelo Analisador da Resposta Ocular e o Tonômetro de aplanção de Goldmann

A PIOcc foi comparada à TAG em alguns estudos em olhos de indivíduos normais e glaucomatosos, os quais sugerem que as medidas de PIOcc tendem a ser mais altas que as obtidas com TAG, e que a concordância entre as medidas obtidas pelos dois instrumentos é ruim (KOTECHA *et al.*, 2006; MARTINEZ-DE-LA-CASA *et al.*, 2006; BROMAN *et al.*, 2007)

MARTINEZ-DE-LA-CASA *et al.* (2006) avaliaram 48 olhos de 48 pacientes portadores de glaucoma primário de ângulo aberto com defeito de campo visual e encontraram diferença média de 8,3 mmHg ($p < 0,0001$) entre PIOcc e TAG. A diferença não se mostrou constante, ao longo dos níveis pressóricos avaliados, mas aumentou proporcionalmente ao aumento do valor medido com TAG (slope= 0,538, $p < 0,0001$).

Por outro lado, MEDEIROS e WEINREB (2006) investigaram 153 olhos de 78 indivíduos normais e encontraram diferença média de 0,068 mmHg (SD: 2,77 mmHg; IC 95% -5,36 a 5,49 mmHg, $p = 0,758$). Neste estudo, não foi observada correlação entre a diferença entre as medidas e a magnitude da PIO.

KOTECHA *et al.* (2006) avaliaram 144 olhos de 144 indivíduos normais, hipertensos oculares e portadores de glaucoma não tratados: encontraram diferença média de

1,7mmHg (IC 95%: -7,6 a 4,3 mmHg) e consideraram fraca a correlação entre as medidas de TAG e PIOcc ($r^2 = 0,17$, $p < 0,0001$). A diferença entre os valores obtidos com as tonometrias se mostrou dependente das médias de PIO, sendo as medidas de TAG maiores que PIOcc, em PIO mais baixas, e o contrário, em PIO mais altas.

PEPOSE *et al.* (2007) investigaram 66 olhos de 33 pacientes submetidos à LASIK (laser-assisted in situ keratomileusis) miópico e constataram que a medida da PIO com a TCD pareceu estar relativamente imune às mudanças na biomecânica e a ECC após LASIK, em comparação com as medidas da PIO pela TAG e ORA, que apresentaram maior variação. TOUBOUL *et al.* (2008) avaliaram 498 olhos de 258 pacientes (122 normais, 159 glaucomatosos, 88 portadores de ceratocone, 78 submetidos a LASIK e 39 submetidos a PRK (Photorefractive keratectomy) e encontraram correlação forte entre PIOcc e TAG em olhos normais, com $r = 0,71$. Nos demais grupos, a correlação entre as medidas também foi considerada forte, com exceção do grupo de ceratocone, em que a correlação foi considerada fraca (0,55).

MORENO-MONTANES *et al.* (2008), em 262 olhos de 262 pacientes não operados (220 normais e 42 portadores de glaucoma), encontraram PIO média de 16 mmHg com TAG (14 a 18 mmHg) e PIOcc média de 15,7 mmHg (13,22 a 18,7 mmHg), sendo que a diferença encontrada entre as medidas foi considerada estatisticamente significativa ($p < 0,001$).

1.3.4.2 Relação entre espessura central da córnea e o Analisador da Resposta Ocular

Existe um consenso geral de que a TAG seja influenciada pela ECC, enquanto a sua influência sobre a PIOcc, medida pela ORA, seja menor (MARTINEZ-DE-LA-CASA *et al.*, 2006; MEDEIROS e WEINREB, 2006; PEPOSE *et al.*, 2007). Além disso, a histerese corneana geralmente estará relacionada à PIOcc e não à TAG, uma vez que aquela é calculada a partir da CH (MEDEIROS e WEINREB, 2006; HAGER e WIEGAND, 2008; TOUBOUL *et al.*, 2008). Por outro lado, o fator de resistência corneano estaria relacionado à TAG mas não à PIOcc (PEPOSE *et al.*, 2007).



Figura 9. Analisador da Resposta Ocular (Reichert®).

1.3.5 Tonômetro de Contorno Dinâmico (Pascal®)

A pressão é definida por moléculas que se movem livremente em forma líquida ou gasosa, como uma força de distribuição uniforme, agindo perpendicularmente em todos os limites (*apud* SHIELDS, 1998*). Uma forma não invasiva e direta da medida da pressão implica a gênese de forças externas à córnea que correspondam, ao máximo, às forças geradas pela pressão intra-cameral (KANNGIESSER *et al.*, 2005).

*Shields, M.B. Textbook of glaucoma: Baltimore: Willians & Wilkins, 4.ed. 1998

O tonômetro de contorno dinâmico (TCD) de Pascal (Swiss Microtechnology AG, Zurich, Switzerland) é um tonômetro de contato que não causa aplanção da córnea e foi desenhado para atuar independente das propriedades corneanas. Ele foi desenvolvido com o objetivo de obter medida não invasiva e direta da PIO, baseada na detecção da pressão transcorneal (KNIESTEDT *et al.*, 2004; KANNGIESSER *et al.*, 2005; PUNJABI *et al.*, 2006).

O diferencial do TCD é a sua ponta, que permite um contorno hipotético do formato da córnea, que é atingido quando a pressão nos dois lados da córnea é igual. A distribuição das forças, na interface entre a ponta e a córnea, se iguala à força gerada pela PIO. Assim, um sensor pressórico, localizado centralmente e incluído na concavidade da ponta do tonômetro, mediria precisamente a PIO transcornealmente (KANNGIESSER *et al.*, 2005).

Três passos teóricos guiaram o desenvolvimento do TCD. Assumiu-se que a córnea é uma esfera formada por um material que resiste à distensão e é relativamente flexível a deformações.

Para ser construído um aparato ideal para a medida transcorneal da PIO, imagina-se um reservatório preenchido por resina, envolvendo um globo ocular por completo. Neste sistema fechado, a resina ao redor do olho está sob uma pressão P que se iguala à PIO. As forças F , que são geradas pela PIO, atuam perpendicularmente, através da córnea e da esclera, de forma uniforme na interface entre resina e globo ocular e são contrabalanceadas pelas forças externas causadas pela pressão na resina. O olho flutua na resina em total relaxamento, mantendo o seu formato independentemente da PIO. Se

um pequeno pedaço da sua parede for substituído por um sensor de pressão, com o formato idêntico à sua superfície, o sensor mede a pressão que corresponderia à PIO verdadeira (KANNGIESSER *et al.*, 2005).

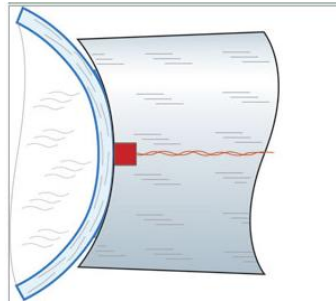


Figura 10. Dispositivo hipotético trans-corneal para a medida da pressão ocular.

Pensando em um modelo mais realista, idealizou-se um tubo cilíndrico preenchido por resina que é aplicado perpendicularmente ao ápice corneano.

Como no modelo anterior, a pressão na resina e a PIO são contrabalanceadas. Finalmente, desenvolveu-se uma ponta cilíndrica com superfície de contorno idêntico ao tubo do cilindro mencionado anteriormente (Figura 11). O diâmetro da ponta é maior que o do tubo. As forças F , geradas pela PIO, geram tensões tangenciais dentro da córnea. Na área de contato (A_c) definida pelo diâmetro d , onde a ponta entra em contato com a córnea, as forças F atuam em ambos os lados da córnea, cancelando uma a outra. Assim, nenhuma tensão tangencial é gerada na área de contato (A_c). Tensões tangenciais ao redor da A_c geram forças concêntricas, empurrando e aplanando o formato corneano, através da A_c [o raio de curvatura R_c irá aumentar relativamente ao normal, sendo a situação livre de forças ($R_c^2 = R_c + \text{delta } R$)]. A córnea utilizada pelo modelo hipotético não existe *in vivo*. Entretanto, o contorno adaptado a este modelo ideal, experimentalmente mostrou-se eficaz para atuar na córnea humana (KANNGIESSER *et al.*, 2005).

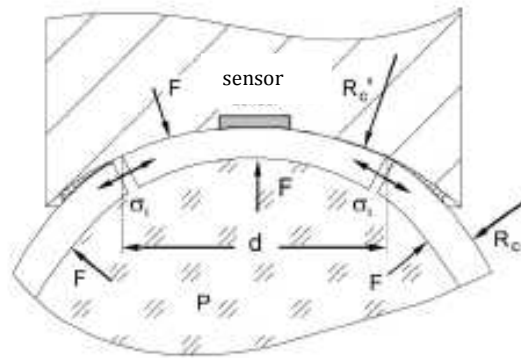


Figura 11. Tonômetro de contorno dinâmico; área de contato (AC) com diâmetro de contorno dinâmico.

Uma cabeça do tonômetro, que seja equipada com este contorno, uma ponta cilíndrica com superfície de contato côncava, foi desenhada para mimetizar o formato da córnea (contorno corneano), induzindo o mínimo de distorção desta. É composta de um sensor, com uma ponta 10,5 mm de raio de curvatura, uma superfície côncava e um sensor pressório piezo-elétrico de 1,2 mm ($0,25\text{mm}^2$) de diâmetro no centro de contacto da superfície. A resolução apresentada é de 0,1mmHg e valores de pressão de até 300mmHg podem ser medidos. Aplicando uma força aposicional constante, a córnea e a ponta estarão em contato direto, por meio de uma área de diâmetro d . Nessa área de contato, o formato da córnea é igualado ao da ponta côncava. A distribuição das forças externas de interface entre a ponta e a córnea se iguala à distribuição das forças internas geradas pela PIO. Mudanças na força aposicional, raio, espessura e outras características corneanas alteram o diâmetro d , mas não a distribuição de forças, uma vez que o diâmetro da ponta é maior que d e o diâmetro do sensor (1,7mm) é menor que d (KANNGIESSER *et al.*, 2005; PUNJABI *et al.*, 2006).

Em todas as medidas da PIO, o TCD revela um índice de qualidade (Q) que varia de 1 (quando a medida é confiável) até 5 (quando a medida é muito pouco confiável) (KAUFMANN *et al.*, 2003).

1.3.5.1 Acurácia do tonômetro de contorno dinâmico

KNIESTEDT *et al.* (2004) testaram a validade e acurácia do TCD *in vitro* e em olhos humanos de cadáveres. Nesse trabalho, foram induzidas artificialmente PIOs que variaram de 5 a 58 mmHg, sendo que a medida da TCD foi $0,58 \pm 0,70$ mmHg maior que a medida manométrica intra-camerai, enquanto a TAG mediu valores médios menores em $4,01 \pm 1,76$ mmHg ($p < 0,01$). O TCD também foi comparado com medidas intra-cameral em 60 olhos antes de facoemulsificação, mostrando boa concordância (coeficiente de concordância de 0,9763) (BOEHM *et al.*, 2008).

1.3.5.2 Correlação entre tonômetro de aplanção de Goldmann e tonômetro de contorno dinâmico

A correlação entre as medidas fornecidas pelo TCD e o TAG se mostrou boa, tanto em olhos normais como glaucomatosos, em estudos prévios (DOYLE e LACHKAR, 2005; KAMPPETER e JONAS, 2005; KNIESTEDT *et al.*, 2005; BARLEON *et al.*, 2006; MARTINEZ-DE-LA-CASA *et al.*, 2006; SCHNEIDER e GREHN, 2006; GRIESHABER *et al.*, 2007; HALKIADAKIS *et al.*, 2008; JOHANNESSEN *et al.*, 2008). As medidas fornecidas pelo TCD tendem a se mostrar maiores que as obtidas pelo TAG em cerca de 0,7 a 4,4 mmHg (KAUFMANN *et al.*, 2004; DOYLE e LACHKAR, 2005; KAMPPETER e JONAS, 2005; KNIESTEDT *et al.*, 2005; KOTTECHA *et al.*, 2005; PACHE *et al.*, 2005; BARLEON *et al.*, 2006; MARTINEZ-DE-LA-CASA *et al.*, 2006; SCHNEIDER e GREHN,

2006; FRANCIS *et al.*, 2007; GRIESHABER *et al.*, 2007; MEDEIROS *et al.*, 2007; SALVETAT *et al.*, 2007; HAGE *et al.*, 2008; HALKIADAKIS *et al.*, 2008; HERDENER *et al.*, 2008; JOHANNESSON *et al.*, 2008; LANZA *et al.*, 2008; REALINI *et al.*, 2009).

1.3.5.3 Relação entre espessura central da córnea e tonômetro de contorno dinâmico

A correlação do TCD com a ECC ainda não é bem definida, apesar de existir uma sugestão de que as medidas fornecidas pelo TAG sejam influenciadas pela ECC, enquanto aquelas fornecidas pelo TCD, não (KANNGIESSER *et al.*, 2005; KNIESTEDT *et al.*, 2005; PUNJABI *et al.*, 2006; HERDENER *et al.*, 2007; MEDEIROS *et al.*, 2007; SALVETAT *et al.*, 2007; BOEHM *et al.*, 2008; HALKIADAKIS *et al.*, 2008). Por outro lado, outros autores não encontraram correlação da ECC com TAG ou TCD (DOYLE e LACHKAR, 2005; BARLEON *et al.*, 2006; SCHNEIDER e GREHN, 2006; HAGER *et al.*, 2008; JOHANNESSON *et al.*, 2008; LANZA *et al.*, 2008).



Figura 12. Tonômetro de contorno dinâmico (Pascal®) (Swiss Microtechnology AG, Zurich, Switzerland).

1.4 Justificativa

Este estudo foi proposto devido à importância de se compararem as medidas do tonômetro de contorno dinâmico e as do tonômetro de aplanção de Goldmann na população normal. No momento da realização deste Trabalho, não havia estudo no Brasil que comparasse estes dois métodos de aferição da PIO. Além disso, não há na literatura estudo que avalie a influência da qualidade da medida realizada com o tonômetro de contorno dinâmico sobre o valor de PIO obtido.

1.5 Objetivos

Os objetivos do presente estudo são:

1. Comparar as medidas da pressão intra-ocular obtidas com o tonômetro de Goldmann e tonômetro de contorno dinâmico, em indivíduos normais.
2. Analisar a influência da espessura central da córnea em ambas as medidas.
3. Analisar a influência da idade em ambas as medidas.
4. Analisar a influência do índice de qualidade da medida obtida pelo tonômetro de contorno dinâmico sobre o valor da pressão intra-ocular, fornecida por esse instrumento.

2. MÉTODOS

Este foi um estudo transversal, prospectivo, que incluiu 500 indivíduos nos Departamentos de Oftalmologia da Universidade Estadual de Campinas e do Hospital Servidor Público Estadual de São Paulo.

Este estudo seguiu os princípios da Declaração de Helsinque e foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Estadual de Campinas. Consentimento informado escrito foi obtido de todos os participantes.

2.1 Casuística

Foram selecionados, consecutivamente, 500 acompanhantes de pacientes do Departamento de Oftalmologia do Hospital das Clínicas da Universidade Estadual de Campinas e do Hospital de Servidor Público Estadual de São Paulo, entre fevereiro de 2007 e outubro de 2007.

2.1.1 Critérios de inclusão

Os critérios de inclusão foram: indivíduos com acuidade visual corrigida de 20/40 ou melhor, em ambos olhos, ângulo aberto à gonioscopia, sem história de aumento da PIO e com discos ópticos normais, avaliados por três especialistas em glaucoma.

Foram considerados normais os discos ópticos que não apresentaram os seguintes achados: edema, palidez, relação disco/escavação maior ou igual a 0,5, defeito localizado na rima neural ou camada de fibras nervosas, hemorragia de disco, ou assimetria de escavação maior que 0,2.

2.1.2 Critérios de exclusão

Indivíduos que apresentassem cirurgia intra-ocular, refrativa ou conjuntival prévias, inflamação intra-ocular, anormalidades da córnea (como edema ou cicatrizes), glaucoma, história familiar de glaucoma ou história de trauma ocular foram excluídos.

2.1.3 Dados demográficos

Não foi definida idade mínima ou máxima para a inclusão no estudo. A raça foi definida pelo participante como: branca, parda, negra ou amarela.

2.2 Métodos

2.2.1 Exame Oftalmológico

Todos os indivíduos foram submetidos a exame oftalmológico, incluindo avaliação da acuidade visual corrigida, biomicroscopia com lâmpada de fenda, gonioscopia, e fundoscopia com uma lente de 90 dioptrias. Ambos os olhos foram selecionados para análise.

2.2.2 Paquimetria

A espessura central da córnea foi medida com paquímetro ultra-sônico (Micropach 200p +, Sonomed, Lake Success, Nova Iorque, E.U.A.). Sob anestesia tópica com colírio de cloridrato proximetacaína 5 mg (Visonest®, Allergan, Brasil), a sonda do paquímetro foi posicionada no centro da córnea e a média de cinco leituras foi utilizada para a análise.



FIGURA 13. Paquímetro Micropach 200p, Sonomed®.

2.2.3 Tonometria de aplanção de Goldmann

A calibração do TAG (modelo R900, Haag-Streit, Koeniz, Suíça) foi checada de acordo com as orientações do fabricante. O aparelho foi utilizado acoplado na lâmpada de fenda. A medida foi realizada após gota de cloridrato proximetacaína 5 mg (Visonest®, Allergan, Brasil), seguida de instilação de uma gota de fluoresceína sódica a 1% (Fluoresceína®, Allergan, Brasil). Os pacientes foram adequadamente posicionados na lâmpada de fenda e orientados a evitar a manobra de Valsalva. Evitou-se qualquer pressão sobre as pálpebras. Nos olhos com astigmatismo acima de 3 dioptrias, foram realizadas medidas com o prisma posicionado no eixo horizontal e no eixo vertical, sendo considerada a média entre essas duas medidas (HOLLADAY *et al.*, 1983). Para cada olho, foram realizadas três medidas da PIO, sendo registrada a média aritmética dessas medidas.

2.2.4 Tonometria de contorno dinâmico

O TCD (SMT suíça tecnologia Micro-AG, Zurique, Suíça) é um dispositivo acoplado na lâmpada de fenda e tem auto-calibração feita após outra gota de cloridrato de

proximetacaína 5 mg (Visonest®, Allergan, Brasil) e a colocação de uma luva na sua ponta. Um sinal sonoro é emitido pelo dispositivo quando a ponta está em contato com a córnea e corretamente posicionada (KANNGIESSER *et al.*, 2005). A medição da PIO leva aproximadamente 75 segundos. Apenas as medições com um valor de $Q \leq 3$ foram aceitas.

Todas as medidas com TAG e TCD foram obtidas por um entre três examinadores experientes. Três leituras foram realizadas com cada instrumento e a média foi utilizada para análise. A realização dos exames seguiu sempre a mesma ordem: em primeiro lugar com o TAG, seguido pelo TCD e ECC, com um intervalo mínimo de 10 minutos entre as medições.

2.3 Análise estatística

A média das medidas obtidas com TAG foi comparada à média das medidas obtidas com TCD, utilizando-se o Teste de Análise de Variância (ANOVA) (JOHNSON e WICHERN, 1992).

A Análise de Regressão Linear foi empregada para avaliar a existência de correlação entre as medidas do TAG e TCD (MONTGOMERY e PECK, 1992).

A análise de concordância entre os métodos foi avaliada utilizando o método idealizado por (BLAND e ALTMAN, 1986). Esse modelo é utilizado para a representação gráfica de concordância entre métodos. O gráfico é composto de uma linha horizontal, representando o ponto de concordância entre os métodos, de médias. Quanto mais próximos do eixo de concordância estiverem os pontos, maior a concordância entre os métodos. Diferença média e intervalos de confiança de 95% foram calculados (SIDNEY e

CASTELLAN JR, 2006).

Análise de Regressão Linear também foi utilizada para avaliar a influência da ECC e da idade sobre as medidas do TAG e TCD (MONTGOMERY e PECK, 1992).

Para melhor analisar a influência da ECC sobre leituras obtidas, com ambos os instrumentos, dividimos os olhos em 5 categorias, de acordo com a ECC: Grupo 1: menor que 500 μm ; Grupo 2: entre 501 μm e 540 μm ; Grupo 3: entre 541 μm e 560 μm ; Grupo 4: entre 561 μm e 600 μm e Grupo 5: maior que 601 μm . As medidas obtidas com TAG e TCD, em cada categoria, foram comparadas utilizando Teste de Análise de Variância (ANOVA) (JOHNSON e WICHERN, 1992).

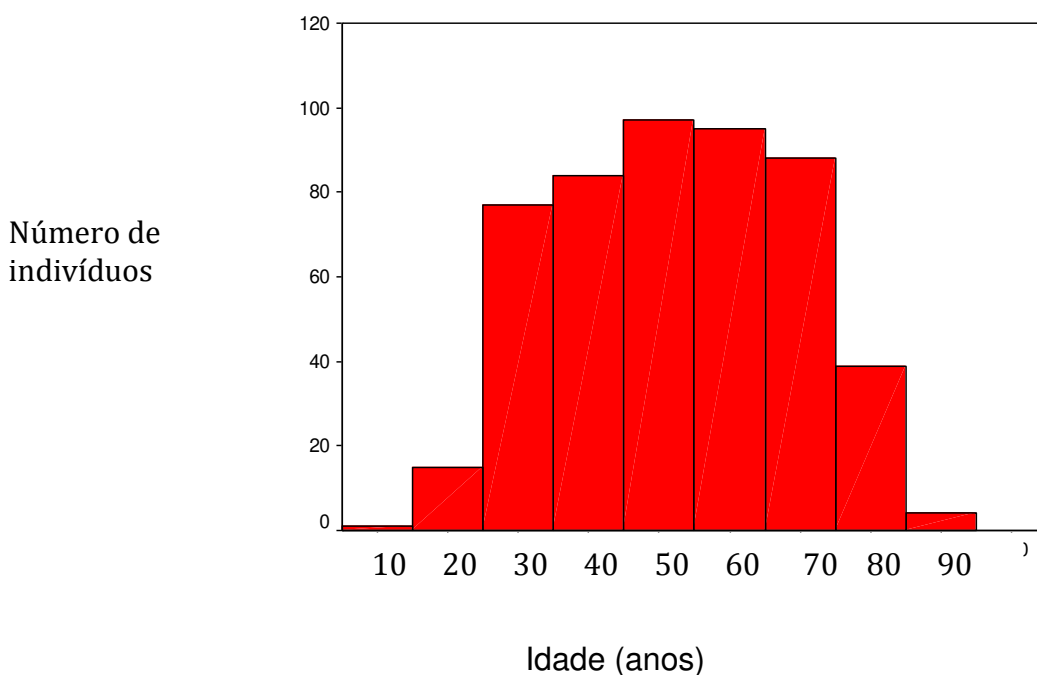
Para melhor avaliar a influência da qualidade das medições obtidas com TCD, os valores médios de leituras com índice de qualidade 1 foram comparados com os valores médios das medições com índices de qualidade (Q) 2 e 3 utilizando o Teste de Análise de Variância (ANOVA) (JOHNSON e WICHERN, 1992).

A análise estatística foi realizada usando SPSS versão 11.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA). Valores de p menores ou iguais a 0,05 foram considerados estatisticamente significantes.

3. RESULTADOS

Foram selecionados 500 indivíduos saudáveis (1000 olhos) para esse estudo. A média de idade dos indivíduos foi de $46,8 \pm 16,4$ anos (variando de 7 a 86 anos) (Gráfico 1), 324 (64,8%) eram do sexo feminino, 170 (34,0%) foram pardos, 323 (64,6%) eram brancos, e 7 (1,4%) eram amarelos.

Gráfico 1. Histograma das idades da população estudada.



A média das PIOs medidas pelo TAG ($14,3 \pm 3,7$ mmHg) (Gráfico 2) foi significativamente menor que a média das PIOs medidas pelo TCD ($17,2 \pm 3,2$ mmHg) (Gráfico 3), $p < 0,001$.

Gráfico 2. Histograma dos valores da pressão intra-ocular obtidos com o tonômetro de aplanção de Goldmann.

