



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE ARARAQUARA



ERICK MIRANDA SOUZA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA
OBTURAÇÃO DE CANAIS RADICULARES
E DA CONFIABILIDADE DO MODELO
DE PENETRAÇÃO DE GLICOSE**

ARARAQUARA

2008



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE ARARAQUARA



ERICK MIRANDA SOUZA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA
OBTURAÇÃO DE CANAIS RADICULARES E
DA CONFIABILIDADE DO MODELO
DE PENETRAÇÃO DE GLICOSE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Endodontia da Faculdade de Odontologia de
Araraquara, Universidade Estadual Paulista "Júlio
de Mesquita Filho", para a obtenção do título de
Doutor em Endodontia.

Orientador:

Prof. Dr. Idomeo Bonetti Filho

ARARAQUARA

2008

Souza, Erick Miranda.

Avaliação da qualidade da obturação de canais radiculares e da confiabilidade do modelo de penetração de glicose / Erick Miranda Souza. – Araraquara: [s.n.], 2008.

88 f. ; 30 cm.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Odontologia

Orientador : Prof. Dr. Idomeo Bonetti Filho

1. Materiais restauradores do canal radicular 2. Infiltração
dentária 3. Guta-Percha 4. Glucose I. Título

Erick Miranda Souza

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA OBTURAÇÃO DE CANAIS RADICULARES
E DA CONFIABILIDADE DO MODELO DE PENETRAÇÃO DE GLICOSE**

BANCA EXAMINADORA

Presidente e Orientador: Prof. Dr. Idomeo Bonetti Filho

2º Examinador: Prof. Dr. Ivaldo Gomes de Moraes

3º Examinador: Profa. Dra. Márcia Carneiro Valera

4º Examinador: Prof. Dr. Renato de Toledo Leonardo

5º Examinador: Prof. Dr. Mário Tanomaru Filho

Araraquara, 30 de abril de 2008

DADOS CURRICULARES

ERICK MIRANDA SOUZA

NASCIMENTO	25 de Outubro de 1976 – São Luis, MA, Brasil
FILIAÇÃO	Juarez Vicente Souza Ilzamar Maria Miranda Souza
1994/1999	Curso de Graduação em Odontologia pela Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Maranhão - UFMA.
1999-2002	Professor Substituto de Anatomia na Universidade Federal do Maranhão
2000-2002	Professor de Anatomia Bucal e Endodontia do Centro Universitário do Maranhão - UNICEUMA
2002/2004	Curso de Pós-Graduação em Odontologia, Área de Endodontia, Nível de Mestrado, na Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
2005/2008	Curso de Pós-Graduação em Odontologia, Área de Endodontia, Nível de Doutorado, na Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

*Ao final de uma grande jornada, o Sábio,
para, olha para o longo trajeto percorrido,
reflete, ora e agradece.*

*Assim é possível reconhecer a dimensão do
caminho percorrido; a mudança interior
advinda da jornada; e perceber que nunca,
nunca caminhamos sozinhos*

Dedicatória

*Este trabalho é especialmente
dedicado àqueles que mais amo*

À Deus e Nossa Senhora

Pelo divino dom da vida, pela fonte eterna de sabedoria e por estarem junto a mim em todos os momentos

Aos meus pais Juarez e Ilzamar

Queridos e amados pais, vocês com sabedoria e amor souberam dedicar todos os esforços para garantir Educação à nossa família. Com carinho, paciência e perseverança nos direcionaram pelos caminhos árduos e longos dos estudos. Graças ao apoio e incentivo de vocês o grande sonho de poder estudar fora do nosso país um dia se concretizou. Vocês, mais que todos, merecem receber as congratulações por este momento

Ao meu filho Filipe

Pequenino e querido filho, você provavelmente ainda não consegue captar toda a dimensão deste momento vivido pelo seu pai. Talvez em você fique a lembrança dos infindáveis dias de separação que fomos obrigados a viver para que este momento se tornasse realidade. Você, meu amado filho, é um menino especial, carinhoso, alegre e cheio de vida. Espero fazer por você tudo e muito mais que seus avós já fizeram por mim

Aos meus irmãos

Queridos irmãos Ighor, Saulo, Celso e Rafaelle, vocês participaram de todo processo de crescimento pessoal pelo qual passei, compartilharam comigo bons e maus momentos, apoiando, ajudando e celebrando. Obrigado a vocês por fazerem de nossa família o melhor lugar do mundo

À minha família

Tios, tias, primos, primas, avós, que por sua influência na nossa educação ajudaram a moldar a pessoa que hoje sou e o profissional que se formou ao longo desses anos. Agradeço todos os gestos de ternura, carinho compreensão e apoio que partiram de vocês ao longo da minha vida

À família de Vanessa

Queridos sogros, Silvio e Cristina e cunhado Diego, vocês me acolheram, respeitaram e entregaram o seu bem mais precioso. Espero que vocês se orgulhem do casal que Vanessa e Eu formamos. Graças a vocês nossos sonhos em comum se concretizaram. Saibam que torço para um dia formarmos uma família como vocês souberam construir a de vocês

À Vanessa

Querida e dedicada companheira. Tu és minha amada namorada e amiga. Amo você porque é difícil identificar onde terminam meus sonhos e se iniciam os seus; amo você porque você não soube medir as perdas em sua vida para construir a nossa; amo você porque é impossível planejar uma simples atitude sem incluir você; amo você porque você transforma a nossa vida em um grande sonho que se torna realidade todos os dias. Sem você este momento seria infinitamente mais vazio. Deus abençoou a minha vida quando me deu você

Agradecimentos Especiais

Ao Professor Dr. Min-Kai Wu

Raríssimas são as oportunidades na vida de um profissional de conhecer grandes gênios em sua área de atuação. Privilégio maior ainda é poder conviver, trabalhar e aprender com um cérebro privilegiado que, afortunadamente, se dedica à Endodontia. Agradeço a Deus por ter sido aceito para trabalhar com você e pela confiança que você deposita em mim para desenvolver futuros trabalhos. Você certamente é uma grande fonte de inspiração científica para mim

Ao Professor Dr. Luc van der Sluis

Grande amigo, sempre disposto a ajudar, trocar idéias sobre o mundo endodôntico e os desafios de pesquisadores e Universidades para as próximas décadas. Durante um ano que passei em Amsterdam, passei por muitas conquistas pessoais e profissionais e posso afirmar que muitas delas foram conseqüências do seu estímulo e apoio. A você meu eterno obrigado.

Ao amigo Hagay Shemesh

Estudante de PhD perseverante e determinado, dono de uma habilidade invejável para desenhar estudos relevantes, executá-los e publicá-los com uma rapidez impressionante. Seu apoio nos primeiros meses foi fundamental para meu trânsito mais fluente no departamento e laboratórios. Agradeço-te por ainda estarmos trabalhando juntos em diversos projetos de pesquisa e pelo profundo desejo de tornar a ciência endodôntica cada vez mais profissional

Ao Professor Dr. Paul Wesselink

Pela maneira acolhedora, respeitosa e confiante com que me recebeu no departamento de Endodontia da ACTA. Dono de um conhecimento científico profundo sobre a Ciência Endodôntica, dedicado, ponderado e receptivo. É difícil observá-lo e não sonhar em seguir os seus passos

Ao Professor Dr. Idomeo Bonetti Filho

Amigo e incentivador, sempre acolhedor, generoso e sensato. Obrigado pela orientação desde o Mestrado, pelo incentivo, pelas discussões dos trabalhos, por participar e incentivar nossas idéias em pesquisa

Ao Professor Dr. Renato de Toledo Leonardo

Querido amigo, mestre, direcionador e incentivador. Não medistes esforços para garantir que eu pudesse seguir o caminho que desejava. Quantas atitudes positivas dirigidas a mim eu poderia descrever vindo de você? Você me adotou como colega, amigo, e até confidente. Admiro a sua personalidade, o seu espírito crítico, senso de humor e determinação para encarar desafios. Espero contar sempre com sua amizade, carinho e presença em nossas vidas

Ao Professor Dr. Mário Tanomaru Filho

Pude assistir ao longo dessa caminhada na Pós-Graduação em Araraquara o seu crescimento pessoal e profissional, que hoje lhe tornaram um professor conhecido e respeitado. Admiro a sua determinação e coragem de enfrentar desafios e manter o foco na geração de conhecimento do qual a Endodontia ainda é tão carente. Orgulho-me de ter sido parte integrante desse seu processo de crescimento pessoal e espero ter contribuído positivamente para isso

Ao amigo Dr. Maximiliano Sérgio Cenci

Grande amigo que a vida quis que nos conhecêssemos a muitas léguas do Brasil. Contigo aprendi que fazer ciência é mais que uma aspiração, é uma arte, criteriosa e dedicada, repleta de peculiaridades que eu descobria a cada vez que conversávamos. Obrigado por compartilhar comigo os teus conhecimentos

*A vida nos guia por distintas direções. A única certeza que
temos é que ao optar por uma delas, nossa vida toma
irremediavelmente a forma do caminho que escolhemos.
Obrigado a vocês por terem cruzado meu caminho e
contribuído para minha formação profissional*

Agradecimentos

À Faculdade de Odontologia de Araraquara, UNESP, na pessoa de sua diretora Professora Dra. Rosemary Adriana Chierici Marcantonio e de seu vice-diretor Professor Dr. José Cláudio Martins Segalla, pela recepção e condições oferecidas para a realização do meu curso de Doutorado em Endodontia

Ao Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA) na pessoa do chefe do departamento de Cariologia Professor Dr. Bob Ten Cate e Endodontia Dr. Paul Wesselink, pela recepção e condições excepcionais para o desenvolvimento de pesquisas científicas que resultaram em uma grande produção acadêmica ao longo de ano. Foi um privilégio participar desse grupo

À todos os professores da Disciplina de Endodontia, Professores Renato de Toledo Leonardo, Idomeo Bonetti Filho, Mário Roberto Leonardo, Roberto Miranda Esberard, Fábio Vilela Berbert, Mário Tanomaru Filho e Juliane Guerreiro Tanomaru. Cada momento vivido e compartilhado ficará gravado eternamente em minha memória e coração

Aos demais professores da UNESP que lecionaram durante o meu curso de Doutorado. Obrigado pelos conhecimentos compartilhados e dedicação.

À todos os professores que participaram da minha vida acadêmica e que contribuíram para a minha formação profissional

Aos professores do departamento de Endodontia da ACTA, Min-Kai Wu, Luc van der Sluis, Hagay Shemesh, Rifat Ozok, Linda Peters, Paul Wesselink e Sjoerd de Groot. Grandes lições eu aprendi com vocês, infindáveis discussões sobre endodontia, que me fizeram entender os reais problemas de nossa especialidade. Certamente no livro da minha vida existe um profissional antes e depois de Amsterdam. Graças à convivência com vocês me sinto preparado para contribuir com segurança para o enriquecimento da Ciência Endodôntica

Ao Professor Gustavo De-Deus, que apesar de se encontrar impossibilitado de participar da banca de defesa desta Tese, se prontificou a ler e expressar a sua opinião minuciosa a respeito do nosso trabalho. Por este breve contato pude concluir porque você se tornou um professor de grande expressão na endodontia mundial, o que enche de orgulho a Endodontia Brasileira

Ao professor e amigo Dr. Etevaldo Matos Maia Filho, pelo apoio durante a minha pós-graduação e principalmente pelas inúmeras idéias compartilhadas e as horas dispensadas para resolver os “nós” estatísticos dos trabalhos dessa tese.

Aos amigos da turma do Doutorado em Araraquara Cristiane, Fernanda, Denise, Gustavo, José Carlos, Henrique (in memorian), Renato, Ronaldo, Mauricio, Alexandre, Renata, Bier, Eduardo, Fernando, Marco Aurélio. Obrigado pelas idéias compartilhadas, amizade e apoio à realização de nossos objetivos

Aos demais amigos estudantes de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia de Araraquara. Desejo a vocês todo o sucesso e enriquecimento profissional que eu almejei quando entrei nesta faculdade pela primeira vez

Aos colegas do curso de Especialização em Endodontia de Amsterdam, Martijn, Sander, Jackelen, Suzette, Maaïke, Wart, Koos, Daan e em especial aos grandes amigos Tommy (portuga), Marelli (Parakaló) e Joris (non-dutchable).
Fico feliz de ter construído uma amizade verdadeira com vocês

Ao grande e fraterno amigo Euler Rocha de Oliveira, lutador, corajoso e determinado. Deus põe em nossos caminhos pessoas abençoadas para tornar a jornada mais amena e exeqüível. Foi uma honra conhecer você e compartilhar juntos sonhos e conquistas em Amsterdam

Aos muitos amigos que fizemos em Amsterdam, Lia e sua trupe, Valesk e Miguel, aos amigos da ACTA Fernanda, Tatiana, Max, Monika, Dong Mei, Doiugu Mareika, Mariete e os amigos da VU Ana, Astrid, Chung Ling, Zu-fu e Cor. Vivemos momentos especiais, inesquecíveis, realizamos sonhos, cultivamos amizades e planejamos novos sonhos. Obrigado pelos momentos, risadas e esperanças compartilhadas

Aos grandes amigos André e Ângela presentes desde o início da nossa jornada na Pós-Graduação, sempre apoiando, ajudando e cultivando a nossa amizade

Aos colegas de Disciplina do UNICEUMA que me apoiaram e incentivaram durante a minha pós-graduação, Cláudia, Fernando, Moucherek e as Carlas.

À todos os funcionários da Endodontia e da Faculdade de Odontologia de Araraquara, Célia, Sr. Pedro, Marinho, Conceição, Adriana, os quais sem o apoio e dedicação seria impossível a realização de qualquer trabalho.

Aos técnicos dos laboratórios da ACTA, Mark, Michel e Rob, profissionais geniais e fundamentais para o andamento profissional das pesquisas desenvolvidas no departamento

Às funcionárias da Seção de pós-graduação, Mara e Rosângela, pela extrema simpatia, gentileza, profissionalismo e dedicação para com todos os pós-graduandos. Obrigado pela extrema ajuda em todo o processo do pedido da bolsa PDEE

Aos funcionários da Biblioteca pelo apoio constante, e em especial à Maria Helena, pelas correções e revisões deste trabalho

À CAPES, pelas bolsas de Doutorado e PDEE concedidas que se constituem em apoio fundamental para que os profissionais de nosso país se qualifiquem em grandes centros de pesquisa

A todos aqueles que participaram direta ou indiretamente da minha formação profissional e humana, que torceram por mim em ações ou orações.

Minha gratidão eterna!

SUMÁRIO

PREFÁCIO.....	13
RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	16
1 INTRODUÇÃO.....	18
2 OBJETIVOS	21
3 CAPÍTULO 1	22
4 CAPÍTULO 2	40
5 CAPÍTULO 3	51
6 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	68
7 CONCLUSÃO.....	76
8 REFERÊNCIAS	77
9 ANEXOS	82

PREFÁCIO

Essa tese é constituída por três artigos científicos desenvolvidos durante o Programa de Doutorado com Estágio no Exterior (PDDE), no Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA), Holanda:

- Capítulo 1 - “Effects of different techniques and canal area on the quality of laterally compacted root fillings”, submetido para publicação no periódico International Endodontic Journal.
- Capítulo 2 - “Glucose reactivity with filling materials as a limitation for using the glucose penetration model”, aceito para publicação no periódico International Endodontic Journal.
- Capítulo 3 - “Comparability of the results of two leakage models”, aceito para publicação no periódico Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology.

Souza EM. Avaliação da qualidade de canais radiculares obturados por diferentes materiais e técnicas e da confiabilidade do modelo de penetração de glicose [tese doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2008.

Resumo

Diferentes técnicas de compactação da guta-percha (GP) e cimentos obturadores podem alterar a qualidade final da obturação do canal radicular. Recentemente foi introduzido um novo modelo de análise da qualidade de obturações endodônticas baseado na mensuração da concentração da glicose que passa pela falha na obturação. Este trabalho é composto por três capítulos cujos objetivos foram: a) determinar os efeitos de variações na técnica de condensação lateral (LC) e da área do canal na qualidade da obturação; b) verificar se diferentes materiais obturadores alteram a concentração do traçador utilizado no modelo de penetração de glicose, e; c) determinar se são similares os resultados de infiltração dos mesmos espécimes avaliados pelos modelos de penetração de glicose e transporte de fluidos. No primeiro estudo sessenta caninos humanos foram instrumentados e divididos em três grupos obturados por diferentes técnicas de LC e cimento AH Plus. Uma nova técnica usando uma seqüência de espaçadores antes da colocação de um cone acessório foi comparada com duas técnicas comumente utilizadas. As raízes obturadas foram seccionadas nos níveis 3 mm e 6 mm a partir do ápice e as secções fotografadas. Usando um software de análise de imagens, as áreas do canal e de GP em cada nível foram mensuradas e a porcentagem de área obturada por guta-percha (PGP) foi calculada. Análise múltipla de variância foi utilizada para verificar as variáveis influenciando a PGP. Teste de regressão linear foi utilizado para verificar a influência da área do canal na PGP em cada nível de secção. Em ambas as secções o canal mais largo foi 2-3 vezes maior que o menos largo. Quanto maior a área do canal, menor a PGP nos níveis 6 mm ($r^2=0,154$, $P=0,02$) e 3 mm ($r^2=0,119$, $P=0,007$). A PGP no nível 3 mm foi menor que a 6 mm ($P=0,003$). A nova técnica atingiu maior PGP que as demais em ambos os níveis ($P<0,05$). No segundo estudo, foram produzidos 10 corpos de prova (diâmetro 5 mm e espessura 2 mm) de cada um dos seguintes materiais:

cimento Portland, MTA (cinza e branco), Sealer 26, sulfato de cálcio, hidróxido de cálcio - Ca(OH)_2 , AH26, Epiphany, Resilon, GP e dentina. Após manter os discos por 1 semana em 37°C e em condições de umidade, os mesmos foram imersos em 0.2 mg/mL de solução de glicose. A concentração de glicose foi avaliada por meio de uma reação enzimática após 1 semana de imersão. Cimento Portland, MTA, Ca(OH)_2 e Sealer 26 reduziram a concentração de glicose significativamente ($P < 0.05$). Os outros materiais não influenciaram a concentração de glicose. No terceiro estudo caninos foram preparados e obturados com cones de GP e um de 4 diferentes cimentos endodônticos (20 dentes por grupo). Os oitenta espécimes foram inicialmente conectados a um modelo de transporte de fluidos onde o movimento de uma bolha de ar foi mensurado. Os mesmos espécimes foram posteriormente conectados a um modelo de penetração de glicose onde a concentração de glicose foi mensurada. Em ambos os modelos, uma pressão atmosférica de 360 cm H_2O foi utilizada para acelerar a infiltração. Nos 4 cimentos os níveis de infiltração demonstrados pelos dois modelos foram similares e uma correlação significativa entre os resultados dos dois modelos foi confirmada (Spearman test, coefficient=0.65, $P=0.000001$). Dentro das limitações dos presentes estudos foi possível concluir que: a) variações na técnica de LC e na área do canal influenciaram a qualidade das obturações. A PGP de técnicas de LC foi menor no nível apical; b) cimento Portland, MTA, Ca(OH)_2 e Sealer 26 reagem com a glicose e, portanto não devem ser avaliados em relação à capacidade de selamento por meio do método de penetração de glicose; c) foram similares os resultados de infiltração de 80 raízes demonstrados pelos modelos de transporte de fluidos e de penetração de glicose.