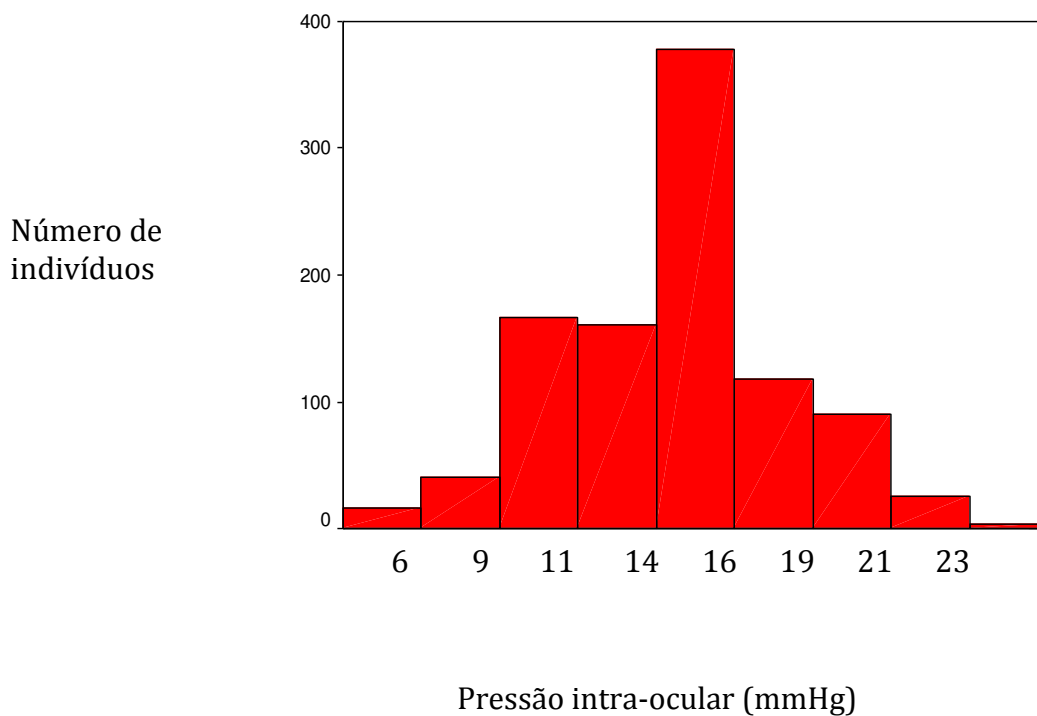
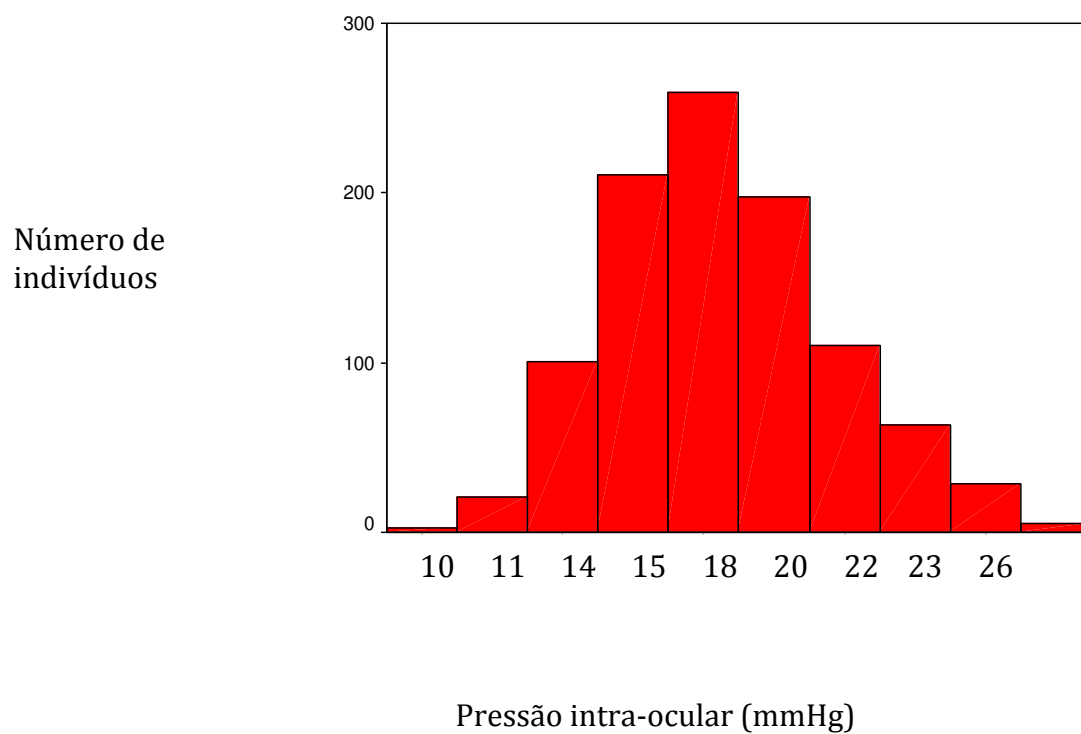
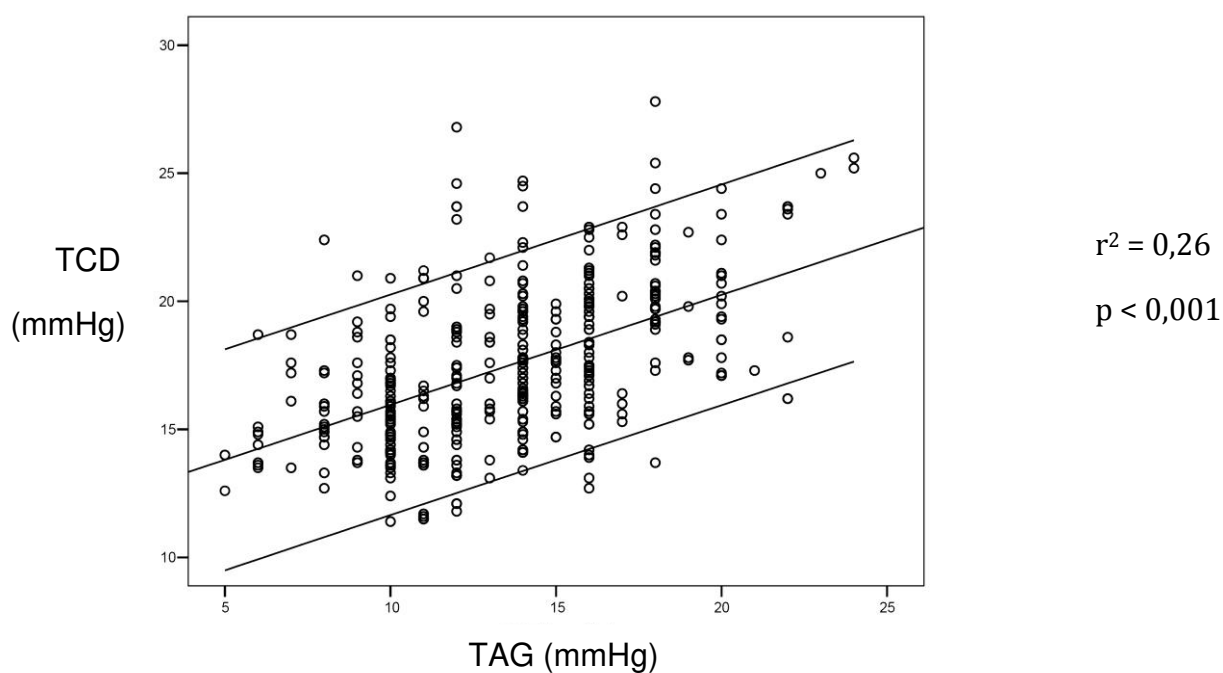


Gráfico 3. Histograma dos valores da pressão intra-ocular obtidos pelo tonômetro de contorno dinâmico.



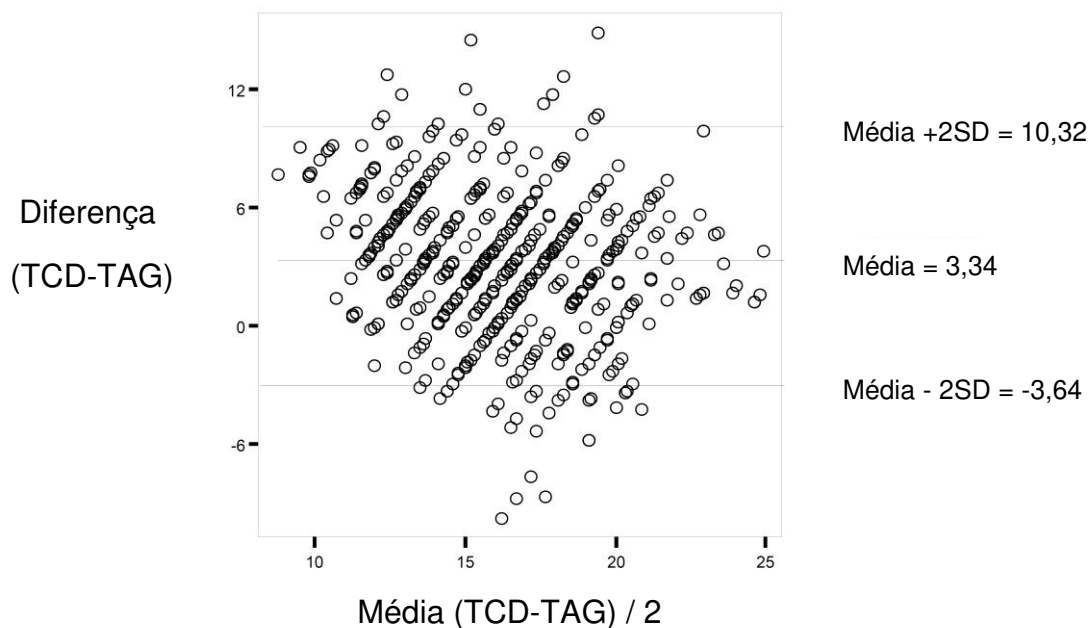
Houve uma forte correlação entre as medições do TAG e TCD: medições ($r^2 = 0,26$, $p < 0,001$), Gráfico 4.

Gráfico 4. Gráfico de dispersão com a reta estimada pela análise de regressão da medida da pressão intra-ocular do tonômetro de aplanção de Goldmann, comparado à medida da pressão intra-ocular do tonômetro de contorno dinâmico em 500 indivíduos normais.



No entanto, a análise de Bland-Altman revelou desacordo entre as medidas do TCD e TAG, com intervalo de confiança de 95% de $\pm 6,98$ mmHg, Gráfico 5.

Gráfico 5. Gráfico de Bland-Altman mostra a diferença entre as medidas do tonômetro de contorno dinâmico e do tonômetro de aplanção de Goldmann em 500 indivíduos normais



A média da ECC foi de $543,6 \pm 35,4 \mu\text{m}$ (intervalo entre 449 e $653 \mu\text{m}$). As medidas da PIO, obtidas com o TAG, foram fortemente correlacionadas com a ECC ($r^2 = 0,28$, $p < 0,001$) (Gráfico 6). As medidas obtidas com o TCD apresentaram correlação fraca com ECC ($r^2 = 0,01$, $p = 0,017$) (Gráfico 7).

Gráfico 6. Gráfico de dispersão com a reta estimada pela análise de regressão da medida da pressão intra-ocular do tonômetro de aplanção de Goldmann, comparado à medida da espessura central da córnea em 500 indivíduos normais.

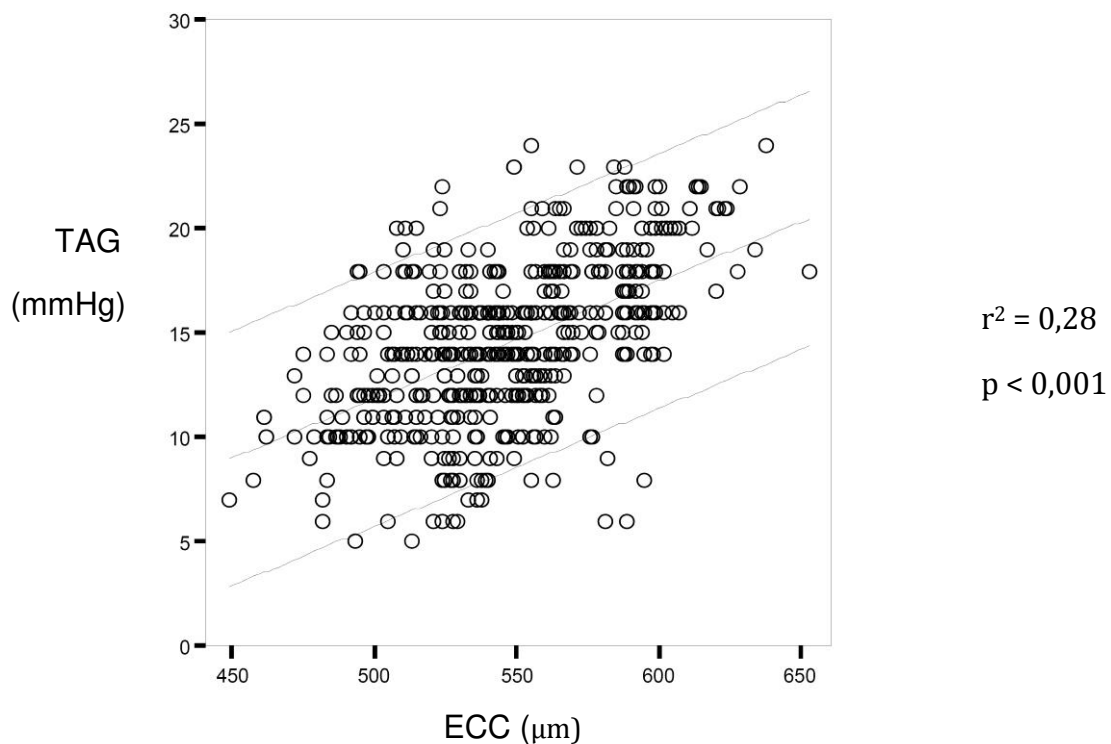
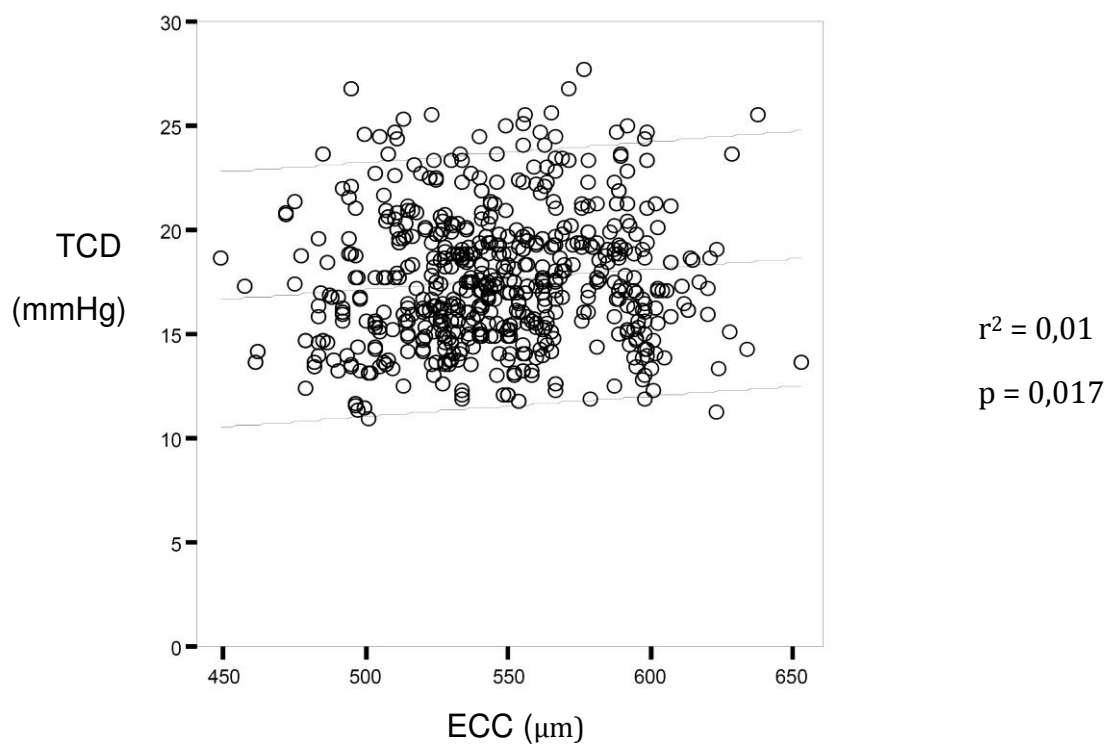


Gráfico 7. Gráfico de dispersão com a reta estimada pela análise de regressão da medida da pressão intra-ocular do tonômetro de contorno dinâmico, comparado à medida da espessura central da córnea em 500 indivíduos normais.



Após estratificação da ECC em cinco categorias, a pressão intra-ocular média do TCD foi significativamente mais elevada que a do TAG ($p < 0,001$) nos grupos 1 a 4, mas foi significativamente menor que a do TAG no grupo 5 ($p < 0,001$). Tabela 1.

Tabela 1. Médias das medidas de PIO, obtidas com o tonômetro de contorno dinâmico e tonômetro de aplanção de Goldmann, de acordo com a estratificação paquimétrica.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
	ECC $\leq 500 \mu\text{m}$	$501 \leq \text{ECC} \leq 540 \mu\text{m}$	$541 \leq \text{ECC} \leq 560 \mu\text{m}$	$561 \leq \text{ECC} \leq 600 \mu\text{m}$	ECC $> 600 \mu\text{m}$
TCD mmHg	$16,7 \pm 3,5$	$17,5 \pm 3,0$	$17,47 \pm 3,0$	$18,07 \pm 3,0$	$17,32 \pm 3,0$
TAG mmHg	$11,2 \pm 2,7$	$13,18 \pm 3,2$	$14,10 \pm 2,9$	$16,30 \pm 3,3$	$19,49 \pm 2,3$
Δ TCD - TAG	5,47	4,30	3,37	1,77	-2,17
p	$< 0,001$	$< 0,001$	$< 0,001$	$< 0,001$	$< 0,001$

Tanto TCD ($r^2 < 0,01$, $p = 0,044$) (Gráfico 8) quanto o TAG ($r^2 = 0,01$, $p = 0,035$) (Gráfico 9) mostraram correlação fraca com a idade.

Gráfico 8. Gráfico de dispersão com a reta estimada pela análise de regressão da medida da medida da pressão intra-ocular do tonômetro de contorno dinâmico, comparado à idade em 500 indivíduos normais.

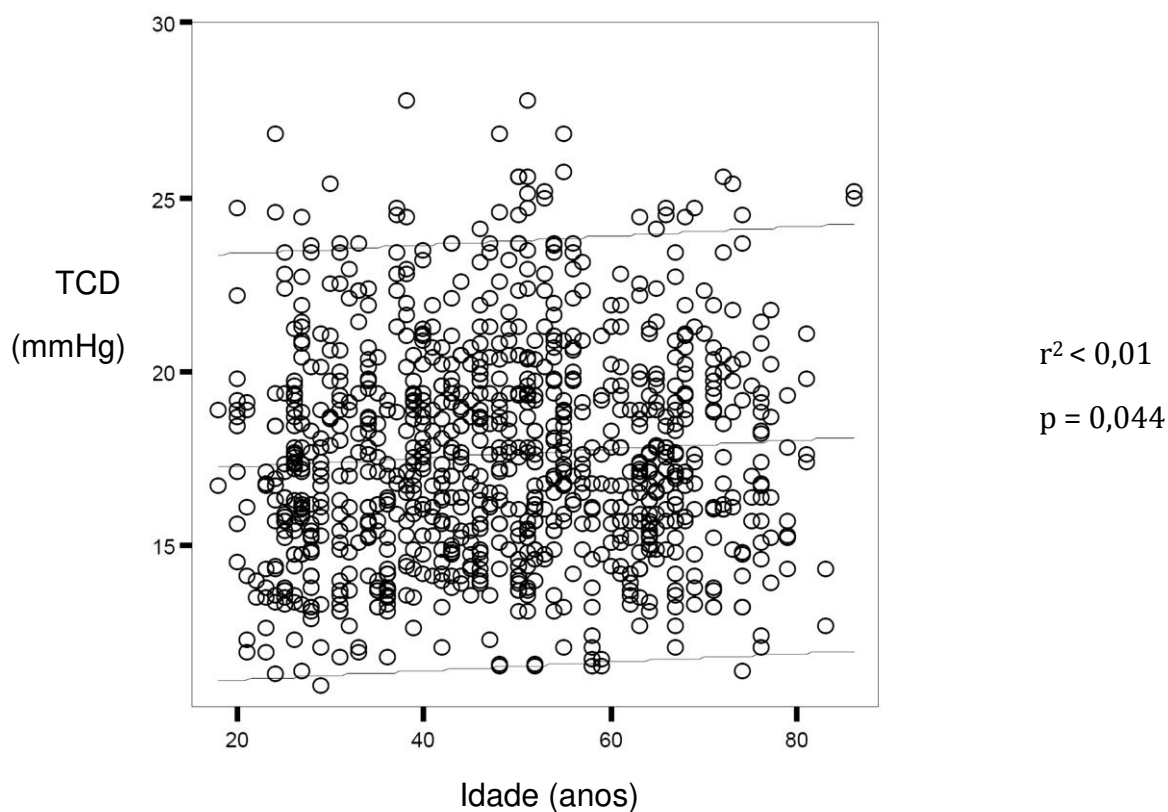
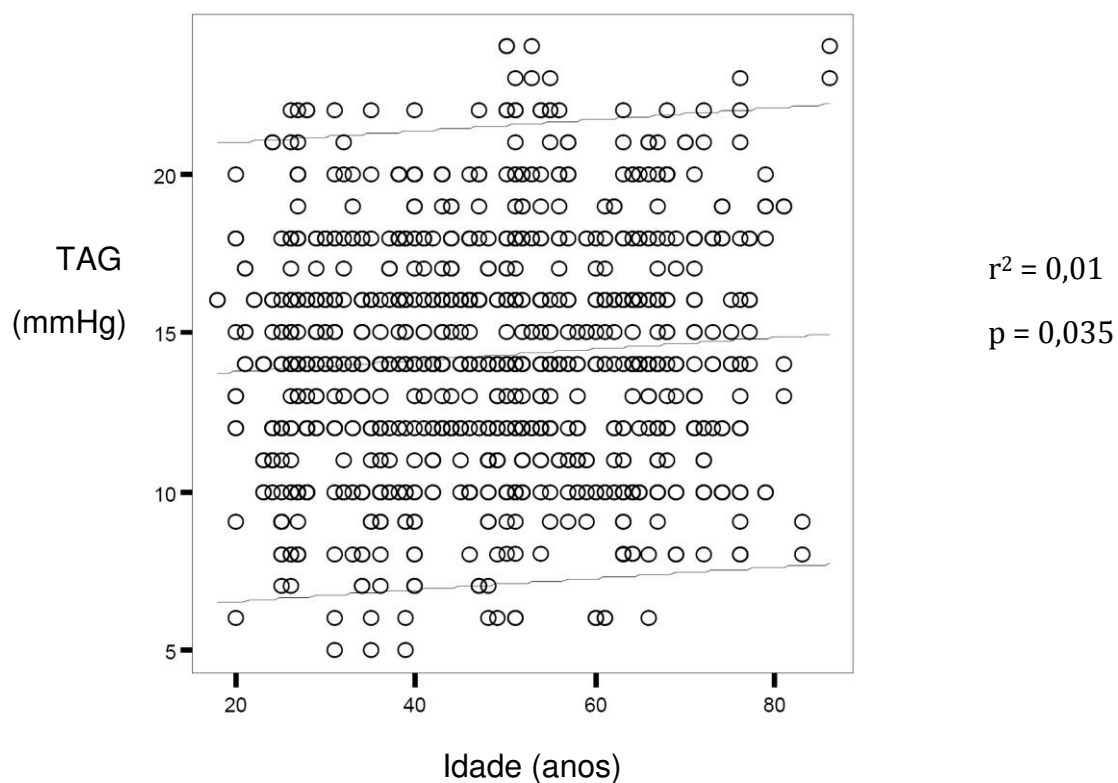


Gráfico 9. Gráfico de dispersão com a reta estimada pela análise de regressão da medida da medida da pressão intra-ocular do tonômetro de aplanção de Goldmann, comparado à idade em 500 indivíduos normais.



Os níveis de qualidade das medidas do TCD foram classificados como 1 (n = 369, 36,9%), 2 (n = 340, 34,0%) e 3 (n = 291, 29,1%). A média das PIOs, obtidas pelo TCD com um índice de qualidade de 3 ($18,8 \pm 3,3$ mmHg), foi significativamente maior do que as médias obtidas com qualidade 1 ($16,6 \pm 2,9$ mmHg) e 2 ($17,4 \pm 2,9$ mmHg) ($p < 0,001$).

Não houve diferenças significativas entre as médias de idade, de ECC, bem como a distribuição de sexo e raça, nos olhos com nível de qualidade 1, 2 e 3. (Tabela 2).

Tabela 2. Médias de pressão intra-ocular, idade, espessura central da córnea (ECC), distribuição de sexo, e raça de acordo com o índice de qualidade (Q) obtido com o tonômetro de contorno dinâmico.

	Q = 1	Q = 2	Q = 3	p
TCD (mmHg)	$16,6 \pm 2,9$	$17,4 \pm 2,9$	$18,8 \pm 3,3$	<0,001
Idade (anos)	$45,88 \pm 16,43$	$46,79 \pm 16,16$	$48,08 \pm 16,65$	0,231
ECC (μ m)	$543,9 \pm 36,6$	$544,7 \pm 34,3$	$541,9 \pm 35,7$	0,603
Gênero (M:F)	131:238	115:225	106:185	0,784
Raça (B:P:A)	247:117:5	213:120:7	186:103:2	0,429

M: Masculino; F: Feminino; B: Branco; P: Pardo; A: Amarelo

4. DISCUSSÃO

4.1 Correlação entre espessura central da córnea e tonômetro de aplanção de Goldmann

Há um interesse crescente no desenvolvimento de tonômetros que eliminam ou minimizam o efeito da ECC na avaliação da PIO, em especial nas córneas finas ou espessas e em olhos após cirurgia refrativa (MULLER e KOHNEN, 2009a).

Em meta-análise publicada por DOUGHTY e ZAMAN (2000), observou-se uma tendência ascendente cronológica das médias de ECC, durante um período de 30 anos, o que pode ser devido à mudança de métodos paquimétricos, os quais, antes, eram ópticos e depois passaram a ser ultra-sônicos. O valor médio para o grupo-ECC, utilizando paquimetria óptica, foi de 525 μm (mediana), comparado a 544 μm (mediana) para paquimetria ultra-sônica, o que é consistente para com o nosso achado de 543 μm (WOLFS *et al.*, 1997; BRON *et al.*, 1999; SHAH *et al.*, 1999; BHAN *et al.*, 2002; GUNVANT *et al.*, 2004).

O TAG é, ainda hoje, considerado o “padrão-ouro” na obtenção da PIO. No entanto, sua medida é superestimada em olhos com córneas espessas e subestimada em olhos com córneas finas (HANSEN, 1971). Em sua descrição original do tonômetro, GOLDMANN e SCHMIDT (1957) discutiram a influência de variações na espessura corneana na tonometria de aplanção, referindo que os princípios do TAG seriam válidos somente para os olhos de córneas com espessura variando entre 510 e 530 μm .

JOHNSON *et al.* (1978) relataram um caso de uma paciente de 17 anos que apresentava PIO de 40 mmHg em ambos olhos, medida com TAG, com campos visuais normais e sem alterações de disco óptico. O tratamento médico não era eficaz em reduzir

a PIO. A ECC era de 900 micra em cada olho, sem evidência de edema corneano. A introdução, na câmara anterior do olho esquerdo, de cânula conectada a um manômetro revelou PIO de 11 mmHg, enquanto o tonômetro de Perkins e o tonômetro de Schiotz mostravam medidas de 35 e 34 mmHg, respectivamente.

SIMON *et al.* (1993) estudaram o efeito do edema corneano sobre a TAG e a tonometria com o Tono-pen, em olhos humanos enucleados e verificaram uma relação inversa entre a hidratação da córnea e a PIO medida com o TAG. O TAG subestimou a PIO em $9,2 \pm 0,7$ mmHg. O Tono-pen subestimou a PIO em $7,4 \pm 1,0$ mmHg. Os autores concluíram que as medidas tonométricas estão inversamente relacionadas com a espessura corneana, quando a córnea é edematosa.

A literatura revela dois tipos de estudos que avaliam a influência da ECC sobre TAG. O primeiro grupo de estudos mede a ECC em indivíduos com hipertensão ocular, glaucoma de pressão normal, glaucoma primário de ângulo aberto e indivíduos normais (HANSEN, 1971; EHLERS e HANSEN, 1974; EHLERS *et al.*, 1975a; ARGUS, 1995; MORAD *et al.*, 1998; COPT *et al.*, 1999). De maneira geral, como veremos a seguir, esses estudos demonstram que, em média, pacientes com hipertensão ocular apresentam ECC maior que a normal e que pacientes com glaucoma de pressão normal apresentam ECC menor que a normal.

SHAH *et al.* (1999) estudaram a relação entre a ECC e a medida da PIO em 235 olhos normais, 52 olhos com glaucoma de pressão normal, 335 olhos com glaucoma primário de ângulo aberto, 12 olhos com glaucoma pseudo-esfoliativo, 42 olhos com glaucoma primário de ângulo fechado e 323 olhos com hipertensão ocular. A ECC média

foi de 553,9 μm nos olhos normais, 555,1 μm nos olhos com glaucoma primário de ângulo aberto, 514,0 μm nos olhos com glaucoma de pressão normal, 530,7 μm nos olhos com glaucoma pseudo-esfoliativo, 559,9 μm nos olhos com glaucoma primário de ângulo fechado e 579,5 μm nos olhos com hipertensão ocular. As diferenças entre as médias dos grupos foram estatisticamente significativas ($p < 0,001$).

WOLFS *et al.* (1997) realizaram medida da ECC e da PIO em 395 pacientes (352 controles normais, 13 pacientes com hipertensão ocular e 30 pacientes com glaucoma primário de ângulo aberto). Os autores encontraram ECC média de 537,4 μm nos pacientes normais. Análise de regressão linear mostrou um aumento de 0,19 mmHg na medida da PIO, para cada 10 μm de aumento da ECC. Os 13 pacientes com hipertensão ocular apresentavam córneas em média 16 micra mais espessas que os pacientes normais. Os 30 pacientes com glaucoma primário de ângulo aberto apresentavam córneas em média 21,5 μm mais finas que os controles normais.

EHLERS e HANSEN (1974) avaliaram sete pacientes com glaucoma de pressão normal, encontrando significativa redução da ECC. Os valores médios de PIO encontrados foram de $16,7 \pm 0,8$ mmHg nos olhos direitos e de $16,7 \pm 0,8$ mmHg nos olhos esquerdos. Os valores médios de ECC foram de $461 \pm 6,7$ micra para o olho direito e de 466 ± 5 micra para o olho esquerdo, valores significativamente inferiores aos valores normais, citados previamente por (HANSEN, 1971). Baseados nesses achados, os autores sugerem que córneas finas tendem a dar leituras baixas de PIO na TAG e que, possivelmente, a PIO nesses olhos com glaucoma de pressão normal esteja, na verdade, acima do normal.

EHLERS, HANSEN *et al.* (1975) estudaram três grupos de pacientes: 16 com glaucoma primário de ângulo aberto, 25 com hipertensão ocular e 26 com pseudo-esfoliação capsular. Os autores observaram ECC próxima do “normal” (521 μm) nos olhos com glaucoma primário de ângulo aberto, mas significativamente “aumentada” (541 μm) nos olhos com hipertensão ocular. A ECC correlacionou-se positivamente com a PIO, medida por meio da TAG ($p < 0,01$).

GRAF (1991) comparou o tonômetro de não-contato Reichert (NCTII) com o TAG em 50 olhos (25 pacientes), com PIOs variando de 9 a 17 mmHg. Observou que o tonômetro de não-contato é mais influenciado pela espessura corneana que o TAG. O tonômetro de não-contato subestimou a PIO em olhos com córneas finas e a superestimou em olhos com córneas espessas em cerca de 1 mmHg para cada 10 micra de diferença na espessura corneana.

ARGUS (1995) avaliou 36 pacientes com hipertensão ocular, 31 pacientes com glaucoma e 29 pacientes normais, realizando paquimetria ultra-sônica para medir a ECC a 1,5 mm temporal ao reflexo corneano central. Encontrou ECC média de $610 \pm 33 \mu\text{m}$ nos pacientes com hipertensão ocular, significativamente maior que a encontrada nos pacientes com glaucoma ($557 \pm 39 \mu\text{m}$) e nos normais ($567 \pm 36 \mu\text{m}$) ($p < 0,05$). HERNDON *et al.* (1997) realizaram estudo com o objetivo de averiguar a relação entre a ECC e a TAG em olhos normais, olhos glaucomatosos e olhos com hipertensão ocular. Avaliaram a PIO com TAG, a ECC com paquímetro ultra-sônico e o diâmetro axial por meio de ultra-sonografia modo A, em 74 olhos (48 pacientes) com glaucoma, 51 olhos (28 pacientes) com hipertensão ocular e 59 olhos (33 pacientes) normais. A ECC nos olhos com hipertensão ocular foi significativamente maior ($606 \pm 41 \mu\text{m}$) que nos olhos

glaucomatosos ($554 \pm 22 \mu\text{m}$) ($p < 0,001$) e nos olhos normais ($561 \pm 26 \mu\text{m}$) ($p < 0,001$). Não houve diferença estaticamente significativa entre a ECC dos olhos glaucomatosos e dos olhos normais ($p < 0,05$). Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os diâmetros axiais dos olhos nos três grupos.

MORAD *et al.* (1998) avaliaram 21 olhos (21 pacientes) com glaucoma de pressão normal, 25 olhos (25 pacientes) com glaucoma primário de ângulo aberto e 27 olhos (27 pacientes) normais. A ECC, nos pacientes com glaucoma de pressão normal, foi de $521 \pm 37 \mu\text{m}$, significativamente menor que a encontrada nos olhos com glaucoma de ângulo aberto ($556 \pm 35 \mu\text{m}$), ($p = 0,0028$) e nos olhos normais ($555 \pm 34 \mu\text{m}$), ($p = 0,0037$). Não houve diferença estatisticamente significativa entre as curvaturas corneanas médias dos três grupos. Os autores concluíram que a ECC encontra-se reduzida em pacientes com glaucoma de pressão normal, comparada à dos pacientes com glaucoma de ângulo aberto e pacientes normais.

COPT *et al.* (1999) avaliaram a ECC de 22 pacientes com glaucoma de pressão normal, 49 com glaucoma primário de ângulo aberto, 44 com hipertensão ocular e 18 pacientes normais. Os autores não encontraram diferença estatisticamente significativa entre a ECC dos pacientes normais ($552 \pm 35 \mu\text{m}$) e dos pacientes com glaucoma primário de ângulo aberto ($543 \pm 35 \mu\text{m}$). A ECC no grupo com hipertensão ocular ($583 \pm 34 \mu\text{m}$) foi significativamente maior que as encontradas no grupo controle e no grupo com glaucoma primário de ângulo aberto ($p < 0,001$). Por sua vez, as ECCs encontradas nesses grupos foram significativamente maiores ($p < 0,001$) que a encontrada no grupo com glaucoma de pressão normal ($521 \pm 31 \mu\text{m}$).

DOUGHTY e ZAMAN (2000) realizaram uma meta-análise dos estudos já publicados na literatura sobre a influência da ECC, nas medidas da PIO com TAG. Com base na meta-análise, os autores encontraram correlação estatisticamente significativa entre a ECC e a PIO ($p < 0,05$). Em olhos normais, diferenças de 10% na ECC resultaram em mudanças de $1,1 \pm 0,6$ mmHg na PIO. Em olhos com glaucoma primário de ângulo aberto, hipertensão ocular, glaucoma de pressão normal, diabetes, pseudo-esfoliação capsular, distrofias corneanas e ceratocone, a variação da PIO foi de $2,5 \pm 1,1$ mmHg para uma diferença de 10% na ECC. Os autores sugerem que a influência da ECC na tonometria de aplanção em olhos normais tem pouca relevância clínica, mas que, em olhos com doença crônica, a paquimetria deve ser realizada, se a tonometria revelar valores de PIO limítrofes ou alterados. Nessa meta-análise, confirmou-se que ECCs reduzidas podem resultar em medidas de PIO baixas e valores elevados de ECC podem resultar em medidas de PIO elevadas com TAG.

O segundo grupo de estudos, de maneira geral, demonstra que a medida do TAG correlaciona-se com a ECC tanto em indivíduos normais quanto em pacientes com glaucoma (EMARA *et al.*, 1998; BRON *et al.*, 1999; RASHAD E BAHNASSY, 2001; LLEO *et al.*, 2003; BAYRAKTAR e BAYRAKTAR, 2005; PACHE *et al.*, 2005).

No presente estudo, confirma-se que as medidas da PIO, obtidas com o TAG, foram fortemente correlacionadas com a ECC ($r^2 = 0,28$, $p < 0,001$) (Gráfico 6). Esses resultados são compatíveis com vários estudos anteriormente publicados (FRANCIS *et al.*, 2007; MEHDIZADEH *et al.*, 2007; FANNY *et al.*, 2008; HAGER *et al.*, 2008; HARADA *et al.*, 2008; HUANG *et al.*, 2008; LANZA *et al.*, 2008; GHABOUSSI *et al.*, 2009; LAMPARTER e HOFFMANN, 2009)

HANSEN (1971) avaliou a ECC com paquímetro óptico Haag-Streit em 150 olhos de 113 indivíduos normais, com PIO variando de 8 a 18 mmHg com TAG. Por meio de análise de regressão linear, observou-se correlação positiva significativa ($p < 0,05$) entre as medidas da PIO com o TAG e as medidas da ECC.

HANSEN e EHLERS (1971) estudaram oito pacientes que apresentavam hipertensão ocular, sem alterações do disco óptico ou do campo visual. Efetuaram medidas com TAG nos coelhos e com o tonômetro de Perkins nos olhos humanos, comparando-as com a PIO determinada por meio da manometria. Realizaram, também, medida da ECC por meio de paquimetria óptica. Correlações lineares foram encontradas entre as medidas manométricas da PIO e as leituras tonométricas, com valores de r acima de 0,96. Nos olhos de coelhos, as leituras foram em geral muito baixas, indicando que a calibração da TAG não se aplica aos olhos de coelhos. Nos olhos humanos, com ECC de 520 μm , as medidas tonométricas e as pressões monométricas coincidiram. Medidas foram feitas sob pressões manométricas de 10 e 30 mmHg. Nos olhos com córneas espessas, as medidas tonométricas foram mais altas e, naqueles com córneas finas, as medidas foram mais baixas. A correlação entre a ECC e o erro da tonometria de aplanção (ΔPIO) foi estatisticamente significativa ($p < 0,001$). Os autores apresentaram uma tabela, mostrando as correlações a serem aplicadas às medidas da tonometria de aplanção em diferentes espessuras corneanas. Baseando-se nessa tabela, para cada 70 micra acima ou abaixo de um ECC normal média de 520 micra, deveríamos subtrair ou adicionar 5 mmHg à medida da tonometria de aplanção.

FOSTER *et al.* (1998) encontraram correlação estatisticamente significativa entre a ECC e a PIO, em estudo realizado na Mongólia. O estudo consistiu do exame de 1242

indivíduos por meio de paquimetria óptica e TAG. Os autores observaram redução significativa ($p < 0,001$) da ECC com a idade, dos 40 aos 80 anos: 5 micra por década, nos homens e 6 micra por década, nas mulheres. Cada variação de 10 micra na ECC correspondeu a uma variação na TAG de 0,18 mmHg, nos olhos direitos e 0,24 mmHg, nos olhos esquerdos. Os autores calcularam que as diferenças inter-individuais na ECC podem produzir mudanças de PIO entre 2,3 e 3,1 mmHg, sugerindo que a medida da ECC deva ser considerada, ao se abordar a PIO, como fator de risco para glaucoma em asiáticos.

FIALHO *et al.* (1999) avaliaram a relação entre a ECC e a PIO obtida com a TAG em 203 olhos de 203 pacientes normais, antes de se submeterem à cirurgia refrativa. A PIO média foi de $13,50 \pm 2,4$ mmHg e a ECC média foi de $514,60 \pm 34,5$ μ m. Encontrou-se uma correlação estatisticamente significativa ($p = 0,0001$) entre a ECC e a PIO, porém essa correlação foi fraca ($r = 0,22$).

KAMPPETER e JONAS (2005) avaliaram a relação entre a ECC e a PIO obtida pelo TAG e TCD em 176 olhos de 126 pacientes, 39 olhos com glaucoma de ângulo aberto e 137 olhos sem alteração ocular. Os autores observaram correlação significativa ($p = 0,036$) entre as medidas do TAG e ECC (não foram apresentados os valores de r).

KNIESTEDT *et al.* (2006) estudaram a relação entre a ECC e PIO medida pelo TAG e TCD em 406 olhos com glaucoma ou hipertensão ocular. Os autores observaram que a PIO obtida pelo TAG apresentou correlação significativa com a ECC ($r^2 = 0.068$, $p < 0,001$).

KU *et al.* (2006) avaliaram a relação entre ECC, curvatura corneana e PIO obtida pelo TAG e TCD em 166 olhos com glaucoma. Os autores observaram correlação significativa ($r = 0,37$; $p = 0,0001$) entre as medidas do TAG e ECC.

SCHNEIDER e GREHN (2006) avaliaram a relação entre ECC, curvatura corneana e PIO obtida pelo TAG e TCD em 100 indivíduos (200 olhos) sem qualquer anormalidade ocular. Foi encontrada correlação significativa ($r = 0,375$, $p < 0,001$) entre as medidas de TAG e ECC. A análise de regressão multivariada mostrou que ECC influencia significativamente a PIO obtida pelo TAG ($p = 0,012$).

MEDEIROS *et al.* (2007) estudaram a relação entre a ECC, curvatura corneana, comprimento axial e PIO obtida pelo TAG e TCD em 176 olhos de 94 pacientes afro-americanos. Foi encontrada correlação significativa ($r = 0,274$, $p = 0,001$) entre as medidas de TAG e ECC. A análise de regressão multivariada mostrou que ECC influencia significativamente a PIO obtida pelo TAG ($p < 0,001$).

GRIESHABER *et al.* (2007) avaliaram a relação entre ECC e a PIO, obtida pelo TAG e TCD, em 125 pacientes com glaucoma primário de ângulo aberto. Foi encontrada correlação significativa ($r = 0,30$, $p = 0,001$) entre as medidas de TAG e ECC.

CERUTI *et al.* (2009) avaliaram a relação entre ECC e a PIO obtida pelo TAG e TCD em 300 olhos (100 indivíduos normais, 100 pacientes com glaucoma primário de ângulo aberto e 100 pacientes com glaucoma crônico de ângulo fechado). Foi encontrada significativa correlação ($p < 0,001$) entre as medidas de TAG e ECC (não foram apresentados os valores de r).

PELIT *et al.* (2009) estudaram a relação entre ECC e a PIO obtida pelo TAG, tonômetro de não contato Canon TX-10® e TCD em 135 olhos de indivíduos normais. Encontrou-se correlação significativa ($r = 0,257$, $p = 0,005$) entre as medidas de TAG e ECC.

Por outro lado, outros autores não encontraram correlação da ECC com TAG (PACHE *et al.* 2005; BARLEON *et al.* 2006; HALKIADAKIS *et al.* 2009)

PACHE *et al.* (2005) avaliaram a relação entre várias ECCs e a PIO obtida pelo TAG e TCD, em 100 pacientes, sem qualquer anormalidade ocular. Não foi observada correlação significativa entre as medidas de TAG e ECC ($r^2 = 0,0001$).

BARLEON *et al.* (2006) estudaram a relação entre várias ECCs e a PIO obtida pelo TAG e TCD, em 197 olhos normais e glaucomatosos. Não foi observada correlação significativa entre as medidas de TAG e ECC ($r = 0,009$, $p = 0,90$).

HALKIADAKIS *et al.* (2009) avaliaram a relação entre ECC e a PIO obtida pelo TAG e TCD, em 100 olhos com glaucoma e hipertensos oculares. Não foi observada correlação significativa entre as medidas de TAG e ECC ($r = 0,77$, $p = 0,444$). A diferença TCD – TAG não se correlacionou com a ECC ($r = -0,106$, $p = 0,292$)

4.2 Correlação entre espessura central da córnea e tonômetro de contorno dinâmico

No presente estudo, observou-se que as medidas obtidas com o TCD apresentaram correlação fraca com ECC ($r^2 = 0,01$, $p = 0,017$) (Gráfico 7). A correlação do TCD com a ECC ainda é controversa, apesar de a maioria dos estudos sugerir que as

medidas fornecidas pelo TCD não sejam influenciadas pela ECC (KANNGIESSER *et al.*, 2005; KNIESTEDT *et al.*, 2005; PUNJABI *et al.*, 2006; HERDENER *et al.*, 2007; MEDEIROS *et al.*, 2007; SALVETAT *et al.*, 2007; BOEHM *et al.*, 2008; HALKIADAKIS *et al.*, 2008).

BOEHM *et al.* (2008) avaliaram o efeito da ECC, curvatura corneal, astigmatismo, comprimento axial e da idade sobre a medida da PIO pelo TCD. Sessenta pacientes submetidos à facoemulsificação, tiveram pressões intra-cameraias fixadas em 15, 20 e 35 mmHg. A medida da pressão intra-cameral foi comparada à PIO medida pelo TCD. Para a medida intra-cameral de 15 mmHg, a média da diferença para o TCD foi de $-0,02 \pm 1,32$ mmHg; para 20 mmHg, a média da diferença foi de $-0,02 \pm 1,44$ mmHg e para 35 mmHg de $-0,84 \pm 1,90$ mmHg ($r = 0,9763$). Foi encontrada correlação significativa da diferença entre a medida do TCD e a PIO intra-cameral e a ECC ($p = 0,0291$, $r^2 = 0,00012$).

KAUFMANN *et al.* (2003) estudaram a medida da pressão ocular pelo TAG e TCD, em 62 olhos normais que foram submetidos à LASIK para correção de miopia. Não houve diferença significativa da PIO pré-operatória medida pelo TAG e pelo TCD. Houve ablação média de $90 \pm 49,18$ μm , que reduziu a PIO medida pelo TAG em $3,0 \pm 1,9$ mmHg ($p < 0,001$), em contraste com a redução da PIO medida pelo TCD, que foi de $0,2 \pm 1,5$ mmHg ($p = 0,30$).

KAMPPETER e JONAS (2005) avaliaram a relação entre a ECC e a PIO obtida pelo TAG e TCD em 176 olhos de 126 pacientes, 39 olhos com glaucoma de ângulo aberto e 137 olhos sem alteração ocular. A PIO média medida pelo TCD ($18,71 \pm 5,90$ mmHg) foi significativamente maior que a PIO média do TAG ($16,98 \pm 5,86$ mmHg) ($p <$

0,001). Os autores não observaram correlação significativa ($p = 0,32$) entre as medidas do TCD e ECC (não foram apresentados os valores de r).

KNIESTEDT *et al.* (2006) estudaram a relação entre a ECC e a PIO medida pelo TAG e TCD, em 406 olhos com glaucoma ou hipertensos oculares. Os autores observaram que a PIO obtida pelo TCD não apresentou correlação significativa com a ECC ($r^2 < 0,001$, $p < 0,997$).

KU *et al.* (2006) avaliaram a relação entre ECC, curvatura corneana e a PIO obtida pelo TAG e TCD, em 166 olhos com glaucoma. Os autores observaram fraca correlação ($r = 0,17$ $p = 0,073$) entre as medidas do TCD e ECC.

SCHNEIDER e GREHN (2006) avaliaram a relação entre ECC, curvatura corneana e a PIO obtida pelo TAG e TCD, em 100 pacientes (200 olhos) sem qualquer anormalidade ocular. Não foi encontrada correlação significativa ($p = 0,756$) entre as medidas de TCD e ECC (não foram apresentados os valores de r).

MEDEIROS *et al.* (2007) estudaram a relação entre a ECC, curvatura corneana, comprimento axial e a PIO obtida pelo TAG e TCD, em 176 olhos de 94 pacientes afro-americanos. Não se observou correlação significativa ($r = 0,082$, $p = 0,299$) entre as medidas de TCD e ECC.

GRIESHABER *et al.* (2007) avaliaram a relação entre ECC e a PIO obtida pelo TAG e TCD, em 125 pacientes com glaucoma primário de ângulo aberto. Foi encontrada fraca correlação ($r = 0,23$, $p = 0,02$) entre as medidas de TCD e ECC.

MEIRELLES *et al.* (2008) avaliaram as medidas da PIO obtidas pelo TAG e TCD em pacientes portadores de glaucoma crônico de ângulo aberto e indivíduos com olhos normais, e relacionaram os resultados com a ECC. Não foi encontrada correlação ($p = 0,31$) entre as medidas de TCD e ECC (ECC < 520 μm , $p = 0,11$ e $r^2 = 0,05$; ECC entre 520 μm e 580 μm , $p = 0,34$ e $r^2 = 0,01$; ECC > 580 μm , $p = 0,52$ e $r^2 = 0,03$).

CERUTI *et al.* (2009) avaliaram a relação entre ECC e a PIO obtida pelo TAG e TCD, em 300 olhos (100 indivíduos normais, 100 pacientes com glaucoma primário de ângulo aberto e 100 pacientes com glaucoma crônico de ângulo fechado). Não foi encontrada correlação significativa ($p = 0,96$) entre as medidas de TCD e ECC (não foram apresentados os valores de r). Gráfico de dispersão com a reta estimada pela análise de regressão da diferença da PIO (TCD – TAG) encontrou significativa correlação ($p < 0,001$, $r = -0,492$) com os valores de ECC.

ERDURMUS *et al.* (2009) avaliaram a relação entre ECC e a PIO obtida pelo TCD e tonômetro de não contato, em pacientes com glaucoma e hipertensos oculares. Foram estudados 104 olhos de 104 pacientes. Foi encontrada correlação significativa ($p < 0,001$; $r^2 = 0,301$) entre as medidas do tonômetro de não contato e ECC, enquanto que não se observou correlação significativa ($p = 0,388$; $r^2 = -0,002$) entre TCD e ECC.