Palavras-chave: Materiais restauradores do canal radicular; infiltração dentária; guta-percha; glicose.

Souza EM. Evaluation of the quality of roots filled with different materials and techniques and of the glucose penetration model's reliability [tese doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2008.

Abstract

Different gutta-percha (GP) compaction techniques and root canal sealers may affect the final quality of the root canal filling. Recently, it was discussed a new method for evaluation of the quality of root fillings based on measuring the concentration of the glucose that penetrates through voids in the obturation. This work is divided in 3 chapters aiming to: a) determine the effects of different techniques and canal area on the quality of laterally compacted root fillings; b) verify whether different filling materials react with the tracer used in the glucose penetration model, and; c) determine whether leakage results of the same specimens measured by the glucose penetration and fluid transport are comparable. In the first study sixty extracted canines were instrumented to the same size and equally divided in three groups filled with laterally compacted GP cones and AH Plus sealer using different techniques. A new technique with use of a sequence of spreaders prior to the accessory cone placement was compared to two commonly used techniques. The filled roots were horizontally sectioned at 3 mm and 6 mm from the apex and micro-photographs of the cross-sections were taken. Using an image-analysis software, the canal and GP areas at each level were measured. The percentage of gutta-percha filled canal area (PGP) was calculated. A Multivariate analysis was used to account for the variables influencing the PGP. Linear regression test was used to verify the influence of canal area on PGP. At each level the largest canal was 2-3 times larger than the smallest. The larger the canal area, the lower the PGP at 6 mm level ($r^2=0.154$, $P=0.02$) and at 3 mm level ($r^2=0.119$, $P=0.007$). The PGP at 3 mm was lower than at 6 mm ($P=0.003$). The new technique achieved higher PGP than other techniques ($P=0.00002$). In the second study ten uniform discs (radius 5 mm, thickness 2 mm) were made of each of the following materials: Portland cement, MTA (grey and white), Sealer 26, calcium sulfate, calcium hydroxide - Ca(OH)_2 , AH26, Epiphany, Resilon, GP and dentine. After keeping the discs 1 week in 37°C and humid conditions, they were immersed in 0.2 mg/mL glucose solution.

The concentration of glucose was evaluated using an enzymatic reaction after 1 week. Portland cement, MTA, Ca(OH)_2 and Sealer 26 reduced the concentration of glucose significantly ($P<0.05$). The other materials did not influence the glucose concentration. In the third study canine root canals were prepared and filled with cold GP cones and one of four sealers (20 canals each sealer). The 80 specimens were first connected to a fluid transport model where air-bubble movement was measured. The same specimens were later connected to a glucose penetration model where the concentration of glucose was measured. In both models, a headspace pressure of 360 cm H_2O was used to accelerate leakage. In both models four sealers ranked the same regarding the leakage they allowed, and a significant correlation between the results of the two models was confirmed (Spearman test, coefficient=0.65, $P=0.000001$). Within the limitation of the present studies, it was possible to conclude that: a) variations in the technique and canal area influenced the quality of laterally compacted root fillings. The PGP of LC fillings was lower at the apical level; b) Portland cement, MTA, Ca(OH)_2 and Sealer 26 reacted with glucose and therefore should not be evaluated for their sealing ability with the glucose penetration model; c) leakage results of 80 specimens recorded in the fluid transport model and glucose penetration model were comparable.

Keywords: Root canal filling materials; dental leakage; gutta-percha; glucose.

1 INTRODUÇÃO

A obturação do canal radicular baseia-se na idéia de que a saúde dos tecidos periapicais somente é alcançada ou mantida se for prevenida a re-infecção por via coronária e/ou se forem aprisionadas as bactérias remanescentes ao preparo biomecânico^{27,41}. Em raízes instrumentadas, porém não obturadas foi observada uma severa alteração histológica caracterizada por reação inflamatória crônica periapical e reabsorção óssea e radicular¹². Desta forma, a obturação do canal radicular constitui-se como barreira mecânica que busca isolar os tecidos periapicais das fontes de infecção que circundam o canal radicular e, portanto, a qualidade desta passa a ser um dos fatores que concorrem para o sucesso do tratamento endodôntico.

Apesar de todos os recentes avanços na obturação endodôntica adesiva⁴⁰, guta-percha (GP) e cimentos endodônticos ainda são os materiais obturadores mais freqüentemente utilizados. Por possuir estabilidade dimensional⁵ e ser impermeável à fluidos⁵³, o aumento na densidade de GP durante a obturação do canal radicular é rotineiramente indicado. Portanto a densidade de GP ou porcentagem de área obturada com GP (PGP) é considerada um parâmetro de mensuração da qualidade da obturação do canal radicular^{8,15,20,38,52}.

Para aumentar a PGP é necessária a compactação da GP¹³. Diversas técnicas de compactação da GP têm sido propostas^{11,26,38}, no entanto, a condensação lateral a frio da GP (LC) se destaca como a técnica mais ensinada e praticada mundialmente^{4,9}. Além de ser o método de escolha para muitos clínicos^{9,16,20}, a LC é a técnica padrão contra a qual, novos métodos de obturação são testados⁶⁰.

Embora originalmente descrita com o objetivo de elevar a densidade de GP em relação ao cimento no interior do canal radicular¹⁹, baixos níveis de PGP são freqüentemente reportados após o uso de LC, especialmente na região apical^{10,14,17,21}. Como os cones de GP são cônicos, há uma tendência a acontecer o preenchimento da região coronária do canal prematuramente à região apical². Quando esta obturação prematura ocorre, a colocação de cones apicalmente se torna impossível⁵¹, a não ser que forças excessivas sejam transferidas ao espaçador, o que pode aumentar o risco de fratura dental^{25,47}.

Para evitar o risco de obturação prematura do canal radicular usando LC, é necessário um preparo do canal radicular que apresente suficiente conicidade². No entanto, ainda não foi definida a conicidade ideal para obturar o canal com LC. Ademais, em canais onde a configuração anatômica apical (área do canal) é originalmente ampla⁵⁵, alcançar a conicidade ideal para obturar o canal com LC pode ser ainda mais difícil.

Além disso, variações na técnica de LC são freqüentemente descritas na literatura especializada, principalmente relacionadas ao uso de espaçadores e de cones acessórios^{18,46}. Desta forma, técnicas usando espaçadores digitais ou dígito-palmares, cones de GP com conicidades estandarte de 2% ou com conicidades não-estandarte (maiores que 2%) têm sido descritas⁴⁶. Estas variações também podem alterar a PGP alcançada pela técnica de LC.

Além da mensuração da PGP alcançada por uma técnica de obturação, outro parâmetro utilizado para a mensuração da qualidade de obturações radiculares é a determinação da capacidade seladora da obturação. Desta forma, inúmeros trabalhos avaliando a capacidade de materiais e técnicas obturadoras de prevenir a penetração de traçadores pelo espaço do canal radicular ainda são conduzidos baseados na idéia de que obturações defeituosas podem servir como vias para a migração de bactérias e toxinas em direção ao ápice radicular^{41,44}.

Diversos métodos de análise da capacidade seladora da obturação têm sido propostos sendo os mais comumente empregados a penetração de corantes, a penetração bacteriana, o transporte de fluidos (TF) e mais recentemente a penetração de glicose (PG). Os métodos de TF⁵⁰ e PG⁵⁹ visam quantificar a passagem de fluidos pela falha na obturação, indicando, por meio do volume de fluido quantificado, se o calibre total das falhas na obturação é de pequeno ou grande porte^{31,42}. Supostamente, um grande volume de falhas permitiria a passagem de mais bactérias e toxinas em direção ao ápice radicular.

Modelos in vitro de análise da capacidade seladora são constantemente julgados no que tange a sua aplicabilidade clínica e reprodutibilidade⁴⁵. Desta forma, uma abordagem crítica aos diferentes modelos é requerida para garantir a confiabilidade dos resultados. Enquanto no modelo de TF, a água é utilizada para quantificar a infiltração, no modelo de PG o traçador da infiltração é uma solução concentrada de glicose⁵⁹. Um dos problemas relacionados ao uso de

traçadores em modelos de infiltração é que o traçador pode reagir quimicamente com os materiais testados, lançando dúvidas sobre a confiabilidade das conclusões postuladas em tais testes. Já foi previamente demonstrado, por exemplo, que o azul de metileno, freqüentemente utilizado em estudos de penetração de corantes, perde a cor quando em contato com alguns materiais dentários⁵⁴, e que alguns materiais obturadores poderiam inibir diretamente bactérias em modelos de penetração bacteriana³³.

Assim, considerando-se que vários estudos recentes têm utilizado o modelo de PG para quantificar a infiltração de materiais e técnicas de obturação do canal radicular^{22,30,36,37,43,61}, urge verificar se diferentes materiais obturadores são capazes de reagir com a glicose alterando a sua concentração resultando em conclusões irreais sobre a capacidade de selamento dos materiais testados.

Além disso, sempre que novos modelos de estudo são propostos se faz necessário checar a confiabilidade dos resultados comparando-os com os resultados de modelos já existentes na literatura. Idealmente, para garantir uma comparação sem viés entre os resultados de dois modelos, os mesmos espécimes devem ser testados em ambas as metodologias. Apesar de ter sido previamente demonstrado que o modelo de PG é mais sensível em demonstrar infiltração do que o TF³⁷, não foi ainda testado se são comparáveis os resultados de infiltração das mesmas amostras quando testadas nos dois modelos de infiltração.

Baseado no exposto foi objetivo dos trabalhos inseridos nos três capítulos que compõem esta tese: verificar os efeitos de variações na técnica de LC e da área do canal na qualidade das obturações; determinar se diferentes materiais obturadores alteram a concentração do traçador utilizado no modelo de penetração de glicose, e; determinar se são similares os resultados de infiltração dos mesmos espécimes avaliados pelos modelos de penetração de glicose e transporte de fluidos.

2 OBJETIVOS

Objetivos gerais:

- verificar os efeitos de diferentes técnicas e materiais obturadores na qualidade da obturação do canal radicular;
- determinar a confiabilidade do modelo de análise da qualidade da obturação endodôntica baseado na penetração de glicose pela falha na obturação.

Objetivos específicos:

- determinar os efeitos de variações na técnica de condensação lateral e da área do canal na qualidade da obturação;
- verificar se diferentes materiais obturadores alteram a concentração do traçador utilizado no modelo de penetração de glicose;
- determinar se são similares os resultados de infiltração dos mesmos espécimes avaliados pelos modelos de penetração de glicose e transporte de fluidos.

3 CAPÍTULO 1

Este capítulo é constituído pelo seguinte artigo:

Souza EM, Wu M-K, van der Sluis LW, Leonardo RT, Bonetti-Filho I & Wesselink PR. Effects of different techniques and canal area on the quality of laterally compacted root fillings. Submetido para publicação no periódico International Endodontic Journal.

No Anexo 1 estão incluídas as Tabelas A1, A2, e A3 com os valores individuais de área do canal, percentagem de área obturada por guta-percha (PGP) e percentagem de falhas na obturação (PV), respectivamente. As Figuras A1 e A2 representam imagens das secções transversais nos níveis 6 mm e 3 mm a partir do ápice nos grupos 1 e 2, respectivamente.

Effects of different techniques and canal area on the quality of laterally compacted root fillings

EM Souza¹, M-K Wu², LW van der Sluis², RT Leonardo¹, I Bonetti-Filho¹ & PR Wesselink²

¹Department of Restorative Dentistry, Araraquara Dental School, São Paulo State University, UNESP, Araraquara, SP, Brazil

²Department of Cariology Endodontology Pedodontlogy, Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA), Amsterdam, The Netherlands

Running title: Quality of lateral compaction fillings

Key-words: Lateral compaction, percentage of gutta-percha filled canal area (PGP)

Correspondence:

EM Souza

Department of Restorative Dentistry, Araraquara Dental School, São Paulo State University, UNESP, Araraquara, SP, Brazil

Rua Humaitá, 1680, 14801-903 Araraquara, SP, Brazil (tel.: +55 16 33016391; fax +55 16 33016392; e-mail: erickmsouza@uol.com.br).

Abstract

Aim To verify whether different techniques and the canal area influence the quality of laterally compacted root fillings.

Methodology Sixty extracted canines were instrumented to the same size and equally divided in three groups filled with laterally compacted gutta-percha cones and AH Plus sealer using different techniques. A new technique with use of a sequence of spreaders prior to the accessory cone placement was compared to two commonly used techniques. The filled roots were horizontally sectioned at 3 and 6 mm from the apex and micro-photographs of the cross-sections were taken. Using an image-analysis software, the canal and gutta-percha areas at each level were measured. The percentage of gutta-percha filled canal area (PGP) was calculated. A Multivariate analysis was used to account for the variables influencing the PGP. Linear regression test was used to verify the influence of canal area on PGP.

Results At each level the largest canal was 2-3 times larger than the smallest. The larger the canal area, the lower the PGP at 6 mm level ($r^2=0.154$, $P=0.02$) and at 3 mm level ($r^2=0.119$, $P=0.007$). The PGP at 3 mm was lower than at 6 mm ($P=0.003$). The new technique achieved higher PGP than other techniques ($P=0.00002$).

Conclusions Variations in root canal filling technique and canal area influenced the quality of laterally compacted root fillings. The PGP was lower at the apical level.

Introduction

Gutta-percha (GP) compaction techniques in endodontics are based on the idea that most sealers are not dimensionally stable (Ørstavik 1983, Kazemi *et al* 1993, Kontakiotis *et al.* 1997) and therefore, in the root canal, the ratio of GP to sealer should be as high as possible. The percentage of GP filled canal area (PGP) has been used as a measure of the quality of root canal filling (Silver *et al.* 1999, Wu *et al.* 2001, Gound *et al.* 2001, Jarrett *et al.* 2004).

Cold lateral compaction (LC) is taught and practiced worldwide (Cailleteau & Mullaney 1997, Dulaimi & Wali Al-Hashimi 2005). It remains the technique of choice for many clinicians (Jarrett *et al.* 2004, Dulami & Wali Al-Hashimi 2005, Gulsahi *et al.* 2007) and serves as gold-standard to which new techniques are compared (Gordon *et al.* 2005, Xu *et al.* 2007).

Since it was first described (Hall 1930), several modifications were introduced mainly regarding the use of spreaders and accessory cones (Weine 1996, Gutmann & Witherspoon 2002). Hand and finger spreaders, 2%-tapered standard GP cones, and larger-tapered non-standard GP cones are used currently (Gutmann & Witherspoon 2002). According to the literature the PGP achieved by LC varied from 43% (Kececi *et al.* 2005) to 100% (VanGheluwe & Wilcox 1996) depending on the tooth group (canal width), technique, the level where the root was sectioned, and other factors (Eguchi *et al.* 1985, Gencoglu *et al.* 2002).

To increase the PGP with LC, a spreader is forced apically to create space for an accessory cone. Whenever the spreader cannot penetrate deeper, it indicates that the apical portion is filled and that there is no space for further GP compaction. However, low PGP in the apical area after LC is frequently reported (Eguchi *et al.* 1985, Gutmann *et al.* 2006). Attempts to increase PGP, through high forces transferred to the spreader (Schmidt *et al.* 2000), might increase the risk of root fractures (Meister *et al.* 1980, Wilcox *et al.* 1997).

Considering all GP cones are wider coronally, the coronal root canal is prone to be filled earlier than the apical (premature coronal obturation), especially if large-tapered non-standard accessory cones are used. When premature coronal obturation occurs, placement of GP cones apically will become impossible (Wu *et al.* 2003a). To prevent premature coronal obturation and increase the PGP in the apical part, a sufficiently tapered root canal is required

(Buchanan 2000). However, it has not been defined which taper should be sufficient. Additionally, in original apically wide canals (Wu et al. 2000), reaching the desired root canal taper for performing LC may become difficult.

The aim of the present study was to check the effects of different lateral compaction techniques and the canal area on the quality of LC fillings at different levels.

Materials and Methods

Specimens' selection and preparation

Eighty caries-free maxillary and mandibular human canines were used. Proximal radiographs confirmed the presence of a single straight root canal with 0.8 to 1.0 mm internal diameter at 5 mm from the apex to ensure similar anatomic conditions for all groups (Wu et al. 2003a). After coronal access, the working length (WL) was determined 1 mm coronal of the apical foramen which was determined by inserting a size 15 K-file (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) into the canal until the tip of the file was just visible.

The root canals were instrumented to WL with K-files sizes 20 to 50 and a step-back flaring technique at 2 mm increments using Gates-Glidden sizes 2-4 (70-110) was performed resulting in a taper of 0.1 mm mm^{-1} . After each file, the canals were irrigated with 2 ml of a 2% NaOCl solution. After instrumentation the canals were irrigated with 6 ml of 2% NaOCl for 1 minute using passive ultrasonic irrigation with the intermittent flush technique (van der Sluis et al. 2007). Canals were dried with paper-points.