PELIT *et al.* (2009) estudaram a relação entre ECC e a PIO obtida pelo TAG, tonômetro de não contato Canon TX-10® e TCD, em 135 olhos de indivíduos normais. Foi encontrada fraca correlação ($r = 0,160$, $p = 0,079$) entre as medidas de TCD e ECC.

Por outro lado, outros autores não encontraram correlação da ECC com TCD (DOYLE e LACHKAR, 2005; BARLEON *et al.*, 2006; SCHNEIDER e GREHN, 2006; HAGER *et al.*, 2008; JOHANNESSEN *et al.*, 2008; LANZA *et al.*, 2008).

PACHE *et al.* (2005) avaliaram a relação entre várias ECCs e PIO obtida pelo TAG e TCD, em 100 pacientes, sem qualquer anormalidade ocular. Não foi observada correlação significativa entre as medidas de TCD e ECC ($r^2 = 0,15$).

BARLEON *et al.* (2006) estudaram a relação entre várias ECCs e PIO obtida pelo TAG e TCD, em 197 olhos normais e glaucomatosos. Não foi observada correlação significativa entre as medidas de TCD e ECC ($r = -0,05$, $p = 0,50$).

HALKIADAKIS *et al.* (2009) avaliaram a relação entre ECC e PIO obtida pelo TAG e TCD, em 100 olhos com glaucoma e hipertensos oculares. Não foi observada correlação significativa entre as medidas de TCD e ECC ($r = -0,20$, $p = 0,845$). A diferença TCD – TAG não se correlacionou com a ECC ($r = -0,106$, $p = 0,292$).

4.3 Medidas com tonômetro de aplanção de Goldmann versus medidas com tonômetro de contorno dinâmico

No presente estudo, as medições do TCD apresentaram média superior em 3,2 mmHg ao TAG. Essa diferença é maior que as relatadas anteriormente, que variavam entre 0,94 mmHg e 2 mmHg (KAUFMANN *et al.*, 2004; DOYLE e LACHKAR, 2005; KU *et al.*, 2006; SALVETAT *et al.*, 2007; KITICE *et al.*, 2007; LANZA *et al.*, 2008; BOCHMANN *et al.*, 2009; HALKIADAKIS *et al.*, 2009; PELIT *et al.*, 2009). O fato de a medida da pressão ocular ser maior com o TCD, quando comparada às leituras com o TAG pode ser explicado com base em um estudo que demonstrou que a PIO medida pelo TAG foi 1,2-2

mmHg inferior à PIO manometricamente medida, em olhos de humanos vivos (KNIESTEDT *et al.*, 2004). Como o TCD foi calibrado a partir da medida manométrica, isso pode justificar o porquê de valores maiores, medidos com TCD (KNIESTEDT *et al.*, 2004; BOEHM *et al.*, 2008).

KAMPPETER e JONAS (2005) avaliaram a relação entre a ECC e PIO obtida pelo TAG e TCD em 176 olhos de 126 pacientes, 39 olhos com glaucoma de ângulo aberto e 137 olhos sem alteração ocular. A PIO média, medida pelo TCD ($18,71 \pm 5,90$ mmHg), foi significativamente maior que a PIO média do TAG ($16,98 \pm 5,86$ mmHg) ($p < 0,001$).

KU *et al.* (2006) avaliaram a relação entre ECC, curvatura corneana e PIO obtida pelo TAG e TCD em 166 olhos com glaucoma. Foi encontrada correlação significativa entre a PIO medida pelos dois instrumentos ($r = 0,77$, $p < 0,0001$).

Nesse estudo, após estratificação da ECC em cinco categorias, a pressão ocular média do TCD foi significativamente mais elevada que a do TAG ($p < 0,001$) em olhos com ECC menor ou igual a $600 \mu\text{m}$, mas foi significativamente menor que a do TAG ($p < 0,001$) em olhos com ECC maior que $600 \mu\text{m}$ (Tabela 1). Esses resultados são compatíveis com vários estudos publicados anteriormente (LAMPARTER e HOFFMANN, 2009; MULLER e KOHNEN, 2009b; PELIT *et al.*, 2009).

DOYLE e LACHKAR (2005) compararam TAG e TCD em córneas normais, em diversas espessuras paquimétricas. Foram avaliados 25 pacientes, divididos em três grupos, de acordo com espessura corneal: grupo A (média $552 \pm 16 \mu\text{m}$) com média da PIO mensurada pelo TAG de $15,9 \pm 3,1$ mmHg e a média do TCD de $16 \pm 3,3$ mmHg; grupo B (média $491 \pm 19 \mu\text{m}$) com média da PIO pelo TAG de $13,2 \pm 3,5$ mmHg e a média

do TCD de $15,9 \pm 3,5$ mmHg ($p = 0,009$); grupo C (média 615 ± 22 μ m) com média da PIO pelo TAG de $17,4 \pm 3,8$ mmHg e a média do TCD de $17,4 \pm 3,8$ mmHg ($p = 0,95$). A relação TAG-TCD e ECC comportou-se diferentemente para os três grupos. Em olhos com ECC abaixo de 520 μ m, a cada 10 μ m da ECC, ocorre hipoestimacão da PIO em 0,7 mmHg ($p < 0,001$); entre 520 e 575 μ m, o fator de conversão foi zero ($p = 0,72$) e, acima de 575 μ m, ocorre hiperestimacão da PIO em 0,2 mmHg a cada 10 μ m ($p = 0,27$).

Também, nesse estudo, obteve-se forte correlacão entre o TAG e TCD ($r^2 = 0,26$, $p < 0,001$) (Gráfico 4). No entanto, a análise de Bland-Altman revelou desacordo entre as medidas do TCD e TAG, com intervalo de confiança de 95% de $\pm 7,0$ mmHg (Gráfico 5).

De maneira similar a outros estudos (DOUGHTY e ZAMAN, 2000; KNIESTEDT *et al.*, 2005), encontramos uma forte correlacão entre a medida da pressão ocular entre TAG e TCD, embora apresentem baixa concordância, de acordo com a análise de Bland-Altman.

PUNJABI *et al.* (2006) estudaram a amplitude do pulso ocular em diferentes tipos de glaucoma, hipertensos oculares e pacientes normais e PIO obtida pelo TDC e TAG. Em 906 olhos avaliados, a medida do TCD mostrou pequeno decréscimo com o aumento da ECC ($p = 0,25$), enquanto que a medida da PIO pelo TAG não apresentou aumento significativo em relacão à maior ECC ($p = 0,09$).

Essa divergência não é surpreendente entre os diferentes instrumentos, medindo-se o mesmo parâmetro (BLAND e ALTMAN, 1986), pois, quando se analisa a correlacão, estuda-se a relacão entre as mediçōes; assim, espera-se boa correlacão entre medidas do TAG e TCD, uma vez que ambos os instrumentos estāo medindo o mesmo parâmetro.

Quando a concordância é analisada, avaliamos se os instrumentos dão os mesmos resultados, o que não é o caso, quando TCD e TAG são comparados. A falta de concordância entre TAG e TCD é esperada, uma vez que medida da PIO pelo TAG tem influência da ECC e a medida do TCD não é influenciada pela ECC.

4.4 Influência da idade sobre as medidas do tonômetro de aplanção de Goldmann e tonômetro de contorno dinâmico

O presente estudo mostrou fraca correlação entre idade e as medidas obtidas com TCD ($r^2 < 0,01$, $p = 0,044$), e entre idade e as medidas obtidas com TAG ($r^2 = 0,01$; $p < 0,035$).

SALVETAT *et al.* (2007) compararam as medidas da pressão ocular pelo TAG, TCD e Tono-pen, em 101 pacientes com glaucoma crônico de ângulo aberto. Nessa população, encontraram fraca correlação entre as medidas do TAG/TCD e idade ($r^2 = 0,01$, não foram apresentados os valores do p).

ROSZKOWSKA *et al.* (2009) estudaram a medida da pressão ocular pelo TAG e TCD, em 70 olhos (40 submetidos à LASIK) de pacientes com idade variando de 21 a 59 anos. Nessa população, não se encontrou correlação entre a idade e as medidas obtidas com TAG e entre idade e as medidas obtidas com TCD, porém os valores de r não foram apresentados.

KOTECHA *et al.* (2005) observaram que a diferença entre as medidas de TAG e TCD estava significativamente correlacionada com a idade ($r^2 = 0,05$, $p = 0,01$). GRIESHABER *et al.* (2007) também encontraram correlação entre a diferença das medidas entre TCD e TAG e a idade ($p = 0,03$, valores de r não foram apresentados). Os

autores sugeriram que o aumento da idade induz a maior "rigidez" da córnea, que pode induzir a maior erro da TAG (FRIEDENWALD, 1937b).

4.5 Influência da qualidade da medida sobre o tonômetro de contorno dinâmico

Pela primeira vez, ao nosso conhecimento, a influência da qualidade das medidas do TCD sobre o resultado da aferição foi avaliada. Infelizmente, o fabricante não fornece os algoritmos envolvidos no cálculo do índice de qualidade ou a razão para rejeitar uma medida específica da PIO. No entanto, o índice de qualidade pode dar informações importantes sobre a confiabilidade da medida, o que pode representar uma vantagem a mais do TCD sobre o TAG.

Neste estudo, apenas as medições da PIO pelo TCD com um valor de $Q \leq 3$ foram aceitas. Encontrou-se que a medida da PIO, obtida pelo TCD com índice de qualidade de 3, foi significativamente maior que as medidas com índices de qualidade 1 e 2 ($p < 0,001$) (Tabela 2). Não houve diferença significativa entre as médias de idade, de ECC, bem como a distribuição de sexo e raça nos olhos nível de qualidade 1,2 e 3 (Tabela 2). Considerando-se esses resultados, recomenda-se utilizar apenas as medidas obtidas pelo TCD com qualidade 1. Medidas com nível de qualidade 2 e 3 podem mostrar valores artificialmente maiores.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo permite concluir que:

1. O tonômetro de contorno dinâmico apresentou medidas em média 3,2 mmHg maiores que o tonômetro de aplanção de Goldmann em indivíduos normais. As leituras do tonômetro de aplanção de Goldmann tendem a ser superiores ao tonômetro de contorno dinâmico, em córneas com mais de 600µm de espessura.
2. As medidas da PIO, obtidas com o tonômetro de aplanção de Goldmann, foram fortemente correlacionadas com a espessura central da córnea, enquanto que as medições do tonômetro de contorno dinâmico não foram influenciadas pela espessura central da córnea.
3. As medidas da pressão intra-ocular, obtidas pelo tonômetro de aplanção de Goldmann e o tonômetro de contorno dinâmico, não foram influenciadas pela idade.
4. As medidas da pressão intra-ocular do tonômetro de contorno dinâmico, com nível de qualidade 3 ou 2, são mais elevadas do que as medidas de nível de qualidade 1.

6. REFERÊNCIAS

1. Amaral WO, Teixeira RM, Alencar LM, et al. Central and peripheral corneal thickness: influence on the iop measurement by Tonopen. *Arq Bras Oftalmol* 2006;69(1):41-5
2. Argus WA. Ocular hypertension and central corneal thickness. *Ophthalmology* 1995;102(12):1810-2.
3. Avetisov SE, Bubnova IA, Antonov AA. Investigation of the biomechanical properties of the cornea in patients with normotensive and primary open-angle glaucoma. *Vestn Oftalmol* 2008;124(5):14-6.
4. Banister R. A Treatise of One Hundred and Thirteen Diseases of the Eyes and Eyelids. London, 1622.
5. Barleon L, Hoffmann EM, Berres M, et al. Comparison of dynamic contour tonometry and goldmann applanation tonometry in glaucoma patients and healthy subjects. *Am J Ophthalmol* 2006;142(4):583-90.
6. Bayraktar S, Bayraktar Z. Central corneal thickness and intraocular pressure relationship in eyes with and without previous LASIK: comparison of Goldmann applanation tonometer with pneumatonometer. *Eur J Ophthalmol* 2005;15(1):81-8.
7. Bhan A, Browning AC, Shah S, et al. Effect of corneal thickness on intraocular pressure measurements with the pneumotonometer, Goldmann applanation tonometer, and Tono-Pen. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43(5):1389-92.
8. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986;1(8476):307-10
9. Bochmann F, Kaufmann C, Becht C, et al. Comparison of dynamic contour tonometry with Goldmann applanation tonometry following Descemet's stripping automated endothelial keratoplasty (DSAEK). *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2009;226(4):241-4.
10. Boehm AG, Weber A, Pillunat LE, et al. Dynamic contour tonometry in comparison to intracameral IOP measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49(6):2472-7.
11. Bonomi L, Baravelli S, Cobbe C, Tomazzoli L. Evaluation of Keeler Pulsair non-contact tonometry: reliability and reproducibility. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1991;229(3):210-2.
12. Boothe WA, Lee DA, Panek WC, Pettit TH. The Tono-Pen. A manometric and clinical study. *Arch Ophthalmol* 1988;106(9):1214-7.
13. Brandt JD. Central corneal thickness, tonometry, and glaucoma risk--a guide for the perplexed. *Can J Ophthalmol* 2007;42(4):562-6.

14. Brandt JD, Gordon MO, Beiser JA, et al. Changes in central corneal thickness over time: the ocular hypertension treatment study. *Ophthalmology* 2008;115(9):1550-6, 6 e1.
15. Brenner HL, Kohl P, Reinke AR, Yoltan RL. Clinical comparison of air-puff and Goldmann tonometers. *J Am Optom Assoc* 1991;62(5):395-402.
16. Broman AT, Congdon NG, Bandeen-Roche K, Quigley HA. Influence of corneal structure, corneal responsiveness, and other ocular parameters on tonometric measurement of intraocular pressure. *J Glaucoma* 2007;16(7):581-8.
17. Bron AM, Creuzot-Garcher C, Goudeau-Boutillon S, d'Athis P. Falsely elevated intraocular pressure due to increased central corneal thickness. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1999;237(3):220-4.
18. Calixto N. Tonometria (aplanção versus impressão) e coeficiente de rigidez escleral. *Revista Brasileira de Oftalmologia (Separata)* 1961;20:49-72.
19. Calixto N. Tonometria. In: Prociencx FE, ed. In: *Glaucoma - Coletânea de Trabalhos e Notas*. São Paulo, 1966.
20. Ceruti P, Morbio R, Marraffa M, Marchini G. Comparison of Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry in healthy and glaucomatous eyes. *Eye* 2009;23(2):262-9.
21. Connell P, McCreery K, Doyle A, et al. Central corneal thickness and its relationship to intraocular pressure in mucopolysaccharidoses-1 following bone marrow transplantation. *J AAPOS* 2008;12(1):7-10.
22. Copt RP, Thomas R, Mermoud A. Corneal thickness in ocular hypertension, primary open-angle glaucoma, and normal tension glaucoma. *Arch Ophthalmol* 1999;117(1):14-6.
23. Demours A-P. *Traité des Maladies des yeux*. Paris, 1818.
24. Derka H. [The American Optical non-contact tonometer and its results compared with the Goldmann applanation tonometer (author's transl)]. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1980;177(5):634-42.
25. Dielemans I, Vingerling JR, Hofman A, et al. Reliability of intraocular pressure measurement with the Goldmann applanation tonometer in epidemiological studies. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1994;232(3):141-4.
26. Doughty MJ, Gillis N, MacGill J, Montgomery DM. Goldmann tonometry and pachymetry measures in patients with and without topical medical treatment at a glaucoma clinic. *Ophthalmic Physiol Opt* 2008;28(6):558-67.

27. Doughty MJ, Zaman ML. Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and meta-analysis approach. *Surv Ophthalmol* 2000;44(5):367-408.
28. Doyle A, Lachkar Y. Comparison of dynamic contour tonometry with goldman applanation tonometry over a wide range of central corneal thickness. *J Glaucoma* 2005;14(4):288-92.
29. Draeger J, Rumberger E, Wirt H. Clinical and experimental evaluation of the so-called Tono-pen tonometer. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*. 1989;195:196-202.
30. Ehlers N, Hansen FK. Central corneal thickness in low-tension glaucoma. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1974;52(5):740-6.
31. Ehlers N, Bramsen T, Sperling S. Applanation tonometry and central corneal thickness. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1975;53(1):34-43.
32. Ehlers N, Hansen FK, Aasved H. Biometric correlations of corneal thickness. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1975;53(4):652-9.
33. Emara B, Probst LE, Tingey DP, et al. Correlation of intraocular pressure and central corneal thickness in normal myopic eyes and after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 1998;24(10):1320-5.
34. Erdurmus M, Totan Y, Hepsen IF, Yagci R. Comparison of dynamic contour tonometry and noncontact tonometry in ocular hypertension and glaucoma. *Eye* 2009;23(3):663-8.
35. Fanny A, Ouattara A, Coulibaly F, et al. Central corneal thickness and potential error in Goldmann applanation tonometry of the Black African patient suffering from primary open-angle glaucoma: 340 eyes surveyed. *J Fr Ophtalmol* 2008;31(4):405-8.
36. Fialho CGB, Alves MA, Prata JA, Jr. Correlação entre a espessura central corneana nos valores da pressão intra-ocular com tonometria de aplanção de Goldmann em pacientes normais. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia* 1999;62:486.
37. Forbes M, Pico G, Jr., Grolman B. A noncontact applanation tonometer. Description and clinical evaluation. *Arch Ophthalmol* 1974;91(2):134-40.
38. Foster PJ, Baasanhu J, Alsbirk PH, et al. Central corneal thickness and intraocular pressure in a Mongolian population. *Ophthalmology* 1998;105(6):969-73.
39. Francis BA, Hsieh A, Lai MY, et al. Effects of corneal thickness, corneal curvature, and intraocular pressure level on Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry. *Ophthalmology* 2007;114(1):20-6.

40. Friedenwald JS. Contribution to the theory and practice of tonometry. *American Journal of Ophthalmology* 1937;20:985-1024.
41. Friedenwald JS. Tonometer calibration; an attempt to remove discrepancies found in the 1954 calibration scale for Schiotz tonometers. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol* 1957;61(1):108-22.
42. Ghaboussi J, Kwon TH, Pecknold DA, Hashash YM. Accurate intraocular pressure prediction from applanation response data using genetic algorithm and neural networks. *J Biomech* 2009.
43. Gloster J, Perkins ES. The Validity of the Imbert-Flick Law as Applied to Applanation Tonometry. *Exp Eye Res* 1963;2:274-83.
44. Goldmann H. Un nouveau tonomètre à aplanation. *Bulletin et Memoires de la Societe Française d'Ophthalmologie*. 1954;67:474-8.
45. Goldmann H. Problems of modern glaucoma research. *Bibl Ophthalmol* 1957;12(47):99-115.
46. Goldmann H. Some diagnostic difficulties concerning simple glaucoma. *Bull Mem Soc Fr Ophtalmol* 1961;74:32-7.
47. Goldmann H, Schmidt T. Applanation tonometry. *Ophthalmologica* 1957;134(4):221-42.
48. Goldmann H, Schmidt T. Further contribution to applanation tonometry. *Ophthalmologica* 1961;141:441-56.
49. Gorezis S, Christos G, Stefaniotou M, et al. Comparative results of central corneal thickness measurements in primary open-angle glaucoma, pseudoexfoliation glaucoma, and ocular hypertension. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2008;39(1):17-21.
50. Graefe V. *Graefe Arch Ophthal* 1854;1(1).
51. Graf M. Significance of the corneal thickness in non-contact tonometry. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1991;199(3):183-6.
52. Grieshaber MC, Schoetzau A, Zawinka C, et al. Effect of central corneal thickness on dynamic contour tonometry and Goldmann applanation tonometry in primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2007;125(6):740-4.
53. Grolman B. A new tonometer system. *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1972;49(8):646-60.
54. Gunvant P, Baskaran M, Vijaya L, et al. Effect of corneal parameters on measurements using the pulsatile ocular blood flow tonograph and Goldmann applanation tonometer. *Br J Ophthalmol* 2004;88(4):518-22.

55. Guthrie GJ. Lectures on the Operative Surgery of the Eye. London, 1823.
56. Hager A, Loge K, Schroeder B, et al. Effect of central corneal thickness and corneal hysteresis on tonometry as measured by dynamic contour tonometry, ocular response analyzer, and Goldmann tonometry in glaucomatous eyes. *J Glaucoma* 2008;17(5):361-5.
57. Hager A, Wiegand W. [Methods of measuring intraocular pressure independently of central corneal thickness]. *Ophthalmologe* 2008;105(9):840-4.
58. Halkiadakis I, Patsea E, Chatzimichali K, et al. Comparison of dynamic contour tonometry with Goldmann applanation tonometry in glaucoma practice. *Acta Ophthalmol* 2009;87(3):323-8.
59. Hansen FK. A clinical study of the normal human central corneal thickness. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1971;49(1):82-9.
60. Hansen FK, Ehlers N. Elevated tonometer readings caused by a thick cornea. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1971;49(5):775-8.
61. Harada Y, Hirose N, Kubota T, Tawara A. The influence of central corneal thickness and corneal curvature radius on the intraocular pressure as measured by different tonometers: noncontact and goldmann applanation tonometers. *J Glaucoma* 2008;17(8):619-25.
62. Herdener S, Hafizovic D, Pache M, et al. Is the PASCAL-Tonometer suitable for measuring intraocular pressure in clinical routine? Long- and short-term reproducibility of dynamic contour tonometry. *Eur J Ophthalmol* 2008;18(1):39-43.
63. Herdener S, Pache M, Lautebach S, Funk J. Dynamic contour tonometry (DCT) versus Goldmann applanation tonometry (GAT) - a comparison of agreement and reproducibility. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2007;245(7):1027-30.
64. Herndon LW. Measuring intraocular pressure-adjustments for corneal thickness and new technologies. *Curr Opin Ophthalmol* 2006;17(2):115-9.
65. Herndon LW, Choudhri SA, Cox T, et al. Central corneal thickness in normal, glaucomatous, and ocular hypertensive eyes. *Arch Ophthalmol* 1997;115(9):1137-41.
66. Hessemer V, Rossler R, Jacobi KW. Comparison of intraocular pressure measurements with the Oculab Tono-Pen vs manometry in humans shortly after death. *Am J Ophthalmol* 1988;105(6):678-82.
67. Holladay JT, Allison ME, Prager TC. Goldmann applanation tonometry in patients with regular corneal astigmatism. *Am J Ophthalmol* 1983;96(1):90-3.

68. Huang Y, Tham CC, Zhang M. Central corneal thickness and applanation tonometry. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(3):347.
69. Iyamu E, Ituah I. The relationship between central corneal thickness and intraocular pressure: a comparative study of normals and glaucoma subjects. *Afr J Med Med Sci* 2008;37(4):345-53.
70. Jacobson. *De Glaucomate* (Diss.). Konigsberg, 1853.
71. Jaeger. *Ueber Staar u. Staaroperationen*. Wien, 1854.
72. Jimenez-Rodriguez E, Lopez-de-Cobos M, Luque-Aranda R, et al. Relationship between central corneal thickness, intraocular pressure and severity of glaucomatous visual field loss. *Arch Soc Esp Oftalmol* 2009;84(3):139-43.
73. Johannesson G, Hallberg P, Eklund A, Linden C. Pascal, ICare and Goldmann applanation tonometry--a comparative study. *Acta Ophthalmol* 2008;86(6):614-21.
74. Johnson M, Kass MA, Moses RA, Grodzki WJ. Increased corneal thickness simulating elevated intraocular pressure. *Arch Ophthalmol* 1978;96(4):664-5.
75. Johnson RA, Wichern DW. *Applied Multivariate Statistical Analyses*. New Jersey: Prentice-Hall, 1992; 462.
76. Kamppeter BA, Jonas JB. Dynamic contour tonometry for intraocular pressure measurement. *Am J Ophthalmol* 2005;140(2):318-20.
77. Kanngiesser HE, Kniestedt C, Robert YC. Dynamic contour tonometry: presentation of a new tonometer. *J Glaucoma* 2005;14(5):344-50.
78. Kass MA. Standardizing the measurement of intraocular pressure for clinical research. Guidelines from the Eye Care Technology Forum. *Ophthalmology* 1996;103(1):183-5.
79. Kaufmann C, Bachmann LM, Thiel MA. Intraocular pressure measurements using dynamic contour tonometry after laser in situ keratomileusis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2003;44(9):3790-4.
80. Kaufmann C, Bachmann LM, Thiel MA. Comparison of dynamic contour tonometry with goldmann applanation tonometry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45(9):3118-21.
81. Khan JA, Davis M, Graham CE, et al. Comparison of Oculab Tono-Pen readings obtained from various corneal and scleral locations. *Arch Ophthalmol* 1991;109(10):1444-6.
82. Kitice PY, Nunes THC, et al. Espessura central da córnea e a medida da pressão intra-ocular com diferentes tonômetros. *Rev Bras Oftalmol* 2007; 66(6): 388-93.

83. Kniestedt C, Lin S, Choe J, et al. Clinical comparison of contour and applanation tonometry and their relationship to pachymetry. *Arch Ophthalmol* 2005;123(11):1532-7.
84. Kniestedt C, Lin S, Choe J, et al. Correlation between intraocular pressure, central corneal thickness, stage of glaucoma, and demographic patient data: prospective analysis of biophysical parameters in tertiary glaucoma practice populations. *J Glaucoma* 2006;15(2):91-7.
85. Kniestedt C, Nee M, Stamper RL. Dynamic contour tonometry: a comparative study on human cadaver eyes. *Arch Ophthalmol* 2004;122(9):1287-93.
86. Kniestedt C, Nee M, Stamper RL. Accuracy of dynamic contour tonometry compared with applanation tonometry in human cadaver eyes of different hydration states. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2005;243(4):359-66.
87. Konareva-Kostianeva MI, Atanasov MA. Central corneal thickness in patients with normal-tension glaucoma. *Folia Med (Plovdiv)* 2007;49(3-4):36-41.
88. Kotecha A. What biomechanical properties of the cornea are relevant for the clinician? *Surv Ophthalmol* 2007;52 Suppl 2:S109-14.
89. Kotecha A, Elsheikh A, Roberts CR, et al. Corneal thickness- and age-related biomechanical properties of the cornea measured with the ocular response analyzer. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47(12):5337-47.
90. Kotecha A, White ET, Shewry JM, Garway-Heath DF. The relative effects of corneal thickness and age on Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry. *Br J Ophthalmol* 2005;89(12):1572-5.
91. Ku JY, Danesh-Meyer HV, Craig JP, et al. Comparison of intraocular pressure measured by Pascal dynamic contour tonometry and Goldmann applanation tonometry. *Eye* 2006;20(2):191-8.
92. Kurtz S, Haber I, Kesler A. Corneal Thickness Measurements in Normal-tension Glaucoma Workups: Is It Worth the Effort? *J Glaucoma* 2009.
93. Lamparter J, Hoffmann EM. Measuring intraocular pressure by different methods. *Ophthalmologe* Aug 5. 2009.
94. Lanza M, Borrelli M, De Bernardo M, et al. Corneal parameters and difference between goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry in normal eyes. *J Glaucoma* 2008;17(6):460-4.
95. Lesk MR, Hafez AS, Descovich D. Relationship between central corneal thickness and changes of optic nerve head topography and blood flow after intraocular pressure reduction in open-angle glaucoma and ocular hypertension. *Arch Ophthalmol* 2006;124(11):1568-72.

96. Liu J, Roberts CJ. Influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurement: quantitative analysis. *J Cataract Refract Surg* 2005;31(1):146-55.
97. Lleo A, Marcos A, Calatayud M, et al. The relationship between central corneal thickness and Goldmann applanation tonometry. *Clin Exp Optom* 2003;86(2):104-8.
98. Lowe RF. Central corneal thickness. Ocular correlations in normal eyes and those with primary angle-closure glaucoma. *Br J Ophthalmol* 1969;53(12):824-6.
99. Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg* 2005;31(1):156-62.
100. Mackay RS, Marg E. Fast, automatic, electronic tonometers based on an exact theory. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1959;37:495-507.
101. Mackenzie W. A Practical Treatise on the Diseases of the Eye. In, 2nd ed. London, 1835.
102. Mackey DA. Central corneal thickness and glaucoma in the Australian Aboriginal population. *Clin Experiment Ophthalmol* 2007;35(8):691-2.
103. Maklakoff A. L'ophthalmotonometrie. *Archives d'Ophthalmologie (Paris)* 1885:159-65.
104. Martinez-de-la-Casa JM, Garcia-Feijoo J, Fernandez-Vidal A, et al. Ocular response analyzer versus Goldmann applanation tonometry for intraocular pressure measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47(10):4410-4.
105. Martinez-de-la-Casa JM, Garcia-Feijoo J, Vico E, et al. Effect of corneal thickness on dynamic contour, rebound, and goldmann tonometry. *Ophthalmology* 2006;113(12):2156-62.
106. Matsumoto T, Makino H, Uozato H, et al. The Influence of Corneal Thickness and Curvature on the Difference Between Intraocular Pressure Measurements Obtained with a Non-contact Tonometer and Those with a Goldmann Applanation Tonometer. *Jpn J Ophthalmol* 2000;44(6):691.
107. Medeiros FA, Sample PA, Weinreb RN. Comparison of dynamic contour tonometry and goldmann applanation tonometry in African American subjects. *Ophthalmology* 2007;114(4):658-65.
108. Medeiros FA, Weinreb RN. Evaluation of the influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurements using the ocular response analyzer. *J Glaucoma* 2006;15(5):364-70.
109. Meirelles SHS, Mathias CR et al. Estudo comparativo entre o tonômetro de aplanção de Goldmann e o tonômetro de controno dinâmico de Pascal no glaucoma primário de ângulo aberto e olhos normais. *Rev Bras Oftalmol* 2008; 67(6): 273-80.

110. Mehdizadeh A, Hoseinzadeh A, Fazelzadeh A. Central corneal thickness as a risk factor for glaucoma. *Med Hypotheses* 2007;69(6):1205-7.
111. Minckler DS, Baerveldt G, Heuer DK, et al. Clinical evaluation of the Oculab Tono-Pen. *Am J Ophthalmol* 1987;104(2):168-73.
112. Mohamed-Noor J, Bochmann F, Siddiqui MA, et al. Correlation between corneal and scleral thickness in glaucoma. *J Glaucoma* 2009;18(1):32-6.
113. Montgomery DC, Peck EA. *Intruduction to Linear Regression Analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
114. Morad Y, Sharon E, Hefetz L, Nemet P. Corneal thickness and curvature in normal-tension glaucoma. *Am J Ophthalmol* 1998;125(2):164-8
115. Moreno-Montanes J, Maldonado MJ, Garcia N, et al. Reproducibility and clinical relevance of the ocular response analyzer in nonoperated eyes: corneal biomechanical and tonometric implications. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49(3):968-74.
116. Moses RA. The Goldmann applanation tonometer. *Am J Ophthalmol* 1958;46(6):865-9.
117. Motolko MA, Feldman F, Hyde M, Hudy D. Sources of variability in the results of applanation tonometry. *Can J Ophthalmol* 1982;17(3):93-5.
118. Muller L, Kohnen T. [Influence of residual corneal bed thickness after myopic LASIK on intraocular pressure measurements : Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry.]. *Ophthalmologe* 2009;106(1):21-8.
119. Muller L, Kohnen T. [Influence of residual corneal bed thickness after myopic LASIK on intraocular pressure measurements. Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry]. *Ophthalmologe* 2009;106(1):21-8.
120. Pache M, Wilmsmeyer S, Lautebach S, Funk J. Dynamic contour tonometry versus Goldmann applanation tonometry: a comparative study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2005;243(8):763-7.
121. Pelit A, Altan-Yaycioglu R, Akova YA. Effect of corneal thickness on intraocular pressure measurements with the Pascal dynamic contour, Canon TX-10 non-contact and Goldmann applanation tonometers in healthy subjects. *Clin Exp Optom* 2009;92(1):14-8.
122. Pepose JS, Feigenbaum SK, Qazi MA, et al. Changes in corneal biomechanics and intraocular pressure following LASIK using static, dynamic, and noncontact tonometry. *Am J Ophthalmol* 2007;143(1):39-47.
123. Phelps CD, Phelps GK. Measurement of intraocular pressure: a study of its reproducibility. *Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol* 1976;198(1):39-43.

124. Punjabi OS, Ho HK, Kniestedt C, et al. Intraocular pressure and ocular pulse amplitude comparisons in different types of glaucoma using dynamic contour tonometry. *Curr Eye Res* 2006;31(10):851-62.
125. Punjabi OS, Kniestedt C, Stamper RL, Lin SC. Dynamic contour tonometry: principle and use. *Clin Experiment Ophthalmol* 2006;34(9):837-40.
126. Ralston ME, Choplin NT, Hollenbach KA, et al. Glaucoma screening in primary care: the role of noncontact tonometry. *J Fam Pract* 1992;34(1):73-7.
127. Rao VJ, Gnanaraj L, Mitchell KW, Figueiredo FC. Clinical comparison of ocular blood flow tonometer, Tonopen, and Goldmann applanation tonometer for measuring intraocular pressure in postkeratoplasty eyes. *Cornea* 2001;20(8):834-8.
128. Rashad KM, Bahnassy AA. Changes in intraocular pressure after laser in situ keratomileusis. *J Refract Surg* 2001;17(4):420-7.
129. Realini T, Weinreb RN, Hobbs G. Correlation of intraocular pressure measured with goldmann and dynamic contour tonometry in normal and glaucomatous eyes. *J. Glaucoma* 2009; 18(2): 119-123.
130. Recep OF, Hasiripi H, Cagil N, Sarikatipoglu H. Relation between corneal thickness and intraocular pressure measurement by noncontact and applanation tonometry. *J Cataract Refract Surg* 2001;27(11):1787-91.
131. Remky H. Erich Zeiss (1894-1975) - Erster efinder der non-contact-tonometrie. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1990;196:182-5.
132. Roszkowska AM, De Grazia L, Cirone M, Ferreri G. Comparison of Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry in the measurement of intraocular pressure in eyes with different corneal thicknesses. *Ophthalmologica* 2009;223(4):244-9.
133. Rufer F, Westphal S, Erb C. Comparison of central and peripheral corneal thicknesses between normal subjects and patients with primary open angle glaucoma, normal tension glaucoma and pseudoexfoliation glaucoma. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2007;224(8):636-40.
134. Salvetat ML, Zeppieri M, Tosoni C, Brusini P. Comparisons between Pascal dynamic contour tonometry, the TonoPen, and Goldmann applanation tonometry in patients with glaucoma. *Acta Ophthalmol Scand* 2007;85(3):272-9.
135. Schiotz H. Ein Neuer Tonometer. *Arch Augenheilkd* 1905;52:401-24.
136. Schmidt T. Applanation tonometry with the split-lamp. *Ophthalmologica* 1957;133(4-5):337-42.
137. Schmidt TA. The clinical application of the Goldmann applanation tonometer. *Am J Ophthalmol* 1960;49:967-78.

138. Schneider E, Grehn F. Intraocular pressure measurement-comparison of dynamic contour tonometry and goldmann applanation tonometry. *J Glaucoma* 2006;15(1):2-6.
139. Shah S, Chatterjee A, Mathai M, et al. Relationship between corneal thickness and measured intraocular pressure in a general ophthalmology clinic. *Ophthalmology* 1999;106(11):2154-60.
140. Shields MB. The non-contact tonometer. Its value and limitations. *Surv Ophthalmol* 1980;24(4):211-9.
141. Shields MB. Textbook of Glaucoma. In: Wilkins W, 4 ed. Baltimore, 1998.
142. Shimmyo M, Ross AJ, Moy A, Mostafavi R. Intraocular pressure, Goldmann applanation tension, corneal thickness, and corneal curvature in Caucasians, Asians, Hispanics, and African Americans. *Am J Ophthalmol* 2003;136(4):603-13.
143. Sidney S, Castellan Jr NJ. Estatística Não-paramétrica para Ciências do Comportamento. In. Artmed, 2 ed. Porto Alegre, 2006.
144. Simon G, Small RH, Ren Q, Parel JM. Effect of corneal hydration on Goldmann applanation tonometry and corneal topography. *Refract Corneal Surg* 1993;9(2):110-7.
145. Stepanik J. [The AO-non contact-tonometer. I. Clinical measurements on normotensive eyes (author's transl)]. *Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol* 1974;190(1):47-9.
146. Sullivan-Mee M, Billingsley SC, Patel AD, et al. Ocular Response Analyzer in subjects with and without glaucoma. *Optom Vis Sci* 2008;85(6):463-70.
147. Tonnu PA, Ho T, Newson T, et al. The influence of central corneal thickness and age on intraocular pressure measured by pneumotonometry, non-contact tonometry, the Tono-Pen XL, and Goldmann applanation tonometry. *Br J Ophthalmol* 2005;89(7):851-4.
148. Torres RJ, Jones E, Edmunds B, et al. Central corneal thickness in Northwestern American Indians/Alaskan Natives and comparison with White and African-American persons. *Am J Ophthalmol* 2008;146(5):747-51.
149. Touboul D, Roberts C, Kerautret J, et al. Correlations between corneal hysteresis, intraocular pressure, and corneal central pachymetry. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(4):616-22.
150. Verdoorn C, Deutman AF. Clinical evaluation of the Topcon CT10 tonometer. *Int Ophthalmol* 1988;12(4):223-5.
151. Weber A. v Graefe Arch Ophthal 1877;23(1).
152. Weller CH. Die Krankheiten d. mensch., 3rd ed ed. Vol. 295. Berlin, 1826.

153. Wilke K. Intraocular pressure measurement on various parts of the cornea. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1971;49(4):545-51.
154. Wilke K. Effects of repeated tonometry: genuine and sham measurements. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1972;50(4):574-82.
155. Wirt H, Draeger J, Rumberger E, et al. [Comparative studies of the calibration of new electronic automatic tonometers]. *Fortschr Ophthalmol* 1989;86(4):403-6.
156. Wolfs RC, Klaver CC, Vingerling JR, et al. Distribution of central corneal thickness and its association with intraocular pressure: The Rotterdam Study. *Am J Ophthalmol* 1997;123(6):767-72.

7. ANEXO

Anexo 1 – Dados da população estudada.

Anexo 2 – Publicação da tese: Influence of age, central corneal thickness, and quality score on dynamic contour tonometry Eye 2009; 23: 1364-1369.

Iniciais	Sexo	Idade	Cor Pele	Olho	PIO Pascal	OPA	Q	PIO Goldmann	Paquimetria
A_B	f	62	b	d	13,7	1,5	1	11	461
A_B	f	62	b	e	14,2	1,7	1	10	462
A_B	m	63	b	d	19,8	4,1	1	16	595
A_B	m	63	b	e	17,0	4,5	2	14	595
A_B	m	71	b	d	13,2	1,6	2	12	501
A_B	m	71	b	e	13,2	2,4	3	12	501
A_C	m	58	b	d	16,1	1,6	1	14	506
A_C	m	58	b	e	15,6	1,8	1	15	503
A_C	m	68	b	e	20,7	2,1	3	16	544
A_C	m	68	b	d	21,9	2,6	3	18	541
A_C	f	68	b	d	17,0	3,0	1	13	562
A_C	f	68	b	e	19,9	4,6	1	15	586
A_F	f	63	b	d	19,8	1,7	2	18	557
A_F	f	63	b	e	22,2	2,6	3	18	560
A_L	f	63	b	d	14,3	2,0	3	11	503
A_L	f	63	b	e	13,5	3,6	1	10	495
A_M	f	25	p	e	15,7	1,9	1	12	532
A_M	f	25	p	d	17,1	2,1	2	12	535
A_M	f	54	p	d	16,9	3,5	1	16	543
A_M	f	54	p	e	18,4	3,8	2	16	541
A_M	f	56	b	d	20,0	0,6	3	11	535
A_M	f	56	b	e	16,2	0,6	3	11	522
A_N	f	68	b	d	15,7	3,7	2	12	558
A_N	f	68	b	e	16,7	4,5	1	11	563
A_O	m	26	a	d	14,7	1,5	2	15	520
A_O	m	26	a	e	15,4	1,6	3	12	521
A_R	f	46	p	d	20,8	1,1	3	14	528
A_R	f	46	p	e	15,6	1,1	3	12	536

A_S	m	64	b	e	14,9	1,7	3	10	545
A_S	m	64	b	d	15,6	1,8	3	10	546
AAB	f	51	b	d	15,5	0,8	2	9	526
AAB	f	51	b	e	14,4	1,0	2	8	538
ABR	f	55	n	d	15,7	1,9	1	12	532
ABR	f	55	n	e	17,1	2,1	2	12	535
ACC	f	36	b	d	13,5	1,5	3	7	482
ACC	f	36	b	e	13,3	1,9	2	10	490
ACC	f	51	p	e	22,9	5,6	1	16	567
ACC	f	51	p	d	27,8	5,8	2	18	577
ACD	f	55	b	d	17,3	1,7	1	15	545
ACD	f	55	b	e	15,9	2,2	1	15	526
ACF	f	32	b	e	17,3	2,9	3	10	560
ACF	f	32	b	d	17,0	3,0	3	10	562
ACL	f	42	p	d	15,7	1,0	1	14	527
ACL	f	42	p	e	16,4	1,4	3	14	524
ACN	f	68	b	d	15,8	1,5	3	12	559
ACN	f	68	b	e	19,4	2,2	3	14	560
ACR	f	45	p	d	14,7	1,5	2	15	520
ACR	f	45	p	e	15,4	1,6	3	12	521
ACR	m	61	b	d	16,7	1,2	3	10	498
ACR	m	61	b	e	16,1	1,3	2	10	492
ACS	m	64	b	e	15,7	1,2	1	13	558
ACS	m	64	b	d	19,3	2,1	2	14	560
ADR	f	48	n	d	26,8	4,5	2	12	495
ADR	f	48	n	e	24,6	5,0	2	12	499
AGD	m	61	b	e	21,3	2,9	2	16	592
AGD	m	61	b	d	21,9	4,5	1	18	589
AGD	m	63	p	d	18,9	1,8	3	12	551
AGD	m	63	p	e	18,4	2,3	3	12	557

ALF	f	63	p	d	14,8	2,2	2	10	520
ALF	f	63	p	e	16,5	2,4	3	10	515
ALH	f	31	b	e	11,8	1,4	1	12	554
ALH	f	31	b	d	13,1	1,7	3	13	558
ALJ	m	52	n	e	16,7	1,8	2	16	531
ALJ	m	52	n	d	18,3	2,6	2	15	530
AMA	f	36	b	d	16,2	1,9	3	14	521
AMA	f	36	b	e	18,9	1,9	3	12	535
AML	f	39	p	d	19,7	1,7	2	18	542
AML	f	39	p	e	17,5	1,7	1	16	537
ANR	f	64	b	d	16,3	2,5	2	14	602
ANR	f	64	b	e	21,2	2,8	3	16	607
APF	m	69	n	d	16,8	1,0	3	10	498
APF	m	69	n	e	16,0	1,3	3	10	492
APG	m	54	b	e	13,6	0,7	3	11	529
APG	m	54	b	d	14,9	1,1	2	8	528
APL	m	27	b	e	17,8	1,1	2	14	537
APL	m	27	b	d	15,8	1,7	2	13	525
APS	f	24	n	d	13,6	1,4	2	11	507
APS	f	24	n	e	14,4	1,5	2	10	497
ARS	f	67	p	d	13,6	1,8	3	10	495
ARS	f	67	p	e	15,7	1,8	1	14	492
ARS	m	68	p	d	21,1	3,1	3	20	599
ARS	m	68	p	e	20,2	3,1	3	20	603
ARZ	f	68	p	d	18,9	2,4	3	16	538
ARZ	f	68	p	e	19,3	3,0	3	15	546
ASN	m	59	p	d	17,6	3,0	1	10	552
ASN	m	59	p	e	21,0	3,2	1	9	549
ASS	f	56	b	e	23,7	2,5	3	22	590
ASS	f	56	b	d	23,4	2,8	2	20	571

ASV	f	29	p	d	17,8	1,1	2	14	537
ASV	f	29	p	e	15,8	1,7	2	13	525
ATG	f	74	b	d	13,2	1,6	2	12	501
ATG	f	74	b	e	13,2	3,0	2	12	502
B_K	f	29	b	e	18,9	3,4	3	18	495
B_K	f	29	b	d	21,1	4,5	3	16	496
B_O	f	35	p	d	16,2	1,4	3	22	613
B_O	f	35	p	e	18,5	1,6	2	20	607
B_R	m	43	b	e	13,8	1,4	2	13	529
B_R	m	43	b	d	14,1	1,6	2	14	531
B_R	m	67	p	d	13,2	1,2	2	12	552
B_R	m	67	p	e	12,1	1,4	1	12	550
BFA	f	74	b	d	14,8	1,4	1	10	536
BFA	f	74	b	e	14,1	1,4	2	10	547
C_D	m	26	b	d	16,2	1,9	3	14	521
C_D	m	26	b	e	18,9	1,9	3	12	535
C_L	f	50	n	d	16,0	1,6	3	17	620
C_L	f	50	n	e	13,7	2,7	3	18	653
C_P	f	69	b	d	13,3	3,4	1	8	555
C_P	f	69	b	e	14,7	3,8	1	8	563
C_S	f	46	b	d	21,3	2,9	2	16	602
C_S	f	46	b	e	21,9	4,5	1	18	589
CAA	m	63	n	d	24,4	3,2	2	18	598
CAA	m	63	n	e	17,3	3,4	2	21	611
CAA	f	64	b	d	15,9	1,9	1	16	607
CAA	f	64	b	e	16,3	2,6	3	15	594
CAP	f	36	p	d	13,8	2,3	3	12	530
CAP	f	36	p	e	15,2	2,4	3	12	532
CAR	f	64	b	d	15,4	1,5	1	14	563
CAR	f	64	b	e	17,7	1,9	1	14	551

CAS	f	34	b	d	20,1	2,3	3	16	527
CAS	f	34	b	e	18,3	3,2	3	16	548
CAS	f	46	b	d	14,8	1,4	1	10	536
CAS	f	46	b	e	14,1	1,4	2	10	547
CBR	m	64	p	d	18,9	3,4	3	18	495
CBR	m	64	p	e	21,1	4,5	3	16	496
CBV	f	64	b	d	13,4	1,7	3	14	509
CBV	f	64	b	e	15,3	1,8	1	14	540
CCP	f	46	p	d	20,1	2,9	1	16	553
CCP	f	46	p	e	17,0	3,1	3	15	553
CCP	m	73	b	d	19,7	2,7	1	18	514
CCP	m	73	b	e	25,4	4,0	3	18	513
CDS	f	34	b	d	18,6	3,2	1	13	536
CDS	f	34	b	e	18,7	3,2	1	14	528
CFT	m	36	p	d	11,8	1,4	1	12	554
CFT	m	36	p	e	13,1	1,7	3	13	558
CMM	f	55	b	d	17,2	2,7	1	14	518
CMM	f	55	b	e	16,7	3,6	3	16	520
CMS	f	46	b	d	18,0	2,0	2	16	511
CMS	f	46	b	e	18,4	2,0	3	16	516
CMS	f	56	p	e	17,0	3,9	1	14	551
CMS	f	56	p	d	19,7	4,5	1	14	555
CPS	f	66	p	e	16,7	3,2	2	12	543
CPS	f	66	p	d	17,8	4,2	2	14	562
CPS	m	67	b	e	14,8	4,1	3	14	566
CPS	m	67	b	d	12,7	5,9	3	16	567
CRS	f	49	b	d	18,3	3,2	1	14	562
CRS	f	49	b	e	17,7	3,2	3	14	545
CRT	m	35	p	d	13,7	1,4	1	6	482
CRT	m	35	p	e	14,0	1,5	2	5	493

CSL	f	46	p	d	15,9	3,4	3	8	483
CSL	f	46	p	e	16,3	3,6	2	10	492
CSM	f	34	b	d	16,1	2,9	3	7	536
CSM	f	34	b	e	17,6	2,9	3	7	538
CSM	m	40	p	e	17,3	2,6	3	8	457
CSM	m	40	p	d	18,7	2,7	1	7	449
CTS	f	50	b	e	19,4	2,3	3	16	512
CTS	f	50	b	d	20,5	2,4	2	16	507
D_S	m	36	p	d	17,3	2,9	3	10	560
D_S	m	36	p	e	17,0	3,0	3	10	562
DAL	f	15	p	e	17,0	3,0	1	13	562
DAL	f	15	p	d	19,9	4,6	1	15	586
DAS	m	36	p	d	13,7	1,5	1	11	461
DAS	m	36	p	e	14,2	1,7	1	10	462
DAS	m	76	p	d	15,1	1,6	2	8	540
DAS	m	76	p	e	18,2	2,5	2	10	552
DCB	f	46	b	d	18,6	3,2	1	13	536
DCB	f	46	b	e	18,7	3,2	1	14	528
DCB	f	50	b	d	17,5	2,2	2	16	581
DCB	f	50	b	e	17,8	3,0	1	20	594
DCC	m	28	b	e	13,8	2,3	3	12	530
DCC	m	28	b	d	15,2	2,4	3	12	532
DCC	f	47	b	d	16,1	2,9	3	7	536
DCC	f	47	b	e	17,6	2,9	3	7	538
DCJ	m	60	b	d	20,2	2,2	3	17	521
DCJ	m	60	b	e	18,3	2,6	3	16	515
DCL	f	61	b	d	15,7	2,9	1	16	500
DCL	f	61	b	e	17,8	2,9	1	16	503
DCR	f	39	b	d	16,5	3,1	2	14	554
DCR	f	39	b	e	14,9	3,1	1	14	550