Groups division and root canal obturation

Samples were randomly distributed in 4 groups of 20 teeth each. The sealer (AH Plus, Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany) was placed in the root canal by the bi-directional spiral #25 (EDS, Hackensack, NJ, USA) three-times, 5 seconds each, at 840 rpm to 1 mm short of WL. It was previously shown that the use of bi-directional spiral to deliver sealer in the root canal resulted in more than 99% of canal area filled with both sealer and GP (Wu et al. 2003b). A standard GP master cone (taper 0.02) size 45 (Henry Schein Inc., Mexico) was trimmed to size 50 to facilitate standardization of the tip of GP cone. This GP cone was coated with sealer and placed into the canal until WL. The specific variations in the filling techniques, per group, are described below:

Group I: finger spreader C (D_1 0.3, taper 0.04) (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) and standard accessory cones size 25 were used (Wu *et al.* 2003a).

Group II: a hand spreader size D11 (D_1 0.5, taper 0.035) (RCSD116, Hu-friedy, Chicago, USA) and non-standard accessory cones size medium-fine (D_1 0.08, taper 0.034) (Autofit Analytic Endodontics, Glendora, USA) were used (Gutmann & Witherspoon 2002).

Group III: A sequence of finger spreaders A-D (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) was used before the placement of an accessory cone. This method claims to effectively move and probably progressively deform GP, enabling a better GP compaction. Spreader A (D_1 0.2, taper 0.025) was introduced alongside the master cone and kept in position for 15 seconds. After removing spreader A, spreader B (D_1 0.25, taper 0.03) was introduced to the same length and kept in position for 15 seconds. The same procedure was repeated for spreaders C and finally D (D_1 0.35, taper 0.06). In case spreader D did not reach the same length as C, the latter was re-introduced and selected as final spreader and spreader D was not used anymore. The same was done to spreader B in case of C did not reach the same length as B anymore. A standard accessory cone was selected to fill the opened space according to the final spreader: if D, GP cone size 30, if C, size 25, and in case of B, size 20.

Control Group: no spreader was used. Standard GP cones size 25 were freely introduced in the root canal in one single movement until resistance was met.

For all the experimental groups, spreaders were introduced for the first time to 1 mm short to the WL and spreader compaction was carried out until 6 mm coronal of the starting point (Fig. 1). The samples were fixed on the plate of a digital scale and the force applied to each spreader penetration (2 Kg maximum) was controlled (Wu *et al.* 2003a). In the control group, accessory cones were placed into canals as many as possible until when the same level (8 mm from the apex) had been reached (Fig. 1). Each accessory cone was coated with sealer. A heated plugger removed the coronal excess of GP with no further vertical compaction. Roots were kept for one week at 37°C and 100% humidity for sealer setting.

Roots sectioning and images' capture and analysis

A low-speed saw under water cooling (Sagemicrotom 1600; Leitz, Wetzlar, Germany) sectioned horizontally the roots at 3 and 6 mm from the apex. Sections were photographed (X50) with a Photomacroscoop M400 microscope (Wild, Heerbrugg, Switzerland) and a digital camera and images saved as TIFF format. Using a KS 100 Imaging system 3.0 (Carl Zeiss Vision GmbH, Hallbergmoos, Germany) the canal, GP and voids areas (neither filled with GP nor sealer) were outlined and measured. The percentage of GP-filled canal area (PGP) and the percentage of voids (PV) were calculated at both sectioning levels. The relationship between canal area and PGP was analyzed at both levels.

Statistical analysis

The results were analysed using a Multivariate analysis with a Bonferroni post-hoc test for pairwise comparisons. PGP and PV were the dependent variables while technique and levels fixed factors, and canal area covariate. A linear regression test was used to verify the influence of canal area on the PGP at both sectioning levels. Level of significance was set at 0.05.

Results

The results for canal area, GP area, voids area, PGP and PV at levels 3 and 6 mm from the apex in each group are described in Table 1.

Multivariate analysis demonstrated that the technique ($P=0.00002$), canal area ($P=0.009$) and level ($P=0.003$) significantly influenced the PGP, but none of these factors influenced PV ($P>0.05$).

Regarding the PGP, groups I and II were not significantly different (Multivariate analysis, $P=0.172$), but the PGP of group III was significantly higher than the PGP of groups I and II (Multivariate analysis, $P<0.001$, Table 1).

At each level the largest canal was 2-3 times larger than the smallest. Linear regression test demonstrated the influence of canal area on PGP, as the larger the canal area the lower the PGP at both 3 mm (Beta=-0.346, $r^2=0.119$, $P=0.007$) and 6 mm (Beta=-0.392, $r^2=0.154$, $P=0.02$) from the apex (Figure 2). Regarding the level, the PGP at 3 mm was significantly lower than 6 mm (Multivariate analysis, $P=0.003$).

The control group showed the lowest GP density and the highest voids area (Fig. 3).

Discussion

In the present study, all canine canals have been instrumented to size 50 and taper 0.10. A wide range of canal area was observed (Table 1), although all canals were instrumented to the same size. At each level the largest canal was 2-3 times larger than the smallest (Table 1). The canal area varied from 0.27 mm² to 2.11 mm², indicating that many canals were indeed originally larger than the largest instrument used. Such variability in canal area in root canals instrumented to the same size was already observed in previous reports (Wu et al. 2002a). Although great differences in canal dimension exist between the largest and smallest canals, clinically it is impossible to determine which canal is large. It has been found that the first file that binds in the root canal does not measure the apical diameter (Wu et al. 2002s). Therefore, as the size of the coronal root canal was standardized (size 110), it might be that the wider the canal at 3 and 6 mm, the smaller the taper. In those apically wide canals, the taper was insufficient for performance of LC, premature coronal obturation might occur and the PGP at both 3 and 6 mm was reduced (Buchanan 2000) (Fig. 2). Thus, canal area significantly influences the PGP of LC fillings as the wider the canal area at 3 mm and 6 mm, the lower the PGP ($P<0.05$). Actually, when the apical canal is originally wide (Wu et al. 2000), the canal taper is not determined by the instruments used; the quality of LC fillings is, therefore, not predictable.

Taper of the canal should not be the only factor that influenced the PGP considering that group III showed significantly higher PGP at both levels than the other two groups (Table 1) where commonly used techniques (Gutmann & Witherspoon 2002, Wu et al. 2003a) were performed. Clearly, the use of a sequence of spreaders prior to the accessory cone placement in group III enabled a better GP compaction (Fig. 4). The PGP achieved apically (Table 1, Fig. 4) was comparable to that achieved by the warm GP technique using System B (Silver et al. 1999, Gençoğlu 2003). However, it is a time-consuming technique because at least 1 min of compaction is required before an accessory cone can be placed.

In group II, larger-tapered non-standard GP cones were used. Due to the large taper, those cones could interfere with each other at the coronal root canal resulting in premature coronal obturation to occur more frequently. The average

apical PGP was 16.1% lower for group II than group III (Table 1), indicating that less GP density could be achieved at the apical root canal when larger-tapered non-standard accessory cones are used.

In the present study, the force applied to each spreader was standardized (2Kg) to avoid excessive and uncontrolled forces that might cause root fractures (Meister et al. 1980) or influence the PGP. In addition, the size and taper of accessory cones chosen in all groups was always smaller than the last spreader used (Gound et al. 2001) to enable GP placement to the entire extension of the spreader track. However, big round-shape unfilled voids, that seems to be unfilled spreader tracks were frequently observed (Fig. 4) as in previous reports (Eguchi et al. 1985, Brayton et al. 1973, Budd et al. 1991, Jarrett et al. 2004). None of the samples in the control group were presented with big round-shape unfilled voids. It may be that all three LC techniques left unfilled area (including spreader tracks). Size variation within accessory cones of the same brand (Moule et al. 2002) and lack of size standardization between spreaders and accessory cones (Hartwell et al. 1991) may be the rationale for the observation of unfilled spreader-tracks. Under the conditions of this study, the PV was neither influenced by the technique, nor the canal area, nor the level.

Since several factors might potentially influence the quality of root fillings, a multivariate analysis was used in the present study to ensure the simultaneous investigation of the influence of various potential factors on either PGP or PV. According to the results of the present study, variations in the root canal filling technique, canal area and the level significantly influenced the quality of laterally compacted root fillings.

Conclusions

Canal area influenced the PGP achieved by LC at both 3 and 6 mm levels, as the larger the canal area, the lower the PGP. A new technique with use of a sequence of spreaders prior to the accessory cone placement enabled a better GP compaction than commonly used techniques.

Acknowledgments

The work of Erick Miranda Souza was supported by MEC/CAPES (Foundation for the Coordination of Higher Education and Graduate Training) as an exchange Scholarship. The authors wish to thanks Dr. Carlos Garcia Puente for the technical support on using the technique with a sequence of spreaders and Dr. Etevaldo Matos Maia Filho for helping with the statistical analysis.

References

Brayton SM, Davis SR, Goldman M (1973) Gutta-percha root canal fillings. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology* **35**, 226-31.

Buchanan LS (2000) The standardized-taper root canal preparation-Part 1. Concepts for variably tapered shaping instruments. *International Endodontic Journal* **33**, 516-29.