DGC	f	47	p	e	19,4	2,8	2	16	540
DGC	f	47	p	d	20,4	3,3	2	18	530
DMC	f	79	b	e	15,7	1,9	1	10	514
DMC	f	79	b	d	15,3	2,1	1	10	509
DPN	m	60	b	e	14,4	1,2	3	6	581
DPN	m	60	b	d	15,1	2,2	3	6	589
DSF	f	67	n	e	20,4	2,2	1	18	514
DSF	f	67	n	d	22,7	2,7	3	19	510
DSV	f	25	b	d	22,4	2,6	1	8	525
DSV	f	25	b	e	15,2	3,4	1	8	524
DSV	f	25	p	d	15,4	1,5	2	12	503
DSV	f	25	p	e	13,7	1,6	2	11	506
DZF	f	58	b	e	13,8	4,0	1	11	489
DZF	f	58	b	d	16,8	4,7	2	10	498
E_C	f	26	n	d	14,7	1,3	2	8	595
E_C	f	26	n	e	19,4	2,1	2	10	576
E_C	f	54	p	e	21,6	3,1	1	18	494
E_C	f	54	p	d	22,0	3,4	1	16	492
E_L	f	25	p	e	13,5	1,5	3	7	482
E_L	f	25	p	d	13,3	1,9	2	10	490
E_S	m	25	b	e	17,3	1,7	1	15	545
E_S	m	25	b	d	15,9	2,2	1	15	526
E_S	f	25	b	d	22,8	2,5	1	16	537
E_S	f	25	b	e	23,4	2,7	1	18	530
EAB	f	25	b	d	13,8	3,0	1	9	508
EAB	f	25	b	e	15,7	3,4	1	9	503
EAC	m	30	b	e	19,7	2,7	1	18	514
EAC	m	30	b	d	25,4	4,0	3	18	513
EAP	f	58	n	d	16,0	2,2	2	13	513
EAP	f	58	n	e	17,8	2,2	2	14	512

EAS	f	25	b	d	16,4	1,9	2	9	530
EAS	f	25	b	e	13,7	1,9	3	9	525
ECP	f	76	b	e	16,4	1,8	2	16	532
ECP	f	76	b	d	18,3	2,6	2	14	528
ECS	f	57	p	d	17,1	1,5	2	20	606
ECS	f	57	p	e	17,1	1,8	2	20	603
EDS	m	44	p	d	18,4	1,9	1	13	556
EDS	m	44	p	e	17,7	2,0	1	15	567
EDS	m	47	n	d	23,7	1,3	3	12	485
EDS	m	47	n	e	22,1	1,6	3	14	495
EES	m	76	b	e	12,1	5,4	1	12	548
EES	m	76	b	d	17,4	6,5	1	12	546
EFP	f	57	p	d	16,5	3,1	2	14	554
EFP	f	57	p	e	14,9	3,1	1	14	550
EJA	f	26	p	d	19,2	2,3	2	18	565
EJA	f	26	p	e	17,3	2,6	2	18	563
EJS	f	39	n	d	16,1	2,1	3	10	577
EJS	f	39	n	e	18,6	2,8	1	9	582
EJV	f	72	n	e	17,5	2,2	2	12	537
EJV	f	72	n	d	20,5	2,5	3	12	527
ELF	m	28	b	d	15,4	1,5	1	14	563
ELF	m	28	b	e	17,7	1,9	1	14	551
EMC	f	26	n	d	17,3	2,6	3	8	457
EMC	f	26	n	e	18,7	2,7	1	7	449
EMG	m	56	b	d	14,2	2,3	2	14	515
EMG	m	56	b	e	16,3	2,4	2	14	520
EMS	f	47	b	d	16,2	1,4	3	22	613
EMS	f	47	b	e	18,5	1,6	2	20	607
ENP	f	49	p	d	23,2	2,4	3	12	517
ENP	f	49	p	e	20,9	2,8	2	11	511

ENV	f	48	p	d	17,2	2,1	1	7	533
ENV	f	48	p	e	19,2	2,3	2	9	528
EPN	f	50	p	d	14,1	1,7	1	14	556
EPN	f	50	p	e	15,3	2,4	3	12	550
EPT	f	49	p	d	14,9	1,5	3	11	515
EPT	f	49	p	e	18,6	2,6	3	12	526
ESB	f	57	p	d	17,3	2,3	1	16	557
ESB	f	57	p	e	19,1	2,6	2	18	555
ESS	f	54	p	e	23,4	3,1	2	22	599
ESS	f	54	p	d	23,6	3,7	1	22	590
ETR	f	36	p	d	14,2	2,3	2	14	520
ETR	f	36	p	e	16,3	2,4	2	14	526
ETV	f	45	p	d	20,7	2,6	1	14	526
ETV	f	45	p	e	20,2	5,7	3	14	535
F_C	f	26	b	d	19,7	1,7	2	18	542
F_C	f	26	b	e	17,5	1,7	1	16	537
F_D	m	64	b	d	15,2	3,5	1	10	505
F_D	m	64	b	e	15,4	3,9	1	10	505
F_M	f	42	b	d	19,6	4,2	1	11	483
F_M	f	42	b	e	17,0	4,2	1	10	484
FDC	f	69	b	d	13,8	1,4	2	13	529
FDC	f	69	b	e	14,1	1,6	2	14	531
FEH	m	25	a	e	15,7	1,0	1	14	527
FEH	m	25	a	d	16,4	1,4	3	14	524
FGS	m	39	p	d	19,1	2,9	1	16	555
FGS	m	39	p	e	17,0	3,1	3	15	550
FLG	f	54	n	d	23,7	4,4	3	12	508
FLG	f	54	n	e	21,0	4,7	1	12	516
FLS	m	33	b	d	17,7	2,6	2	19	582
FLS	m	33	b	e	19,4	3,3	1	20	574

FMF	m	57	b	e	18,8	3,3	2	12	496
FMF	m	57	b	d	16,8	3,9	2	10	488
FSB	m	27	b	e	16,2	1,4	3	22	613
FSB	m	27	b	d	18,5	1,6	2	20	607
FSF	f	26	b	d	17,8	3,0	1	15	496
FSF	f	26	b	e	19,6	3,2	2	15	494
FSF	f	26	b	d	18,4	1,9	1	13	556
FSF	f	26	b	e	17,7	2,0	1	15	567
FSS	f	20	b	d	19,8	1,7	2	18	557
FSS	f	20	b	e	22,2	2,6	3	18	560
G_B	m	50	b	e	23,7	2,2	3	22	629
G_B	m	50	b	d	25,6	2,6	3	24	638
G_M	f	26	b	e	16,3	2,5	2	14	602
G_M	f	26	b	d	21,2	2,8	3	16	607
GMS	m	65	p	d	19,8	1,7	3	16	547
GMS	m	65	p	e	22,4	2,2	3	20	554
GSL	m	39	p	d	19,4	2,3	3	16	512
GSL	m	39	p	e	20,5	2,4	2	16	507
HAS	f	35	b	d	15,4	1,5	2	12	503
HAS	f	35	b	e	13,7	1,6	2	11	506
HMA	f	45	b	d	14,3	2,3	1	11	528
HMA	f	45	b	e	15,1	3,4	1	12	515
HMA	f	54	n	e	16,5	2,1	2	14	531
HMA	f	54	n	d	15,7	2,5	2	16	530
I_E	m	26	a	e	13,6	1,4	2	11	507
I_E	m	26	a	d	14,4	1,5	2	10	497
IAD	f	48	p	d	19,0	3,2	1	12	528
IAD	f	48	p	e	22,6	3,7	1	17	525
IAG	f	27	p	e	13,3	3,4	1	8	555
IAG	f	27	p	d	14,7	3,8	1	8	563

IFV	f	48	b	d	14,3	2,3	1	11	528
IFV	f	48	b	e	15,1	3,4	1	12	515
ILS	f	38	p	d	14,4	1,6	2	12	503
ILS	f	38	p	e	13,6	2,0	2	10	507
INR	f	48	b	d	20,8	1,1	3	14	528
INR	f	48	b	e	15,6	1,1	3	12	536
IRP	f	65	b	d	14,6	2,7	1	14	528
IRP	f	65	b	e	19,9	3,2	2	16	530
IRS	f	42	b	d	14,0	2,7	1	16	562
IRS	f	42	b	e	15,6	3,5	1	16	557
IRS	f	65	b	d	15,9	3,1	2	10	557
IRS	f	65	b	e	15,5	3,4	3	10	551
ISB	f	36	p	d	16,4	1,9	2	9	530
ISB	f	36	p	e	13,7	1,9	3	9	525
ISD	f	49	b	d	16,0	2,2	2	13	513
ISD	f	49	b	e	17,8	2,3	2	14	510
ISP	f	65	b	d	14,9	3,1	1	14	551
ISP	f	65	b	e	16,6	3,2	2	14	554
J_C	m	28	p	d	20,1	2,3	3	16	527
J_C	m	28	p	e	18,3	3,2	3	16	548
J_H	m	71	b	d	19,9	5,7	1	20	578
J_H	m	71	b	e	20,3	6,6	1	16	572
J_O	m	61	b	e	14,2	2,1	2	16	565
J_O	m	61	b	d	15,3	3,2	2	17	562
JAG	m	42	n	e	14,9	1,5	3	11	515
JAG	m	42	n	d	18,6	2,6	3	12	526
JAM	f	52	n	e	14,6	2,2	2	12	530
JAM	f	52	n	d	16,0	2,6	1	12	516
JAS	m	45	n	d	14,4	1,6	2	12	503
JAS	m	45	n	e	13,6	2,0	2	10	507

JAS	m	60	p	d	19,6	2,8	2	14	512
JAS	m	60	p	e	17,8	3,2	1	14	506
JAT	f	53	b	d	14,7	2,9	1	15	485
JAT	f	53	b	e	16,8	2,9	2	15	490
JBB	m	65	b	e	18,9	3,6	1	12	494
JBB	m	65	b	d	16,9	4,1	1	10	487
JBC	m	77	b	d	13,9	3,6	1	16	605
JBC	m	77	b	e	15,2	4,1	1	16	592
JCZ	m	57	b	d	15,6	1,5	2	16	560
JCZ	m	57	b	e	17,6	1,6	3	15	567
JDS	m	58	b	d	13,2	1,2	2	12	552
JDS	m	58	b	e	12,1	1,4	1	12	550
JFG	m	73	b	e	18,8	1,7	3	15	533
JFG	m	73	b	d	16,1	1,8	3	14	520
JFN	m	76	b	d	21,4	1,2	3	14	475
JFN	m	76	b	e	20,8	1,6	3	13	472
JJD	m	48	b	d	15,6	1,7	2	17	560
JJD	m	48	b	e	17,6	1,8	2	18	562
JLC	f	86	b	e	25,2	4,6	3	24	555
JLC	f	86	b	d	25,0	4,7	3	23	549
JLG	m	35	p	d	19,4	2,8	2	16	540
JLG	m	35	p	e	20,4	3,3	2	18	530
JMS	f	43	n	d	23,7	1,3	3	12	485
JMS	f	43	n	e	22,1	1,6	3	14	495
JPF	f	24	b	d	26,8	4,5	2	12	495
JPF	f	24	b	e	24,6	5,0	2	12	499
JPF	f	26	b	d	15,6	1,7	2	17	560
JPF	f	26	b	e	17,6	1,8	2	18	562
JPS	m	34	p	d	19,8	2,1	3	14	526
JPS	m	34	p	e	20,3	2,3	3	14	531

JPS	f	66	b	e	24,7	4,3	3	14	510
JPS	f	66	b	d	24,5	4,5	3	14	505
JPV	m	42	b	e	17,3	2,3	1	16	557
JPV	m	42	b	d	19,1	2,6	2	18	555
JRN	m	40	n	d	14,7	1,3	2	8	595
JRN	m	40	n	e	19,4	2,1	2	10	576
JRT	m	34	b	d	18,5	2,1	1	10	486
JRT	m	34	b	e	17,8	2,1	1	10	497
JRV	m	58	b	e	11,5	2,0	1	11	499
JRV	m	58	b	d	11,7	2,2	1	11	496
JSC	m	50	b	d	23,7	1,5	3	14	546
JSC	m	50	b	e	22,3	1,5	3	14	546
JSL	f	71	b	e	20,7	2,3	3	18	544
JSL	f	71	b	d	21,9	2,6	3	18	541
JSM	f	64	p	e	17,2	1,6	2	20	603
JSM	f	64	p	d	17,1	1,8	2	20	604
JVG	m	64	p	d	17,6	3,8	2	14	543
JVG	m	64	p	e	13,1	4,2	2	16	552
JVV	f	20	b	d	18,7	2,8	1	6	524
JVV	f	20	b	e	17,1	2,9	1	9	541
KCC	f	67	p	d	18,3	3,2	1	14	562
KCC	f	67	p	e	17,7	3,2	3	14	545
KCL	f	66	b	d	16,0	2,2	2	13	513
KCL	f	66	b	e	17,8	2,3	2	14	510
KLF	f	66	b	d	14,9	2,6	2	6	521
KLF	f	66	b	e	17,2	3,1	2	8	525
L_B	f	71	b	d	16,0	1,6	3	17	620
L_B	f	71	b	e	13,7	2,7	3	18	653
L_C	f	49	p	d	19,4	2,3	3	16	512
L_C	f	49	p	e	20,5	2,4	2	16	507

L_C	f	66	b	d	17,5	2,2	2	16	581
L_C	f	66	b	e	17,8	3,0	1	20	594
L_C	f	81	b	d	17,4	2,5	3	14	526
L_C	f	81	b	e	17,6	2,5	3	13	525
L_H	m	26	b	d	18,9	2,4	3	16	538
L_H	m	26	b	e	19,3	3,0	3	15	546
L_M	m	24	b	e	16,9	3,5	1	16	543
L_M	m	24	b	d	18,4	3,8	2	16	541
L_P	m	49	p	e	14,9	2,6	2	6	521
L_P	m	49	p	d	17,2	3,1	2	8	525
LAD	f	50	p	d	23,7	2,2	3	22	629
LAD	f	50	p	e	25,6	2,6	3	24	638
LAS	m	33	p	d	23,7	1,5	3	14	546
LAS	m	33	p	e	22,3	1,5	3	14	546
LBD	f	50	p	d	15,5	0,8	2	9	526
LBD	f	50	p	e	14,4	1,0	2	8	538
LBL	m	63	b	e	17,2	2,2	1	16	544
LBL	m	63	b	d	17,4	2,8	2	16	542
LCF	f	38	b	d	22,9	5,6	1	16	567
LCF	f	38	b	e	27,8	5,8	2	18	577
LDG	f	72	b	e	16,0	1,9	1	8	539
LDG	f	72	b	d	18,5	2,4	2	10	535
LDS	f	50	p	d	13,1	1,7	1	10	524
LDS	f	50	p	e	13,7	1,7	1	10	528
LES	f	43	b	d	17,7	2,4	2	14	540
LES	f	43	b	e	19,4	3,0	2	16	543
LFC	m	27	b	e	21,3	2,9	2	16	602
LFC	m	27	b	d	21,9	4,5	1	18	589
LHB	f	71	b	d	15,2	2,2	3	12	531
LHB	f	71	b	e	13,8	2,8	3	12	532

LIC	f	38	b	d	16,7	1,8	2	16	531
LIC	f	38	b	e	18,3	2,6	2	15	530
LMI	f	27	a	e	24,4	3,2	2	18	598
LMI	f	27	a	d	17,3	3,4	2	21	611
LMS	f	55	p	e	18,9	2,7	2	14	547
LMS	f	55	p	d	19,2	2,9	1	14	536
LPA	f	53	b	d	14,6	2,2	2	12	530
LPA	f	53	b	e	16,0	2,6	1	12	516
LPS	f	48	b	d	11,5	2,0	1	11	499
LPS	f	48	b	e	11,6	2,2	1	11	496
LRB	f	83	b	e	12,7	1,6	3	8	527
LRB	f	83	b	d	14,3	3,5	2	9	520
LRP	f	59	b	d	19,2	1,6	3	18	580
LRP	f	59	b	e	19,3	2,5	3	18	579
LSA	f	43	b	d	14,9	1,8	1	12	541
LSA	f	43	b	e	16,4	2,2	1	14	540
LSF	f	73	b	e	14,9	1,8	1	12	540
LSF	f	73	b	d	16,4	2,2	1	14	541
LSP	f	54	b	d	19,7	4,4	1	10	516
LSP	f	54	b	e	20,9	4,8	1	11	518
LVL	f	50	p	d	14,6	2,0	1	10	483
LVL	f	50	p	e	14,0	2,3	1	10	483
M_A	f	59	b	d	14,7	2,9	1	15	485
M_A	f	59	b	e	16,8	2,9	2	15	490
M_F	m	75	p	e	17,0	3,1	1	14	556
M_F	m	75	p	d	19,6	3,6	1	16	562
M_M	f	38	b	d	22,8	1,5	2	18	503
M_M	f	38	b	e	20,1	1,8	3	18	511
M_R	f	36	b	d	13,6	0,7	3	11	529
M_R	f	36	b	e	14,9	1,1	2	8	528

M_T	f	38	b	d	21,6	3,1	1	18	494
M_T	f	38	b	e	22,0	3,4	1	16	492
MAG	f	28	b	d	23,4	3,1	2	22	599
MAG	f	28	b	e	23,6	3,7	1	22	590
MAG	f	43	p	e	19,1	2,9	1	16	555
MAG	f	43	p	d	17,0	3,1	3	15	550
MAM	f	38	b	d	16,5	2,1	2	14	531
MAM	f	38	b	e	15,7	2,5	2	16	530
MAM	f	54	p	d	15,4	2,2	1	13	560
MAM	f	54	p	e	17,0	2,3	3	12	553
MAR	f	51	n	d	19,4	2,8	2	16	544
MAR	f	51	n	e	20,4	3,3	2	18	532
MAS	f	29	b	d	17,2	2,7	1	14	518
MAS	f	29	b	e	16,7	3,6	3	16	520
MAS	f	32	n	d	13,7	1,5	1	11	461
MAS	f	32	n	e	14,2	1,7	1	10	462
MBM	f	35	b	e	13,8	3,0	1	9	508
MBM	f	35	b	d	15,7	3,4	1	9	503
MBO	m	66	p	d	18,4	1,9	2	13	550
MBO	m	66	p	e	17,7	2,0	1	14	562
MDP	f	40	b	d	18,9	2,7	2	14	547
MDP	f	40	b	e	19,2	2,9	1	14	536
MDS	m	40	n	e	16,2	1,4	3	22	613
MDS	m	40	n	d	18,5	1,6	2	20	607
MDS	f	46	b	e	14,6	2,7	1	14	528
MDS	f	46	b	d	19,9	3,2	2	16	530
MEJ	f	42	p	d	18,1	1,3	3	14	570
MEJ	f	42	p	e	16,8	1,4	3	14	569
MES	m	37	n	e	22,8	2,5	1	16	537
MES	m	37	n	d	23,4	2,7	1	18	530

MES	f	46	b	e	14,0	2,7	1	16	562
MES	f	46	b	d	15,6	3,5	1	16	557
MFR	f	75	b	e	15,7	1,2	1	15	526
MFR	f	75	b	d	16,4	1,4	3	14	525
MFT	f	68	b	d	17,1	3,2	2	20	603
MFT	f	68	b	e	18,6	3,4	2	22	615
MGA	f	27	b	d	18,8	3,1	2	9	477
MGA	f	27	b	e	20,9	3,4	3	10	472
MGC	m	56	p	e	20,6	3,0	1	18	510
MGC	m	56	p	d	21,0	3,4	1	16	507
MGC	f	67	p	d	16,2	1,4	2	14	526
MGC	f	67	p	e	15,7	1,6	3	12	515
MHP	f	40	n	d	23,2	2,4	3	12	517
MHP	f	40	n	e	20,9	2,8	2	11	511
MHV	f	46	p	e	15,9	3,1	2	10	557
MHV	f	46	p	d	15,5	3,4	3	10	551
MJR	m	72	p	d	20,0	0,6	3	11	535
MJR	m	72	p	e	16,2	0,6	3	11	522
MJS	m	48	b	e	19,8	2,1	3	14	526
MJS	m	48	b	d	20,3	2,3	3	14	531
MKT	m	31	p	d	23,7	2,5	3	22	590
MKT	m	31	p	e	23,4	2,8	2	20	571
MLG	f	58	b	e	12,4	0,6	2	10	479
MLG	f	58	b	d	14,6	0,8	2	12	486
MLR	f	55	b	e	18,1	1,3	3	14	570
MLR	f	55	b	d	16,8	1,4	3	14	569
MLS	f	43	p	d	23,7	4,4	3	12	508
MLS	f	43	p	e	21,0	4,7	1	12	516
MLS	f	48	p	d	18,5	2,1	1	10	486
MLS	f	48	p	e	17,8	2,1	1	10	497

MLS	f	52	p	e	11,5	2,0	1	11	499
MLS	f	52	p	d	11,6	2,2	1	11	496
MLS	f	63	b	d	22,5	2,1	3	16	522
MLS	f	63	b	e	20,0	2,8	3	16	511
MMF	f	31	b	d	17,0	3,9	1	14	551
MMF	f	31	b	e	19,7	4,5	1	14	555
MMM	f	36	p	d	14,2	2,3	2	14	515
MMM	f	36	p	e	16,3	2,4	2	14	520
MMR	f	30	b	d	20,6	3,0	1	18	510
MMR	f	30	b	e	21,0	3,4	1	16	507
MMS	f	32	b	d	22,1	1,8	1	18	563
MMS	f	32	b	e	22,9	2,6	3	17	592
MMS	f	54	b	d	19,8	3,7	2	19	525
MMS	f	54	b	e	20,7	3,8	2	20	508
MNS	m	52	p	e	14,9	1,8	1	12	541
MNS	m	52	p	d	16,4	2,2	1	14	540
MOB	f	51	b	d	13,1	1,7	1	10	524
MOB	f	51	b	e	13,7	1,7	1	10	528
MOS	m	37	p	d	18,8	3,3	2	12	496
MOS	m	37	p	e	16,8	3,9	2	10	488
MPR	f	34	b	d	15,6	1,5	2	16	560
MPR	f	34	b	e	17,6	1,6	3	15	567
MPR	f	67	p	d	17,6	5,5	1	9	535
MPR	f	67	p	e	20,9	7,2	1	11	541
MPS	f	55	b	e	18,8	3,1	2	9	477
MPS	f	55	b	d	20,9	3,4	3	10	472
MPS	f	60	b	d	16,1	1,6	1	14	506
MPS	f	60	b	e	15,6	1,8	1	15	503
MRA	f	23	b	d	13,8	4,0	1	11	489
MRA	f	23	b	e	16,8	4,7	2	10	498

MRD	f	40	n	d	16,0	2,2	2	13	513
MRD	f	40	n	e	17,8	2,2	2	14	512
MRS	f	42	p	d	13,2	1,2	2	12	552
MRS	f	42	p	e	12,1	1,4	1	12	550
MRT	f	59	b	d	11,5	2,0	1	11	499
MRT	f	59	b	e	11,7	2,2	1	11	496
MRT	m	76	p	d	12,4	0,6	2	10	479
MRT	m	76	p	e	14,6	0,8	2	12	486
MSB	f	40	p	d	17,6	3,0	1	10	552
MSB	f	40	p	e	21,0	3,2	1	9	549
MSF	f	31	b	d	19,2	1,6	3	18	580
MSF	f	31	b	e	19,3	2,5	3	18	579
MSL	f	53	p	d	22,8	1,5	2	18	503
MSL	f	53	p	e	20,1	1,8	3	18	511
MSS	f	62	b	d	13,6	2,2	1	12	537
MSS	f	62	b	e	13,3	2,4	1	12	558
MVM	m	24	b	e	15,7	3,7	2	12	558
MVM	m	24	b	d	16,7	4,5	1	11	563
MXV	f	43	p	d	20,2	2,2	3	17	521
MXV	f	43	p	e	18,3	2,6	3	16	515
N_A	f	61	b	d	14,4	1,2	3	6	581
N_A	f	61	b	e	15,1	2,2	3	6	589
N_M	m	56	b	e	22,1	1,8	1	18	563
N_M	m	56	b	d	22,9	2,6	3	17	592
N_M	f	61	b	d	19,6	2,8	2	14	512
N_M	f	61	b	e	17,8	3,2	1	14	506
N_P	m	63	b	d	15,7	1,5	1	8	530
N_P	m	63	b	e	16,8	1,7	1	9	543
N_R	f	60	b	d	16,7	1,2	3	10	498
N_R	f	60	b	e	16,1	1,3	2	10	492