Budd CS, Weller RN, Kulild JC (1991) A comparison of thermoplasticized injectable gutta-percha obturation techniques. *Journal of Endodontics* **17**, 260-4.
Caillieteau JG, Mullaney TP (1997) Prevalence of teaching apical patency and various instrumentation and obturation techniques in United States dental schools. *Journal of Endodontics* **23**, 394-6.

Dulaimi SF, Wali Al-Hashimi MK (2005) A comparison of spreader penetration depth and load required during lateral condensation in teeth prepared using various root canal preparation techniques. *International Endodontic Journal* **38**, 510-5.

Eguchi DS, Peters D, Hollinger JO, Lorton L (1985) A comparison of the area of the canal space occupied by gutta-percha following four gutta-percha obturation techniques using procoseal sealer. *Journal of Endodontics* **11**, 66-75.

Gencoglu N (2003) Comparison of 6 different gutta-percha techniques (part II): Thermafil, JS Quick-Fill, Soft Core, Microseal, System B, and lateral condensation. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* **96**, 91-5.

Gencoglu N, Garip Y, Bas M, Samani S (2002) Comparison of different gutta-percha root filling techniques: Thermafil, Quick-fill, System B, and lateral condensation. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* **93**, 333-6.

Gordon MP, Love RM, Chandler NP (2005) An evaluation of .06 tapered gutta-percha cones for filling of .06 taper prepared curved root canals. *International Endodontic Journal* **38**, 87-96.

Gound TG, Riehm RJ, Odgaard EC, Makkawy H (2001) Effect of spreader and accessory cone size on density of obturation using conventional or mechanical lateral condensation. *Journal of Endodontics* **27**, 358-61.

Gulsahi K, Cehreli ZC, Kuraner T, Dagli FT (2007) Sealer area associated with cold lateral condensation of gutta-percha and warm coated carrier filling systems in canals prepared with various rotary NiTi systems. *International Endodontic Journal* **40**, 275-81.

Gutmann JL, Dumsha TC, Lovdahl PE (2006) Problem solving in endodontics: Prevention, identification, and management. 4th ed. St. Louis: Mosby, 592p.

Gutmann JL, Witherspoon DE. Obturation of the cleaned and shaped root canal system. In: Cohen S, Burns RC. Eds. *Pathways of the pulp*. 8th ed. St. Louis: Mosby, 2002:293-364.

Hall EM (1930) The mechanisms of root-canal treatment. *Journal of the American Dental Association* **17**, 88-108.

Hartwell GR, Barbieri SJ, Gerard SE, Gunsolley JC (1991) Evaluation of size variation between endodontic finger spreaders and accessory gutta-percha cones. *Journal of Endodontics* **17**, 8-11.

Jarrett IS, Marx D, Covey D, Karmazin M, Lavin M, Gound T (2004) Percentage of canals filled in apical cross sections: an in vitro study of seven obturation techniques. *International Endodontic Journal* **37**, 392-8.

Kazemi RB, Safavi KE, Spångberg LSW (1993) Dimensional changes of endodontic sealers. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology* **76**, 766-71.

Kececi AD, Unal GC, Sen BH (2005) Comparison of cold lateral compaction and continuous wave of obturation techniques following manual or rotary instrumentation. *International Endodontic Journal* **38**, 381-8.

Kontakiotis EG, Wu M-K, Wesselink PR (1997) Effect of sealer thickness on long-term sealing ability: a 2-year follow-up study. *International Endodontic Journal* **30**, 307-12.

Meister F Jr, Lommel TJ, Gerstein H (1980) Diagnosis and possible causes of vertical root fractures. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology* **49**, 243-53.

Moule AJ, Kellaway R, Clarkson R, Rowell J, Macfarlane R, Lewis D, Cameron T, Atkins D (2002) Variability of master gutta-percha cones. *Australian Endodontic Journal* **28**, 38-43.

Ørstavik D (1983) Weight loss of endodontic sealers, cements and pastes in water. *Scandinavian Journal of Dental Research* **91**, 316-9.

Schmidt KJ, Walker TL, Johnson JD, Nicoll BK (2000) Comparison of nickel-titanium and stainless-steel spreader penetration and accessory cone fit in curved canals. *Journal of Endodontics* **26**, 42-4.

Silver GK, Love RM, Purton DG (1999) Comparison of two vertical condensation obturation techniques: Touch 'n Heat modified and System B. *International Endodontic Journal* **32**, 287-95.

van der Sluis LW, Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR (2007) An evaluation of the influence of passive ultrasonic irrigation on the seal of root canal fillings. *International Endodontic Journal* **40**, 356-61.

VanGheluwe J, Wilcox LR (1996) Lateral condensation of small, curved root canals: comparison of two types of accessory cones. *Journal of Endodontics* **22**, 540-2.

Weine FS (1996) *Endodontic therapy*. 5th ed. St. Louis: Mosby, p. 423-77.

Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T (1997) The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *Journal of Endodontics* **23**, 533-4.

Wu M-K, R'oris A, Barkis D, Wesselink PR (2000) Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* **89**, 739-43.

Wu M-K, de Schwartz FBC, van der Sluis LW, Wesselink PR (2001) The quality of root fillings remaining in mandibular incisors after root-end cavity preparation. . *International Endodontic Journal* **34**, 613-9.

Wu MK, van der Sluis LW, Wesselink PR (2002a) A preliminary study of the percentage of gutta-percha-filled area in the apical canal filled with vertically compacted warm gutta-percha. *International Endodontic Journal* **35**, 527-35.

Wu M-K, Barkis D, Roris A, Wesselink PR (2002b) Does the first file to bind correspond to the diameter of the canal in the apical region? *International Endodontic Journal* **35**, 264-7

Wu M-K, de Groot SD, van der Sluis LW, Wesselink PR (2003a) The effect of using an inverted master cone in a lateral compaction technique on the density of the gutta-percha fill. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* **96**, 345-50.

Wu MK, van der Sluis LW, Ardila CN, Wesselink PR (2003b) Fluid movement along the coronal two-thirds of root fillings placed by three different gutta-percha techniques. *International Endodontic Journal* **36**:533-40.

Xu Q, Ling J, Cheung GS, Hu Y (2007) A quantitative evaluation of sealing ability of 4 obturation techniques by using a glucose leakage test. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* **104**, 109-13.

Table 1. The canal area, percentages of gutta-percha filled canal area (PGP) and percentage of voids (PV)

Group	Average canal area (range) in mm ²	Average GP area (±SD) in mm ²	Average voids area (±SD) in mm ²	Mean of PGP (±SD) in %	Mean of PV (±SD) in %
I					
3mm	0.54 (0.34-0.85)	0.40 (±0.12)	0.004 (±0.004)	74.8 (±15.2)	0.7 (±0.8)
6mm	1.23 (0.87-1.7)	0.96 (±0.21)	0.01 (±0.01)	78.8 (±8.3)	1.0 (±1.2)
total				76.8 (±12.2)	0.9 (±1.0)
II					
3mm	0.48 (0.31-0.91)	0.34 (±0.12)	0.01 (±0.02)	71.3 (±11.0)	1.2 (±4.3)
6mm	1.15 (0.73-1.94)	0.84 (±0.20)	0.01 (±0.01)	74.7 (±10.1)	0.7 (±1.0)
total				73.0 (±10.6)	0.9 (±3.1)
III					
3mm	0.42 (0.27-0.74)	0.36 (±0.15)	0.01 (±0.01)	87.4 (±10.0)	1.3 (±2.9)
6mm	1.02 (0.61-2.11)	0.90 (±0.45)	0.01 (±0.01)	89.2 (±4.0)	1.2 (±1.2)
total				88.3 (±7.6)	1.3 (±2.2)
Control					
3mm	0.53 (0.36-0.79)	0.33 (±0.06)	0.01 (±0.02)	64.1 (±7.1)	1.9 (±2.0)
6mm	0.96 (0.72-1.36)	0.59 (±0.10)	0.02 (±0.02)	61.9 (±4.5)	2.3 (±2.2)
total				62.6 (±6.3)	2.1 (±2.1)

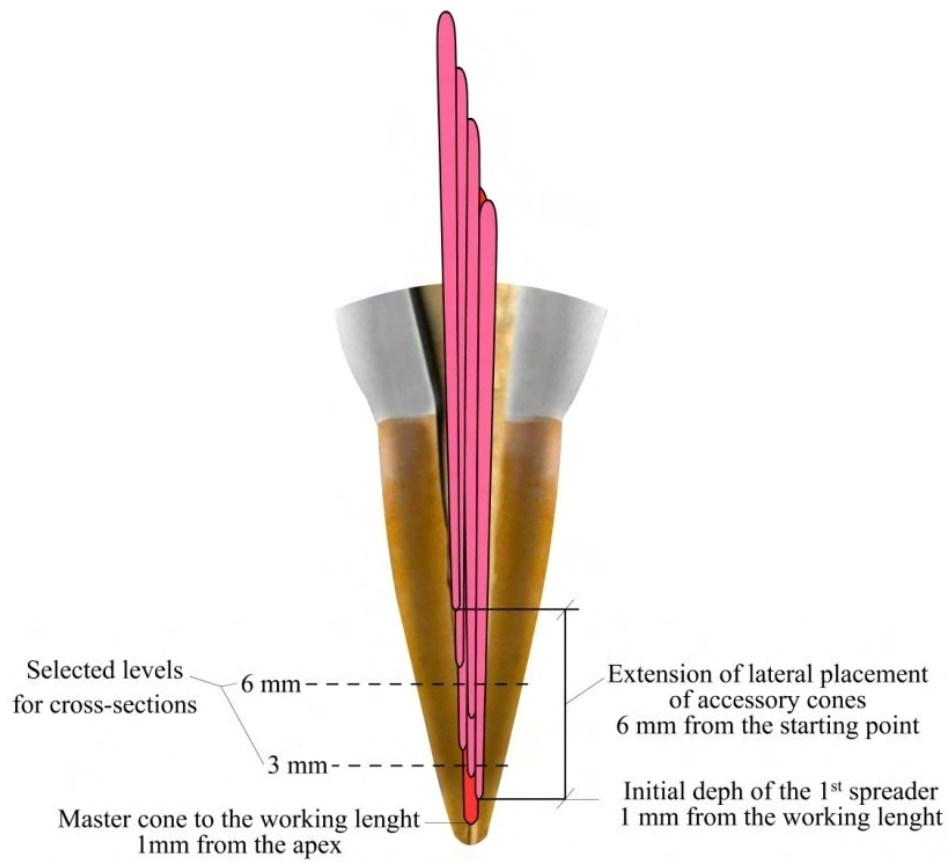


Figure 1: Schematic illustration for lateral placement of accessory gutta-percha cones and root-sectioning

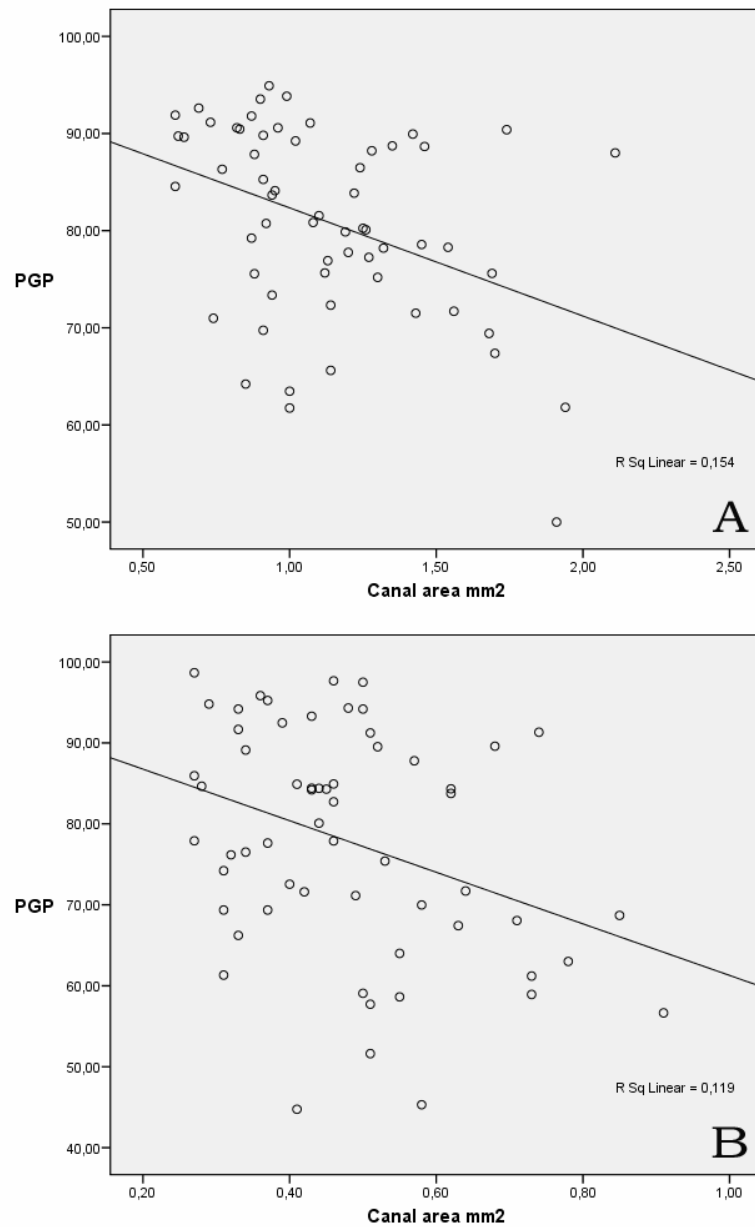


Figure 2: Graph obtained from the linear regression test demonstrating the relationship between canal area and PGP at 3 mm (A) and 6 mm (B) from the apex.

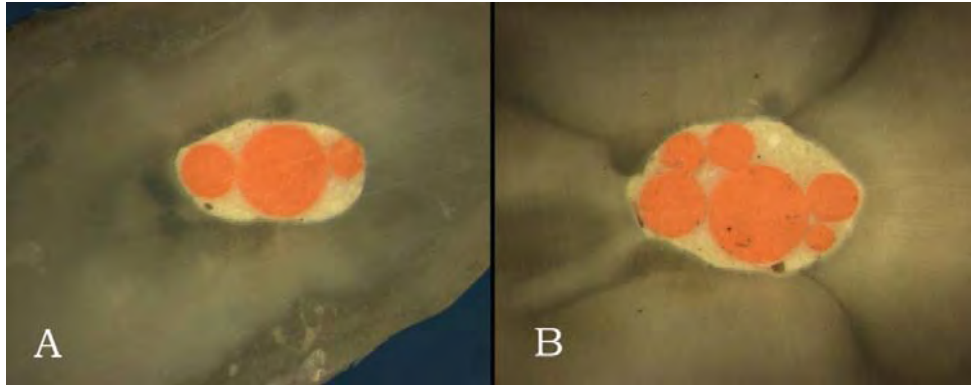


Figure 3: Two cross-sections of a specimen from the control group where spreader was not used: 3 mm (A) and 6 mm (B) from the apex (X50 magnification)

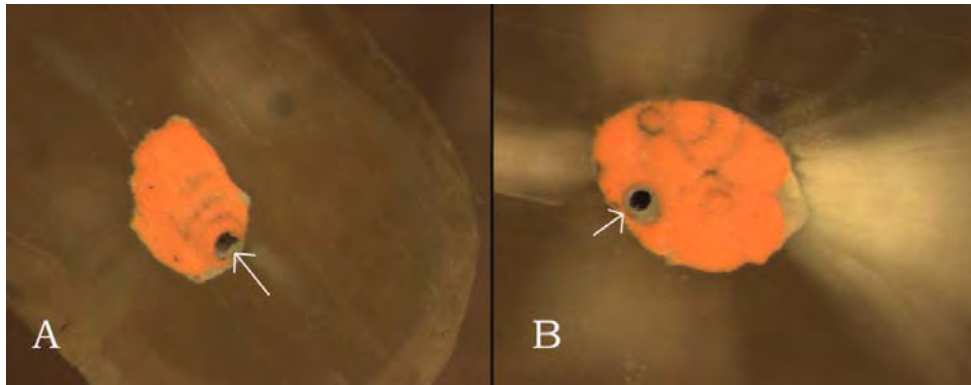


Figure 4: Two cross-sections of group III where a sequence of finger spreaders A-D was used prior to each accessory cone placement at levels 3 mm (A) and 6 mm (B) from the apex (X50 magnification). Arrows demonstrate un-filled spreader tracks

4 CAPÍTULO 2

Este capítulo é constituído pelo seguinte artigo:

Shemesh H, Souza EM, Wu M-K & Wesselink PR. Glucose reactivity with filling materials as a limitation for using the glucose penetration model. Aceito para publicação no periódico International Endodontic Journal.

Ao final do capítulo consta a Carta de Aceitação para publicação no periódico International Endodontic Journal.

No Anexo 2 está incluída a Tabela A4 com os valores individuais de densidade óptica dos diferentes materiais testados.

Glucose reactivity with filling materials as a limitation for using the glucose penetration model

H Shemesh¹, EM Souza², M-K Wu¹, PR Wesselink¹

¹Department of Cariology Endodontology Pedodontlogy, Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA), Amsterdam, The Netherlands

²Department of Restorative Dentistry, Araraquara Dental School, São Paulo State University, UNESP, Araraquara, SP, Brazil

Running title: Glucose reactivity with different dental materials

Key-words: glucose, leakage model, optical density, reactivity

Correspondence:

H Shemesh

Department of Cariology Endodontology Pedodontlogy, Academic Centre for Dentistry Louwesweg 1, 1066 EA Amsterdam, The Netherlands (tel.: +31 20 5188367; fax +31 20 6692881; e-mail: h.shemesh@acta.nl)

Abstract

Aim To check the reactivity of different materials with glucose and to assess the reliability of the glucose penetration model in measuring penetration of glucose through these materials.

Methodology Ten uniform discs (radius 5 mm, thickness 2 mm) were made of each of the following materials: Portland cement, MTA (grey and white), Sealer 26, calcium sulfate, calcium hydroxide - Ca(OH)_2 , AH26, Epiphany, Resilon, gutta-percha and dentine. After keeping the discs 1 week in 37°C and humid conditions, they were immersed in 0.2 mg/mL glucose solution. The concentration of glucose was evaluated using an enzymatic reaction after 1 week.