N_S	m	69	n	e	17,6	2,3	2	14	536
N_S	m	69	n	d	17,4	2,5	2	14	526
N_Z	f	60	b	d	21,3	2,9	2	16	592
N_Z	f	60	b	e	21,9	4,5	1	18	589
NAM	f	61	b	d	15,7	2,9	1	16	500
NAM	f	61	b	e	17,8	2,9	1	16	503
NAO	f	67	b	d	15,2	1,6	2	16	565
NAO	f	67	b	e	16,4	2,1	2	17	563
NBT	f	40	n	d	14,2	2,1	2	16	565
NBT	f	40	n	e	15,3	3,2	2	17	562
NCC	f	67	p	d	13,7	1,5	1	11	461
NCC	f	67	p	e	14,2	1,7	1	10	462
NDP	f	31	b	d	13,6	2,2	1	12	537
NDP	f	31	b	e	13,3	2,4	1	12	558
NHS	f	46	b	e	14,9	3,1	1	14	551
NHS	f	46	b	d	16,6	3,2	2	14	554
NPA	f	43	b	d	19,8	4,1	1	16	595
NPA	f	43	b	e	17,0	4,5	2	14	595
NPS	f	44	b	d	18,9	1,8	3	12	551
NPS	f	44	b	e	18,4	2,3	3	12	557
NRO	m	54	b	e	15,4	2,2	1	13	560
NRO	m	54	b	d	17,0	2,3	3	12	553
NSC	f	26	b	d	17,2	2,2	1	16	544
NSC	f	26	b	e	17,4	2,8	2	16	542
NSM	f	44	b	e	19,4	2,3	3	16	512
NSM	f	44	b	d	20,5	2,4	2	16	507
NVL	f	31	b	d	22,5	2,1	3	16	522
NVL	f	31	b	e	20,0	2,8	3	16	511
O_B	m	63	b	d	17,0	2,3	3	10	556
O_B	m	63	b	e	15,9	2,4	1	11	564

OJA	m	71	p	d	18,9	2,4	3	16	537
OJA	m	71	p	e	19,3	3,0	3	15	547
OSC	f	71	b	d	19,5	2,8	2	13	557
OSC	f	71	b	e	19,7	3,3	3	13	550
P_M	m	57	p	e	17,6	5,5	1	9	535
P_M	m	57	p	d	20,9	7,2	1	11	541
PEC	m	39	b	d	19,2	2,3	2	18	565
PEC	m	39	b	e	17,3	2,6	2	18	563
PRS	m	76	p	d	15,7	1,5	1	8	530
PRS	m	76	p	e	16,8	1,7	1	9	543
PRT	m	37	p	d	17,0	2,3	3	10	556
PRT	m	37	p	e	15,9	2,4	1	11	564
PST	m	42	b	d	14,2	2,3	2	14	520
PST	m	42	b	e	16,3	2,4	2	14	526
R_A	m	31	b	d	18,0	2,0	2	16	511
R_A	m	31	b	e	18,4	2,0	3	16	516
R_C	f	28	p	d	14,9	1,7	3	10	545
R_C	f	28	p	e	15,6	1,8	3	10	546
R_D	f	51	b	d	15,7	1,2	1	13	558
R_D	f	51	b	e	19,3	2,1	2	14	560
R_F	f	51	b	d	15,2	3,5	1	10	505
R_F	f	51	b	e	15,4	3,9	1	10	505
R_P	f	27	b	d	17,2	1,6	2	20	603
R_P	f	27	b	e	17,1	1,8	2	20	604
RAD	f	54	n	d	17,6	3,8	2	14	543
RAD	f	54	n	e	13,1	4,2	2	16	552
RAS	f	33	p	e	15,1	1,6	2	8	540
RAS	f	33	p	d	18,2	2,5	2	10	552
RBM	f	52	n	d	19,7	4,4	1	10	516
RBM	f	52	n	e	20,9	4,8	1	11	518

RBS	m	43	a	e	17,7	2,6	2	19	582
RBS	m	43	a	d	19,4	3,3	1	20	574
RCF	f	51	n	d	19,8	1,7	3	16	547
RCF	f	51	n	e	22,4	2,2	3	20	554
RCN	f	67	p	d	18,9	3,6	1	12	494
RCN	f	67	p	e	16,9	4,1	1	10	487
RCS	f	42	b	e	20,7	2,6	1	14	526
RCS	f	42	b	d	20,2	5,7	3	14	535
RDC	f	51	n	d	19,6	2,8	2	14	513
RDC	f	51	n	e	17,8	3,1	1	14	507
RFF	f	42	p	d	19,6	4,2	1	11	483
RFF	f	42	p	e	17,0	4,2	1	10	484
RFR	f	39	b	d	16,7	3,2	2	12	543
RFR	f	39	b	e	17,8	4,2	2	14	562
RFS	f	37	b	d	24,7	4,3	3	14	510
RFS	f	37	b	e	24,5	4,5	3	14	505
RFS	f	67	n	e	17,1	2,0	1	16	540
RFS	f	67	n	d	16,2	2,3	1	16	532
RGA	f	55	n	d	18,4	1,9	2	13	550
RGA	f	55	n	e	17,7	2,0	1	14	562
RGD	f	55	b	d	13,2	1,2	2	12	552
RGD	f	55	b	e	12,1	1,4	1	12	550
RGM	m	29	b	e	20,1	2,9	1	16	553
RGM	m	29	b	d	17,0	3,1	3	15	553
RGS	f	32	b	d	14,8	4,1	3	14	566
RGS	f	32	b	e	12,7	5,9	3	16	567
RMC	f	27	b	d	20,4	2,2	1	18	514
RMC	f	27	b	e	22,7	2,7	3	19	510
ROD	f	52	b	d	16,2	1,4	2	14	526
ROD	f	52	b	e	15,7	1,6	3	12	515

RPS	f	44	b	d	15,2	1,6	2	16	565
RPS	f	44	b	e	16,4	2,1	2	17	563
RPS	f	46	n	e	19,9	5,7	1	20	578
RPS	f	46	n	d	20,3	6,6	1	16	572
RRB	f	35	p	d	17,1	2,0	1	16	540
RRB	f	35	p	e	16,2	2,3	1	16	532
RRD	f	41	p	d	20,7	2,1	3	16	544
RRD	f	41	p	e	21,9	2,6	3	18	541
RRM	m	77	p	d	21,8	1,5	2	18	561
RRM	m	77	p	e	20,2	1,6	2	18	570
RRM	m	79	b	e	17,8	2,3	2	19	581
RRM	m	79	b	d	19,3	3,2	1	20	573
RRS	f	40	p	d	21,1	3,1	3	20	599
RRS	f	40	p	e	20,2	3,1	3	20	603
RSG	f	63	b	d	17,1	3,2	2	20	603
RSG	f	63	b	e	18,6	3,4	2	22	615
RSM	f	38	b	d	24,4	3,5	2	20	511
RSM	f	38	b	e	21,0	3,6	3	20	515
RTA	m	72	p	d	16,8	1,0	3	10	498
RTA	m	72	p	e	16,0	1,3	3	10	492
RTC	m	28	b	d	14,8	1,4	1	10	536
RTC	m	28	b	e	14,1	1,4	2	10	547
RVM	f	26	b	d	17,6	2,3	2	14	536
RVM	f	26	b	e	17,4	2,5	2	14	526
RVS	f	35	p	d	13,2	1,6	2	12	501
RVS	f	35	p	e	13,2	2,4	3	12	501
RWA	m	34	b	d	20,7	2,3	3	18	544
RWA	m	34	b	e	21,9	2,6	3	18	541
S_A	f	61	b	d	18,9	2,4	3	16	537
S_A	f	61	b	e	19,3	3,0	3	15	547

S_C	f	51	b	e	17,7	2,4	2	14	540
S_C	f	51	b	d	19,4	3,0	2	16	543
S_S	f	31	b	e	13,7	1,4	1	6	482
S_S	f	31	b	d	14,0	1,5	2	5	493
S_V	f	34	b	d	19,5	2,8	2	13	557
S_V	f	34	b	e	19,7	3,3	3	13	550
SAA	f	31	b	d	15,9	3,4	3	8	483
SAA	f	31	b	e	16,3	3,6	2	10	492
SAP	f	44	b	d	17,5	2,2	2	12	537
SAP	f	44	b	e	20,5	2,5	3	12	527
SAS	f	56	n	e	19,8	3,7	2	19	525
SAS	f	56	n	d	20,7	3,8	2	20	508
SBM	m	65	p	d	19,6	2,8	2	14	513
SBM	m	65	p	e	17,8	3,1	1	14	507
SBR	f	44	b	e	19,0	3,2	1	12	528
SBR	f	44	b	d	22,6	3,7	1	17	525
SBS	f	27	b	d	16,0	1,9	1	8	539
SBS	f	27	b	e	18,5	2,4	2	10	535
SCM	f	71	b	d	18,8	1,7	3	15	533
SCM	f	71	b	e	16,1	1,8	3	14	520
SLS	f	52	p	d	14,9	1,8	1	12	540
SLS	f	52	p	e	16,4	2,2	1	14	541
SNS	f	28	b	d	13,2	1,6	2	12	501
SNS	f	28	b	e	13,2	3,0	2	12	502
SNS	f	28	b	d	14,8	1,4	1	10	536
SNS	f	28	b	e	14,1	1,4	2	10	547
SRS	m	38	b	e	17,1	1,5	2	20	606
SRS	m	38	b	d	17,1	1,8	2	20	603
SRS	f	52	p	d	19,2	1,6	3	18	590
SRS	f	52	p	e	20,3	2,5	3	18	593

SRS	f	54	b	e	19,4	2,8	2	16	544
SRS	f	54	b	d	20,4	3,3	2	18	532
SSM	f	27	b	d	14,7	0,7	3	10	479
SSM	f	27	b	e	11,4	0,7	3	10	497
SSS	f	67	p	d	17,0	3,1	1	14	556
SSS	f	67	p	e	19,6	3,6	1	16	562
TAL	f	51	b	d	15,2	2,2	3	12	531
TAL	f	51	b	e	13,8	2,8	3	12	532
TCO	f	52	b	d	14,6	2,0	1	10	483
TCO	f	52	b	e	14,0	2,3	1	10	483
TDS	f	48	b	d	18,7	2,8	1	6	524
TDS	f	48	b	e	17,1	2,9	1	9	541
TFD	f	23	b	e	14,3	2,0	3	11	503
TFD	f	23	b	d	13,5	3,6	1	10	495
TFP	f	62	b	d	15,7	1,2	1	15	526
TFP	f	62	b	e	16,4	1,4	3	14	525
TGL	m	27	b	e	15,9	1,9	1	16	607
TGL	m	27	b	d	16,3	2,6	3	15	594
TLS	f	52	b	d	16,4	1,8	2	16	532
TLS	f	52	b	e	18,3	2,6	2	14	528
TSS	f	29	p	d	12,1	5,4	1	12	548
TSS	f	29	p	e	17,4	6,5	1	12	546
V_V	f	25	b	e	15,8	1,5	3	12	559
V_V	f	25	b	d	19,4	2,2	3	14	560
VBF	f	68	b	d	24,4	3,5	2	20	511
VBF	f	68	b	e	21,0	3,6	3	20	515
VGW	f	74	b	d	19,2	1,6	3	18	590
VGW	f	74	b	e	20,3	2,5	3	18	593
VLM	f	43	p	e	17,8	3,0	1	15	496
VLM	f	43	p	d	19,6	3,2	2	15	494

VLS	f	39	b	e	16,1	2,1	3	10	577
VLS	f	39	b	d	18,6	2,8	1	9	582
VPC	m	41	b	e	14,1	1,7	1	14	556
VPC	m	41	b	d	15,3	2,4	3	12	550
VRS	f	27	p	d	21,4	1,2	3	14	475
VRS	f	27	p	e	20,8	1,6	3	13	472
VRS	m	40	p	e	17,2	2,1	1	7	533
VRS	m	40	p	d	19,2	2,3	2	9	528
VSS	f	62	n	d	13,9	3,6	1	16	605
VSS	f	62	n	e	15,2	4,1	1	16	592
WAP	m	73	p	d	21,8	1,5	2	18	561
WAP	m	73	p	e	20,2	1,6	2	18	570
WTJ	m	34	p	d	22,4	2,6	1	8	525
WTJ	m	34	p	e	15,2	3,4	1	8	524
XAR	m	34	p	d	15,7	1,9	1	10	514
XAR	m	34	p	e	15,3	2,1	1	10	509
YCP	f	52	p	d	17,8	2,3	2	19	581
YCP	f	52	p	e	19,3	3,2	1	20	573
YPS	f	52	p	d	17,4	2,5	3	14	526
YPS	f	52	p	e	17,6	2,5	3	13	525
ZRM	f	63	b	d	12,7	1,6	3	8	527
ZRM	f	63	b	e	14,3	3,5	2	9	520
ZSP	f	74	b	d	14,7	0,7	3	10	479
ZSP	f	74	b	e	11,4	0,7	3	10	497
ZVF	f	53	b	d	25,2	4,6	3	24	555
ZVF	f	53	b	e	25,0	4,7	3	23	549
TFL	m	52	b	d	17,4	2,3	2	12	475
TFL	m	52	b	e	16,4	2,1	3	14	483
MLJ	m	39	b	d	13,5	1,5	3	6	505
MLJ	m	39	b	e	12,6	1,5	2	5	513

MCR	f	49	p	d	21,7	3,0	1	13	506
MCR	f	49	p	e	21,2	3,5	1	11	515
EMP	f	51	p	d	14,8	1,4	1	6	529
EMP	f	51	p	e	13,6	1,2	2	6	528
OAC	f	64	p	d	15,0	1,4	2	8	527
OAC	f	64	p	e	15,0	1,2	2	8	536
HES	m	45	p	d	16,8	3,6	2	12	578
HES	m	45	p	e	17,1	3,4	3	16	594
MMC	f	54	p	d	18,1	2,8	1	14	549
MMC	f	54	p	e	18,0	3,0	1	15	541
NMS	f	48	p	d	16,3	3,0	1	11	515
NMS	f	48	p	e	16,5	3,0	1	11	527
AALG	f	41	b	d	16,1	1,2	2	13	535
AALG	f	41	b	e	15,8	1,4	2	13	538
AMSB	f	36	b	d	13,8	1,5	1	12	550
AMSB	f	36	b	e	14,3	1,4	1	12	561
ACBJ	m	77	n	d	18,7	2,8	3	14	534
ACBJ	m	77	n	e	16,4	1,9	2	15	541
ALS	m	50	b	d	14,1	2,5	2	12	551
ALS	m	50	b	e	13,9	1,9	1	13	560
AML	f	20	b	d	18,4	2,3	3	15	570
AML	f	20	b	e	24,7	2,9	3	20	561
AGM	f	17	b	d	21,1	1,1	1	20	551
AGM	f	17	b	e	16,3	1,1	2	15	549
ARR	f	50	b	d	21,3	2,2	2	18	581
ARR	f	50	b	e	20,5	2,9	2	15	592
ASA	m	29	b	d	13,3	1,9	2	12	498
ASA	m	29	b	e	11	1,8	1	13	501
ARSW	m	14	b	d	13,9	1,2	1	12	591
ARSW	m	14	b	e	13,5	1,1	1	12	594

ALML	m	24	b	d	14,3	2,1	2	11	534
ALML	m	24	b	e	16,3	2,2	3	12	541
ALPSM	m	10	n	d	18,9	2,5	3	14	553
ALPSM	m	10	n	e	20,5	2,9	3	15	561
AMM	f	11	n	d	15,1	2,1	2	13	589
AMM	f	11	n	e	16,2	2,3	2	14	591
ANSC	f	28	b	d	15,3	1,3	1	12	551
ANSC	f	28	b	e	16,2	1,5	1	13	553
ACR	f	24	b	d	18,4	2,5	3	15	573
ACR	f	24	b	e	19,4	2,1	2	16	581
AAC	m	12	b	d	12,1	2,3	3	16	593
AAC	m	12	b	e	11,1	2,7	2	17	601
ACP	m	44	b	d	13,9	1,1	1	19	594
ACP	m	44	b	e	14,1	1,2	1	18	602
AAS	f	66	b	d	18,7	2,2	2	21	621
AAS	f	66	b	e	17,2	2,1	1	21	620
ALC	m	44	b	d	17,3	1,9	2	17	590
ALC	m	44	b	e	16,4	1,7	1	18	592
ACWF	m	47	b	d	17,6	1,4	2	19	617
ACWF	m	47	b	e	16,5	1,1	1	20	612
AJC	m	67	n	d	18,5	1,8	2	21	585
AJC	m	67	n	e	23,4	2,8	3	20	578
AJMP	m	32	b	d	19,1	1,6	2	21	591
AJMP	m	32	b	e	18,9	1,8	2	20	594
APA	f	70	b	d	21,1	2,1	1	21	567
APA	f	70	b	e	22,3	2,3	2	21	564
AR	f	76	b	d	19,1	1,7	2	22	585
AR	f	76	b	e	18,8	1,8	2	23	584
AB	m	81	b	d	21,1	1,7	1	19	576
AB	m	81	b	e	19,8	1,9	1	19	569

ABJ	m	43	b	d	15	1,3	1	16	598
ABJ	m	43	b	e	14,8	0,9	1	14	595
BMH	f	26	b	d	12,3	1,7	2	21	601
BMH	f	26	b	e	13,4	1,9	1	22	600
BOS	m	55	b	d	25,7	3,2	3	21	565
BOS	m	55	b	e	26,8	3,9	3	23	571
BSM	m	40	b	d	21,2	1,8	1	19	578
BSM	m	40	b	e	23,5	2,1	2	18	569
BLSM	m	7	b	d	15,7	1,1	1	14	564
BLSM	m	7	b	e	14,2	1,3	1	14	561
CUM	m	20	b	d	14,5	1,5	2	13	555
CUM	m	20	b	e	15,6	1,9	1	13	552
CMBC	m	44	b	d	16,1	2,1	2	18	598
CMBC	m	44	b	e	15,4	2,3	2	19	596
CEBR	m	29	b	d	16,1	1,3	1	16	555
CEBR	m	29	b	e	17	1,7	2	15	551
CRSR	m	51	b	d	19,3	1,4	2	17	589
CRSR	m	51	b	e	20,3	2,1	3	18	587
CNF	f	22	o	d	14	1,2	1	16	599
CNF	f	22	o	e	13,5	1,3	1	16	595
CAR	m	40	b	d	17,5	1,8	1	19	587
CAR	m	40	b	e	18,1	2,1	1	20	583
CMH	m	29	b	d	16,3	1,4	1	17	594
CMH	m	29	b	e	15,3	1,2	1	18	594
CPS	f	31	b	d	18,9	2,4	3	16	534
CPS	f	31	b	e	20,6	2,9	3	15	541
DCFS	m	61	b	d	20,1	1,5	2	19	521
DCFS	m	61	b	e	22,8	2,5	2	18	519
DCBB	f	30	n	d	18,6	2,8	3	14	534
DCBB	f	30	n	e	22,5	3,1	3	14	540

DI	m	12	b	d	14,8	1,9	2	12	539
DI	m	12	b	e	15,1	1,8	2	12	534
DAC	m	74	b	d	23,7	2,7	3	19	533
DAC	m	74	b	e	24,5	2,9	3	19	540
DRJ	f	10	b	d	13,1	1,1	1	17	586
DRJ	f	10	b	e	12,9	1,1	1	18	590
DAB	f	14	b	d	14,1	1,4	2	19	567
DAB	f	14	b	e	14,5	1,7	2	19	566
DJF	m	16	b	d	16,7	1,5	1	18	587
DJF	m	16	b	e	15,9	1,8	1	17	585
DAF	m	51	b	d	23,5	3,1	3	19	567
DAF	m	51	b	e	25,6	3,4	3	20	556
DM	f	36	b	d	19,2	2,6	2	16	554
DM	f	36	b	e	18,9	2,1	2	15	548
ERL	m	21	b	d	19,1	1,9	2	17	534
ERL	m	21	b	e	18,9	1,5	2	17	532
ECSC	f	31	b	d	15,1	1,3	1	14	541
ECSC	f	31	b	e	15,4	1,3	1	14	548
EARB	f	46	b	d	19,4	2,3	2	18	523
EARB	f	46	b	e	18,9	2,4	2	16	531
EMB	f	30	b	d	17,9	1,7	2	15	523
EMB	f	30	b	e	18,7	2,1	3	16	524
ESC	f	33	n	d	21,4	2,5	3	18	544
ESC	f	33	n	e	22,3	2,9	3	18	534
ECMM	m	51	b	d	19,1	1,1	1	21	623
ECMM	m	51	b	e	18,7	1,1	1	22	614
EFM	f	51	b	d	24,7	2,1	2	23	588
EFM	f	51	b	e	25,1	2,2	2	22	592
FOB	m	27	b	d	16,1	1,3	2	14	544
FOB	m	27	b	e	17,3	2,5	3	14	542

FAS	m	21	b	d	14,1	1,1	1	14	555
FAS	m	21	b	e	16,1	1,8	2	14	554
FSG	f	76	b	d	19,4	1,7	2	21	599
FSG	f	76	b	e	16,7	1,6	2	18	589
GBR	m	11	b	d	10	1,9	1	12	578
GBR	m	11	b	e	9,3	1,9	1	12	588
GMR	m	66	b	d	16,7	1,7	1	18	597
GMR	m	66	b	e	15,7	1,3	1	18	598
GBD	f	65	b	d	21,4	2,9	3	16	566
GBD	f	65	b	e	24,1	3,1	3	16	555
GV	m	21	b	d	12,3	1,9	1	15	567
GV	m	21	b	e	11,9	1,7	1	15	579
GCS	m	23	b	d	16,7	1,8	2	14	588
GCS	m	23	b	e	17,1	2,1	3	14	589
GOB	m	17	b	d	18,1	1,6	1	15	598
GOB	m	17	b	e	19,7	2,7	3	14	598
HNT	f	55	b	d	16,7	1,3	1	15	523
HNT	f	55	b	e	18,9	2,7	3	14	534
HAG	f	69	b	d	21,3	1,7	2	17	588
HAG	f	69	b	e	24,7	3,1	3	18	599
IAAR	f	64	n	d	16,7	0,9	1	16	567
IAAR	f	64	n	e	17,1	1,1	1	16	578
IGS	m	45	b	d	19,2	2,6	2	16	576
IGS	m	45	b	e	18,7	1,8	1	16	598
ICSG	m	24	b	d	11,3	1,2	1	21	623
ICSG	m	24	b	e	13,4	1,2	1	21	624
JAF	m	53	b	d	21,3	1,3	1	20	576
JAF	m	53	b	e	22,3	1,4	1	20	578
JCMV	m	35	b	d	17,5	1,9	2	16	567
JCMV	m	35	b	e	18,1	1,7	1	16	569

JC	f	18	b	d	16,7	0,8	1	16	588
JC	f	18	b	e	18,9	1,9	3	16	589
JAS	f	67	b	d	19,1	1,9	2	15	587
JAS	f	67	b	e	17,1	1,2	1	14	589
JDL	m	46	b	d	14,3	1,9	2	16	599
JDL	m	46	b	e	13,9	1,7	1	16	597
JMC	m	39	b	d	15,9	1,6	1	16	587
JMC	m	39	b	e	14,3	1,1	1	16	598
JVL	m	34	b	d	17,1	1,5	2	14	567
JVL	m	34	b	e	16,1	1,7	1	15	578
JOE	m	65	b	d	16,5	1,6	2	18	598
JOE	m	65	b	e	19,1	2,3	3	18	597
KMPFA	f	34	b	d	15,6	1,2	1	15	543
KMPFA	f	34	b	e	14,1	1,2	1	14	533
LC	f	33	b	d	12,1	1,1	1	12	534
LC	f	33	b	e	11,9	1,1	1	12	534
LC	m	15	b	d	9	0,9	1	12	599
LC	m	15	b	e	8,4	1,4	1	12	597
LVO	m	23	b	d	12,6	1,9	2	14	587
LVO	m	23	b	e	11,9	1,8	1	14	598
LAC	m	46	b	d	19,7	2,3	2	16	567
LAC	m	46	b	e	18,7	2,4	3	16	568
LMSV	f	50	b	d	19,3	1,4	1	17	566
LMSV	f	50	b	e	24,5	3,1	3	18	567
LCP	f	31	b	d	14,9	1,3	2	15	544
LCP	f	31	b	e	13,1	1,1	1	15	546
LSA	f	17	b	d	11,2	1,7	2	14	555
LSA	f	17	b	e	11,6	1,7	1	14	554
LCBS	m	39	b	d	18,9	2,3	3	15	587
LCBS	m	39	b	e	19,3	2,7	3	15	567

LAM	m	41	n	d	18,9	1,5	2	16	543
LAM	m	41	n	e	16,7	1,2	2	17	545
MCM	m	55	b	d	18,7	1,5	1	22	589
MCM	m	55	b	e	17,9	1,5	1	22	591
MCSS	f	38	b	d	14,5	1,1	1	16	593
MCSS	f	38	b	e	15,3	1,2	1	16	592
MAS	m	46	b	d	23,1	2,8	3	18	564
MAS	m	46	b	e	24,1	3,7	3	18	563
MAM	f	72	b	d	25,6	4,1	3	21	523
MAM	f	72	b	e	23,4	2,1	2	22	524
MGRS	m	62	b	d	17,1	1,4	2	19	591
MGRS	m	62	b	e	18,9	1,2	1	19	589
MPS	f	42	b	d	14,5	1,7	1	14	564
MPS	f	42	b	e	15,7	1,7	1	14	576
MAS	m	47	o	d	13,6	1,3	2	16	523
MAS	m	47	o	e	12,3	1	1	16	534
NAVF	f	65	b	d	17,9	2,1	1	14	544
NAVF	f	65	b	e	18,9	2,6	2	14	534
PMCV	f	29	b	d	17,8	1,2	1	15	568
PMCV	f	29	b	e	18,1	1,2	1	15	567
RAP	f	41	b	d	20,4	3,4	3	18	543
RAP	f	41	b	e	21,3	4,1	3	18	544
RMA	f	43	b	d	14,7	1,3	1	20	601
RMA	f	43	b	e	15,6	1,3	1	20	603
RCC	f	41	b	d	17,9	2,1	2	15	523
RCC	f	41	b	e	18,3	2,3	2	15	524
RCB	m	28	b	d	13,1	1,7	1	14	598
RCB	m	28	b	e	12,9	1,7	1	14	597
RBP	f	32	b	d	15,6	1,5	1	13	564
RBP	f	32	b	e	16,1	1,7	1	13	567

RAG	f	37	b	d	21,3	1,9	2	17	588
RAG	f	37	b	e	22,3	2,1	2	17	587
SCJ	m	47	b	d	23,4	3,4	3	16	534
SCJ	m	47	b	e	21,3	2,9	3	16	545
SCR	m	52	b	d	15,7	1,3	1	19	596
SCR	m	52	b	e	16,2	1,3	1	20	597
SMF	f	57	b	d	22,3	2,1	2	21	555
SMF	f	57	b	e	23,1	2,4	2	21	559
TML	f	20	b	d	18,9	3,9	3	12	534
TML	f	20	b	e	19,2	3,1	3	12	541
VPF	m	79	n	d	14,3	1,3	1	19	634
VPF	m	79	n	e	15,2	1,5	2	18	628

Influence of age, central corneal thickness, and quality score on dynamic contour tonometry

MLS Jordão^{1,2}, A Pedrosa de Carvalho Lupinacci¹,
EL Ferreira¹, UF Enomoto³ and VP Costa^{1,3}

Abstract

Aims To compare the IOP measurements obtained with dynamic contour tonometry (DCT) and Goldmann applanation tonometry (GAT), and to analyse the influence of central corneal thickness (CCT) and age on both measurements, and the influence of the quality score on DCT readings.

Methods A total of 500 healthy subjects with no prior history of glaucoma or ocular hypertension (age: 7–86 years) were consecutively recruited. GAT, DCT, and CCT measurements were obtained from both eyes of each individual, in this order, by three observers. The mean of five CCT measurements was used for analysis. DCT measurements were accepted when quality scores varied between 1 (higher quality) and 3 (lower quality).

Results Mean DCT measurements were 3.2 mmHg higher than GAT readings. CCT values varied between 449 and 653 µm. IOP measured by GAT correlated strongly with CCT ($r^2 = 0.28$, $P = < 0.001$), whereas DCT readings correlated poorly with CCT ($r^2 = 0.01$, $P = 0.017$). Both DCT ($r^2 = < 0.01$, $P = 0.044$) and GAT ($r^2 = 0.01$, $P = < 0.001$) measurements correlated poorly with age. Bland–Altman analysis revealed disagreement between DCT and GAT readings, with 95% confidence intervals of ± 6.7 mmHg. Quality scores for DCT measurements were 1 ($n = 369$, 36.9%), 2 ($n = 340$, 34.0%), and 3 ($n = 291$, 29.1%). DCT readings with quality score of 3 (18.8 ± 3.4 mmHg) were significantly higher than those with quality scores of 1 (16.7 ± 2.9 mmHg) and 2 (17.4 ± 2.9 mmHg; $P = < 0.001$).

Conclusions DCT is not influenced by CCT, unlike GAT. Both DCT and GAT measurements are not influenced by age. DCT

measurements with lower quality scores are associated with higher readings.

Eye (2009) 23, 1364–1369; doi:10.1038/eye.2008.278; published online 12 September 2008

Keywords: glaucoma; dynamic contour tonometry; Pascal; Goldmann; pachimetry; age

Introduction

Intraocular pressure (IOP) is a key component to the diagnosis and treatment of glaucoma, and Goldmann applanation tonometry (GAT; model R900, Haag-Streit, Koeniz, Switzerland) remains the gold standard for this measurement. There are, however, known sources of error that influence the measurements obtained with this method, including corneal thickness and curvature.^{1–3} IOP measured with GAT may be overestimated in ocular hypertensive individuals because of commonly observed thicker CCT,^{1–6} whereas normal tension glaucoma is reported to be associated with CCTs in the low 500-µm range.⁷

Applanation tonometry is based on the Imbert–Fick Law, which states that, in a thin, dry and perfectly elastic sphere, the force applied to flatten the sphere has the same intensity of the force promoted by internal pressure. However, the human cornea is neither uniformly elastic, nor thin, nor dry.^{8,9}

In 2005, dynamic contour tonometry (DCT) was developed as a method of tonometry that is theoretically affected neither by CCT nor by corneal curvature.^{10–13} DCT is based on a different physical principle: when the contours of the corneal surface and the tonometer match, the pressure measured at the surface of the eye is supposed to equal the pressure inside the

¹Department of Ophthalmology, State University of Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brazil

²Department of Ophthalmology, Provincial Public Hospital, São Paulo (HSP), SP, Brazil

³Department of Ophthalmology, State University of São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brazil

Correspondence: MLS Jordão, Department of Ophthalmology, Avenida Professor João Fiusa, 536, Ribeirão Preto, São Paulo, 14025-320, Brazil.
Tel: +55 16 3913 4758; Fax: +55 16 3913 4758; E-mail: jordao.marcelo@terra.com.br

Received: 30 June 2008
Accepted in revised form: 15 August 2008
Published online: 12 September 2008

The authors have no proprietary interest in the material presented in this manuscript

eye.¹⁴ DCT provides a score (Q) representing the quality of the IOP measurement, that ranges from 1 (optimum) to 5 (unacceptable).^{3,15} In studies performed on human cadaver eyes, IOP values obtained by DCT were significantly closer to the manometric reference pressure than those obtained using GAT.¹¹ Furthermore, IOP values determined by GAT before and after laser *in situ* keratomileusis (Lasik) were significantly different, whereas pre- and postoperative DCT values were found to be nearly the same.¹³

The purpose of this study was to compare the IOP measurements obtained with DCT and GAT, and to analyse the influence of CCT and age on both measurements, and the influence of the quality score on DCT readings.

Materials and methods

This prospective cross-sectional study included 500 consecutive healthy subjects, recruited among relatives of patients at the Department of Ophthalmology of the State University of Campinas and the Provincial Public Hospital of São Paulo, Brazil. This study followed the tenets of the Declaration of Helsinki and was approved by the Institutional Review Board of the University of Campinas. Written informed consent was obtained from all participants.

Inclusion criteria were patients with open angles at gonioscopy, best-corrected visual acuity of 20/40 or better OU, no history of increased IOPs, and normal optic discs, as evaluated by a clinical expert. Optic discs were considered normal in the absence of the following findings: oedema, pallor, C/D ratio > 0.5, localized rim loss, disc haemorrhage, or C/D ratio asymmetry > 0.2.

Exclusion criteria were previous intraocular surgery, refractive surgery, conjunctival or intraocular inflammation, corneal abnormalities (such as oedema or scars), glaucoma, family history of glaucoma, and history of ocular trauma.

All subjects underwent an ophthalmological examination including best-corrected visual acuity evaluation, slit-lamp examination, gonioscopy, and fundus biomicroscopy with a 90-D lens. Both eyes were selected for analysis. Central corneal thickness (CCT) was measured with ultrasonic pachimetry (Micropach 200P+, Sonomed, Lake Success, NY, USA). The pachimetry probe was placed on the centre of the cornea and the mean of five readings was used for the analysis.

The GAT was calibrated according to the manufacturer's guidelines and used at the slit lamp. The Pascal DCT instrument (SMT Swiss Microtechnology AG, Zurich, Switzerland) is a device mounted on the slit lamp and is self-calibrating. It consists of a sensor tip with a 10.5-mm radius of curvature, a concave surface, and a

miniaturized pressure sensor (1.2-mm diameter) integrated into the centre of the contact surface. A beeping sound is emitted by the device when the tip is in contact with the cornea and correctly positioned.¹⁰ The IOP measurement takes approximately 75 seconds. Only measurements with a Q-value ≤ 3 were accepted.

All measurements with GAT and DCT were taken by one of the three experienced examiners. Three readings were taken with each instrument and the mean was used for analysis. The IOP measurements were always taken first with the Goldmann tonometer, followed by DCT and CCT, after a minimum interval of 10 min between measurements.

Intermethod agreement between the tonometers was assessed using the method devised by Bland and Altman.¹⁵ Mean difference and 95% limits of agreement were calculated. Linear regression analysis was used to analyse the influence of CCT and patient age on GAT and DCT readings. To further analyse the influence of CCT on readings obtained with both instruments, we divided the eyes in five categories according to CCT: group 1: CCT $\leq 500 \mu\text{m}$; group 2: CCT from 501 to 540 μm ; group 3: CCT from 541 to 560 μm ; group 4: CCT from 561 to 600 μm ; and group 5: CCT > 600 μm . Measurements obtained with GAT and DCT were compared in each category using ANOVA.

To evaluate the influence of the quality of the measurement obtained with DCT, mean values of readings with a quality score of 1 were compared to mean values of measurements with quality scores 2 and 3 using ANOVA. Statistical analysis was performed using SPSS Version 11.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). P-values of less than 0.05 were considered statistically significant.

Results

Among the 500 healthy subjects (1000 eyes) included in this study, the mean age was 46.8 ± 16.4 years (range: 7–86 years), 324 (64.8%) were female, 170 (34.0%) were African-American, 323 (64.6%) were Caucasian, and 7 (1.4%) were Asian (patients self-defined their race).

Mean IOP measured by GAT (14.3 ± 3.7 mmHg) was significantly lower than the mean IOP measured by DCT (17.2 ± 3.2 mmHg), $P < 0.001$. There was a strong correlation between GAT and DCT measurements ($r^2 = 0.26$, $P < 0.001$), Figure 1. However, the Bland–Altman analysis revealed disagreement between DCT and GAT readings, with 95% confidence intervals of ± 7.0 mmHg, Figure 2.

Mean CCT was $543.6 \pm 35.4 \mu\text{m}$ (range: 449–653 μm). IOP measured by GAT correlated strongly with CCT ($r^2 = 0.28$, $P < 0.001$), whereas DCT readings correlated

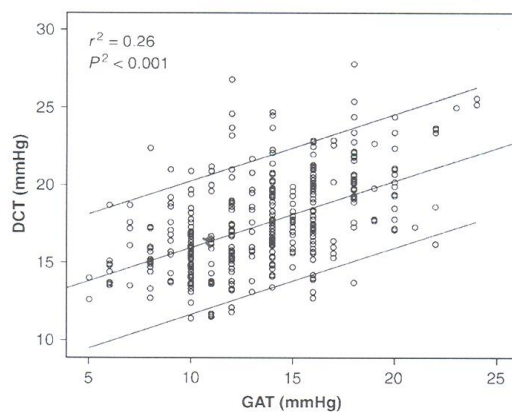


Figure 1 Scatter plot showing DCT measurements compared with GAT measurements in 500 healthy individuals. GAT = Goldmann applanation tonometry; DCT = dynamic contour tonometry.

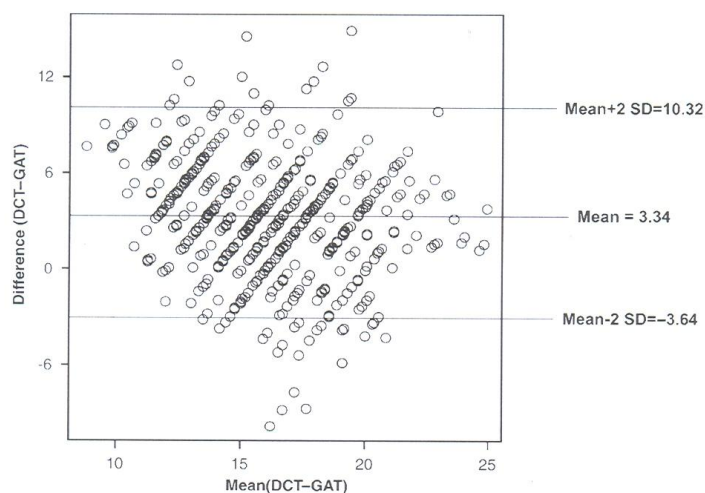


Figure 2 Bland-Altman plot of the difference between DCT and GAT readings (measurements in mmHg).

poorly with CCT ($r^2 = 0.01$, $P = 0.017$). After CCT stratification into five categories, mean DCT IOP was significantly higher than GAT ($P < 0.001$) in groups 1–4, but was significantly lower than GAT in group 5 ($P < 0.001$). Table 1. Both DCT ($r^2 = < 0.01$, $P = 0.044$) and GAT ($r^2 = 0.01$, $P = < 0.035$) measurements correlated poorly with age.

Quality scores for DCT measurements were classified as 1 ($n = 369$, 36.9%), 2 ($n = 340$, 34.0%), and 3 ($n = 291$, 29.1%). Mean IOP readings by DCT with a quality score of 3 (18.8 ± 3.3 mmHg) were significantly higher than those with quality scores of 1 (16.6 ± 2.9 mmHg) and 2 (17.4 ± 2.9 mmHg), $P < 0.001$. There were no significant differences between mean age, mean CCT, and the

Table 1 Mean DCT readings and mean GAT measurements according to CCT stratification

	CCT $\leq 500 \mu\text{m}$	501 $\leq$ CCT $\leq 540 \mu\text{m}$	541 $\leq$ CCT $\leq 560 \mu\text{m}$	561 $\leq$ CCT $\leq 600 \mu\text{m}$	CCT $> 600 \mu\text{m}$
DCT (mmHg)	16.7 $\pm$ 3.5	17.5 $\pm$ 3.0	17.47 $\pm$ 3.0	18.07 $\pm$ 3.0	17.32 $\pm$ 3.0
GAT (mmHg)	11.2 $\pm$ 2.7	13.18 $\pm$ 3.2	14.10 $\pm$ 2.9	16.30 $\pm$ 3.3	19.49 $\pm$ 2.3
Δ DCT/GAT	5.47	4.30	3.37	1.77	-2.17
P	P < 0.001	P < 0.001	P < 0.001	P < 0.001	P < 0.001

CCT – central corneal thickness; DCT – dynamic contour tonometry; GAT – Goldmann applanation tonometry.

Table 2 Mean DCT, mean age, mean CCT, gender, and race distribution according to the quality score (Q)

	Q = 1	Q = 2	Q = 3	P
DCT (mmHg)	16.6 $\pm$ 2.9	17.4 $\pm$ 2.9	18.8 $\pm$ 3.3	< 0.001
Age (years)	45.88 $\pm$ 16.43	46.79 $\pm$ 16.16	48.08 $\pm$ 16.65	0.231
CCT (μm)	543.9 $\pm$ 36.6	544.7 $\pm$ 34.3	541.9 $\pm$ 35.7	0.603
Gender (M:F)	131:238	115:225	106:185	0.784
Race (C:AA:O)	247:117:5	213:120:7	186:103:2	0.429

A – Asian; AA – African-American; C – Caucasian; CCT – central corneal thickness; DCT – dynamic contour tonometry; M – male.

gender distribution among eyes with quality scores of 1, 2, and 3. Table 2.

Discussion

There is increasing interest in developing alternative, clinically applicable tonometers that eliminate or minimize the effect of CCT when measuring IOP, especially in structurally normal thick or thin corneas and in eyes following refractive surgery.

In our series including 500 individuals, DCT measurements were a mean of 3.2 mmHg higher than GAT readings. This value appears greater than those reported previously, which varied between 0.94 and 2 mmHg.^{11,12,16,17} The tendency of DCT to give higher IOP readings compared with GAT is in good agreement with the results of a recently published study, which demonstrated that the IOP measured by applanation tonometry was 1.2–2 mmHg lower than the IOP measured manometrically in human *in vivo* eyes.¹⁸ The higher readings obtained with DCT may be expected, as DCT was calibrated against a manometrically controlled standard pressure rather than a GAT pressure reading.¹⁸

Similarly to other studies,^{13,19} we found a strong correlation between GAT and DCT IOP measurements, although the agreement between the measurements were poor according to the Bland–Altman analysis. In fact, this discrepancy is not surprising, as it is not uncommon to observe good correlation and poor agreement between different instruments measuring the same parameter.¹⁵ When we evaluate correlation, we assess the relationship

between measurements. We expect a good correlation between GAT and DCT IOP measurements, as both instruments are measuring the same parameter. When agreement is analysed, we check whether the instruments are giving the same results, which was not the case when DCT and GAT were compared. The lack of agreement between GAT and DCT was also expected, as GAT is influenced by CCT, and DCT is not.

In their meta-analysis, Doughty and Zaman¹⁹ found a chronological upward trend in the reported averages for CCT during a 30-year period that is thought to be due to the change from optical to ultrasonic measuring methods. The group-average value for CCT using optical pachymetry was 525 μm (median), compared to 544 μm (median) for ultrasonic pachymetry, which is consistent with our finding of 543 μm .^{20–24}

In our series, GAT showed a significant correlation with CCT, contrary to DCT. In accordance with other studies,^{6,11,17,25} we observed that CCT affects GAT IOP measurements. We also demonstrated that GAT measurements are lower than DCT readings in corneas with CCTs $< 600 \mu\text{m}$, but they become higher in thick corneas (CCT $> 600 \mu\text{m}$). It is expected that the mean measured IOP difference (DCT minus GAT) should, in theory, become negative in thicker corneas as GAT tends to overestimate IOP in these eyes.⁶ In agreement with our findings, Ku *et al*¹⁷ observed that Pascal DCT tended to give higher readings than GAT in thinner and normal corneas, whereas a trend for GAT measurements to be greater than those taken with Pascal DCT was noted in thicker corneas.

As previously shown by Salvat *et al*,¹⁶ our study showed that neither DCT nor GAT IOP readings were correlated with age. Interestingly, Kotecha *et al*²⁶ found that GAT–DCT differences were positively associated with age. In younger eyes, DCT readings were greater than GAT readings, but this difference reversed in older eyes. It has been suggested that age-related increase in corneal ‘stiffness’ may induce a further measurement error with GAT.²⁷ DCT measurements may be less affected by this change in corneal biomechanics.

In this study, only DCT measurements with a Q-value ≤ 3 were accepted. For the first time to our knowledge, the influence of quality scores on DCT measurements

was evaluated. Unfortunately, the manufacturer does not provide the exact algorithms involved in the calculation of the quality score or the reason for rejecting a specific IOP measurement. However, the quality score may give important information about the reliability of the measurement, which may represent an advantage of DCT over GAT. In GAT, there are several sources of error, which are not automatically evaluated by the instrument, including hypo- or hyperfluorescence of the cornea – too wide, too small, or vertically misaligned mires; or prolonged corneal contact resulting in false too low or false too high IOP estimates.²⁸ We have demonstrated that DCT readings with poor quality ($Q = 3$) may be significantly greater than better quality measurements ($Q = 1$ or 2). This finding was not explained by differences in CCT, age, race, or gender distribution (Table 2) and indicates that DCT results are influenced by the quality of the measurement.

In conclusion, this study has demonstrated that DCT measurements are not influenced by age or CCT, and tend to be higher than GAT readings in corneas with CCTs up to 600 μm . Furthermore, DCT readings with quality scores of 3 or 2 tend to be higher than better quality measurements. We suggest that DCT readings with quality scores of 3 or more should be discarded, and that the examiner should aim for a measurement with quality scores of 1.

References

- 1 Glaucoma Primário de Ângulo Aberto. *I Consenso da Sociedade Brasileira de Glaucoma*. BG Editora: São Paulo, 2001.
- 2 Weinreb RN, Khaw PT. Primary open-angle glaucoma. *Lancet* 2004; **363**: 1711–1720.
- 3 Liu J, Roberts CJ. Influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurement: quantitative analysis. *J Cataract Refract Surg* 2005; **31**: 146–155.
- 4 Heijl A, Leske MC, Bengtsson B, Hyman L, Hussein M. Reduction of intraocular pressure and glaucoma progression: results from the Early Manifest Glaucoma Trial. *Arch Ophthalmol* 2002; **120**: 1268–1279.
- 5 Kass MA, Heuer DK, Higginbotham EJ, Johnson CA, Keltner JL, Miller JP et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: a randomized trial determines that topical ocular hypotensive medication delays or prevents the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2002; **120**: 701–713; discussion 829–30.
- 6 Brandt JD, Beiser JA, Kass MA, Gordon MO. Central corneal thickness in the Ocular Hypertension Treatment Study (OHTS). *Ophthalmology* 2001; **108**: 1779–1788.
- 7 Morad Y, Sharon E, Hefetz L, Nemet P. Corneal thickness and curvature in normal-tension glaucoma. *Am J Ophthalmol* 1998; **125**: 164–168.
- 8 Goldmann H, Schmidt T. [Applanation tonometry]. *Ophthalmologica* 1957; **134**(4): 221–242.
- 9 Allingham RR, Damji KF, Freedman S, Moroi SE, Shafranov G, Shields MB. *Shield's Textbook of Glaucoma*, 5a ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2004.
- 10 Kanngiesser HE, Kniestedt C, Robert YC. Dynamic contour tonometry: presentation of a new tonometer. *J Glaucoma* 2005; **14**: 344–350.
- 11 Doyle A, Lachkar Y. Comparison of dynamic contour tonometry with goldmann applanation tonometry over a wide range of central corneal thickness. *J Glaucoma* 2005; **14**: 288–292.
- 12 Kaufmann C, Bachmann LM, Thiel MA. Comparison of dynamic contour tonometry with goldmann applanation tonometry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004; **45**: 3118–3121.
- 13 Kniestedt C, Lin S, Choe J, Bostrom A, Nee M, Stamper RL. Clinical comparison of contour and applanation tonometry and their relationship to pachymetry. *Arch Ophthalmol* 2005; **123**: 1532–1537.
- 14 Punjabi OS, Ho HK, Kniestedt C, Bostrom AG, Stamper RL, Lin SC. Intraocular pressure and ocular pulse amplitude comparisons in different types of glaucoma using dynamic contour tonometry. *Curr Eye Res* 2006; **31**(10): 851–862.
- 15 Bland J, Altman D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; **1**: 307–310.
- 16 Salvatet ML, Zeppieri M, Tosoni C, Brusini P. Comparisons between Pascal dynamic contour tonometry, the TonoPen, and Goldmann applanation tonometry in patients with glaucoma. *Acta Ophthalmol Scand* 2007; **85**: 272–279.
- 17 Ku JY, Danesh-Meyer HV, Craig JP, Gamble GD, McGhee CN. Comparison of intraocular pressure measured by Pascal dynamic contour tonometry and Goldmann applanation tonometry. *Eye* 2006; **20**: 191–198.
- 18 Kniestedt C, Nee M, Stamper RL. Dynamic contour tonometry: a comparative study on human cadaver eyes. *Arch Ophthalmol* 2004; **122**: 1287–1293.
- 19 Doughty MJ, Zaman ML. Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and meta-analysis approach. *Surv Ophthalmol* 2000; **44**: 367–408.
- 20 Bhan A, Browning AC, Shah S, Hamilton R, Dave D, Dua HS. Effect of corneal thickness on intraocular pressure measurements with the pneumotonometer, Goldmann applanation tonometer, and Tono-Pen. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002; **43**: 1389–1392.
- 21 Guntav P, Baskaran M, Vijaya L, Joseph IS, Watkins RJ, Nallapothula M et al. Effect of corneal parameters on measurements using the pulsatile ocular blood flow tonograph and Goldmann applanation tonometer. *Br J Ophthalmol* 2004; **88**: 518–522.
- 22 Shah S, Chatterjee A, Mathai M, Kelly SP, Kwartz J, Henson D et al. Relationship between corneal thickness and measured intraocular pressure in general ophthalmology clinic. *Ophthalmology* 1999; **106**: 2154–2160.
- 23 Bron AM, Creuzot-Gauchert C, Goudeau-Boutillon S, d'Athis P. Falsely elevated intraocular pressure due to increased central corneal thickness. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1999; **237**: 220–224.
- 24 Wolfis RC, Klaver CC, Vingerling JR, Grobbee DE, Hofman A, de Jong PT. Distribution of central corneal thickness and its association with intraocular pressure: The Rotterdam Study. *Am J Ophthalmol* 1997; **123**(6): 767–772.
- 25 Pache M, Wilmsmeyer S, Lautebach S, Funk J. Dynamic contour tonometry versus Goldmann applanation

- tonometry: a comparative study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2005; **243**: 763–767.
- 26 Kotecha A, White ET, Shewry JM, Garway-Heath DE. The relative effects of corneal thickness and age on Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry. *Br J Ophthalmol* 2005; **89**: 1572–1575.
- 27 Friedenwald JS. Contribution to the therapy and practice of tonometry. *Am J Ophthalmol* 1937; **20**: 985–1024.
- 28 Whitacre MM, Stein R. Sources of error with use of Goldmann-type tonometers. *Surv Ophthalmol* 1993; **38**: 1–30.