Results Portland cement, MTA, Ca(OH)_2 and Sealer 26 reduced the concentration of glucose significantly ($P < 0.05$), the other materials did not influence the glucose concentration. Calcium sulfate reduced the concentration of glucose, but the difference in concentrations was not significant ($P = 0.054$).

Conclusions Portland cement, MTA, Ca(OH)_2 and Sealer 26 react with glucose and therefore should not be evaluated for their sealing ability with the glucose penetration model.

Introduction

A new leakage model was suggested recently (Xu *et al.* 2005) using glucose as the tracer. Several studies were published using this model (Shemesh *et al.* 2006, 2007, van der Sluis *et al.* 2007, Zou *et al.* 2007, Kaya *et al.* 2007, Ozok *et al.* 2008) and more are being conducted. This model is based on measurements of glucose concentrations in an apical chamber using a very sensitive enzymatic reaction. A colored substance is produced, and optical density (OD) is determined by a spectrophotometer, translated later to concentration units. The advantages of this model are the relative ease of assembly and operation, the availability of the materials and equipment and the great sensitivity of the test (Shemesh *et al.* 2006).

Since leakage studies are constantly being scrutinized for their clinical relevance and reproducibility (Editorial board of the Journal of Endodontics, 2007), a critical approach to the different leakage models is required. One of the problems of using a tracer for evaluating leakage is that the tracer itself could chemically react with some materials challenging the reliability of such a test in evaluating sealing ability. For example, methylene blue, which is often used for dye leakage studies, was previously shown to discolor when in contact with certain filling materials (Wu *et al.* 1998), while root canal fillings might directly inhibit bacteria in bacterial leakage studies (Pitout *et al.* 2006). The purpose of this experiment was to check the reactivity of glucose solution with different dental materials in order to assess whether glucose is an acceptable tracer for all tested materials.

Materials and Methods

The following materials were mixed according to the manufacturer's instructions and inserted into round plastic molds 2 mm deep with a diameter of 5 mm: Portland cement (Gamma, Leusden, The Netherlands), MTA grey (Angelus, Londrina, Brazil), MTA white (Angelus), Sealer 26 (Dentsply, Petrópolis, Brazil), calcium hydroxide - Ca(OH)_2 - (Merck, Darmstadt, Germany), calcium sulfate - CaO_4S - (Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany), AH26 (Dentsply-Maillefer, Tulsa, OK, USA) and Epiphany sealer (Pentron clinical technologies, Wallingford, CT, USA). The following thermoplastic materials were cut and fitted into similar molds with a warm instrument: Resilon cones (Pentron), gutta-percha cones (Dentsply

De Trey, Konstanz, Germany). Ten molds were filled with each material. Additional 10 dentine discs of similar dimensions were cut from extracted molar teeth. All molds and discs were kept in 37°C and humid conditions. After 1 week the set materials were carefully removed from the molds, forming round discs. Each of the discs was then inserted to a small flacon with 4 mL of glucose 0.2 mg/mL solution. Additional 10 flacons were used as controls containing only 4 mL of glucose 0.2 mg/mL solution. All flacons were kept at 37°C. A sample of 0.1 mL was taken after 1 week from each flacon and was analyzed with a Glucose kit (Megazyme, Wicklow, Ireland) in a spectrophotometer (Molecular Devices, Spectra max 384 plus) at a wavelength of 340 nm. Results were expressed as OD. Statistical analysis was performed using ANOVA and Dunnett test (SPSS version 15.0). Differences were considered at a significance level of $P < 0.05$.

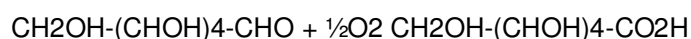
Results

The results are presented in Table 1 and Figure 1. The glucose kit used has a detectable threshold of OD 0.05, so all readings lower than 0.05 were ignored. The glucose flacons with no test material showed the expected OD from a 0.2 mg/mL glucose solution ($OD\ 0.3 \pm 0.05$). Among the materials tested, MTA, Portland cement, Sealer 26 and $Ca(OH)_2$ significantly lowered the OD of the solution after 1 week ($P < 0.05$). Dentine, Resilon, calcium sulfate, Epiphany, AH26 and gutta-percha did not significantly alter the concentration of glucose ($P > 0.05$). Calcium sulfate reduced the concentration of glucose, but the difference in concentrations was not significant ($P = 0.054$).

Discussion

After 1 week in contact with glucose some of the materials tested significantly reduced the OD of the glucose reaction to the level of water (Fig.1). Since all glucose penetration tests published so far checked the penetration of glucose for periods ranging from 20 days (Zou *et al.* 2007) to 56 days (Shemesh *et al.* 2006) an observation period of 1 week seems relevant when coming to assess the reactivity of different materials with the tracer.

Glucose (an aldohexose) in an alkaline solution is slowly oxidized by oxygen, forming gluconic acid:



In the presence of sodium hydroxide, for example, gluconic acid is converted to sodium gluconate (Sowden & Schaffer 1952). This means that glucose will not be detected by the glucose kit and could thus mask leakage in the glucose penetration model.

Interestingly, Sealer 26 contains Ca(OH)_2 (Duarte *et al.* 2000), while MTA CaOH (Camilleri 2007). It seems that Ca(OH)_2 containing products directly react with glucose. This reaction could also be initiated by traces of Ca(OH)_2 left in the canal when used as an intra-canal medication. Measuring leakage by glucose concentrations could be influenced by this chemical reaction.

Zou *et al.* (2007) used the glucose penetration model and concluded that calcium sulfate significantly improved the sealing of 1 mm perforations repaired with composite resin. Although we were unable to demonstrate that calcium sulfate influences glucose ($P=0.054$), the P value is small and we cannot exclude the possibility that calcium sulfate might have an influence. Calcium sulfate could be better evaluated for its sealing properties by another tracer or model.

In the glucose penetration model, a 1M glucose solution is used as the tracer and placed in the upper chamber of the model assembly (Xu *et al.* 2005). This concentration is much higher than the linear range detected by the glucose kits: 4-80 μg of glucose per assay (Glucose – HK assay procedure, Megazyme international limited, 2004). However, the range of glucose concentrations measured in the apical chamber during a leakage test is depended on the amount of glucose that penetrated through the canal and demonstrates a large range of concentrations (Shemesh *et al.* 2006). In the current experiment a glucose concentration of 0.2 mg/mL (20 μg per assay) was chosen as it lies within the linear range of detection of the glucose kit used and could give more accurate information on the variations in glucose concentrations after immersion with different materials.

Conclusion

The observation that certain materials react with glucose suggests that evaluating these materials with the glucose penetration model might lead to erroneous conclusions. An investigation of the influence of tested materials on glucose should always precede glucose penetration tests in order to validate the conclusions from such studies.

References

- Camilleri J (2007) Hydration mechanisms of mineral trioxide aggregate. *International Endodontic Journal* **40**, 462-70.
- Duarte MA, Demarchi AC, Giaxa MH, Kuga MC, Fraga SC, de Souza LC (2000) Evaluation of pH and calcium ion release of three root canal sealers. *Journal of Endodontics* **26**, 389-90.
- Kaya BU, Kececi AD, Belli S (2007) Evaluation of the sealing ability of gutta-percha and thermoplastic synthetic polymer-based systems along the root canals through the glucose penetration model. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics* **104**, 66-73.
- Ozok AR, van der Sluis LWM, Wu MK, Wesselink PR (2008) Sealing ability of a new polydimethylsiloxane-based root canal filling material. *Journal of Endodontics* **34**, 204-207.
- Pitout E, Oberholzer TG, Blignaut E, Molepo J (2006) Coronal leakage of teeth root-filled with gutta-percha or Resilon root canal filling material. *Journal of Endodontics* **32**, 879-81.
- Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR (2006) Leakage along apical root fillings with and without smear layer using two different leakage models: a two-month longitudinal ex vivo study. *International Endodontic Journal* **39**, 968-76.
- Shemesh H, van den Bos M, Wu MK, Wesselink PR (2007) Glucose penetration and fluid transport through coronal root structure and filled root canals. *International Endodontic Journal* **40**, 866-72.
- van der Sluis LW, Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR (2007) An evaluation of the influence of passive ultrasonic irrigation on the seal of root canal fillings. *International Endodontic Journal* **40**, 356-61.

Sowden JC, Schaffer R (1952) The Reaction of D-Glucose, D-Mannose and D-Fructose in 0.035 N Sodium Hydroxide at 35. *Journal of the American Chemical Society* **74**, 499-504.

Wanted: a base of evidence. [editorial] (2007) *Journal of Endodontics* **33**, 1401-2.

Wu MK, Kontakiotis EG, Wesselink PR (1998) Decoloration of 1% methylene blue solution in contact with dental filling materials. *Journal of Dentistry* **26**, 585-9.

Xu Q, Fan MW, Fan B, Cheung GS, Hu HL (2005) A new quantitative method using glucose for analysis of endodontic leakage. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics* **99**, 107-11.

Xu Q, Ling J, Cheung GS, Hu Y (2007) A quantitative evaluation of sealing ability of 4 obturation techniques by using a glucose leakage test. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics* **104**, 109-13.

Zou L, Liu J, Yin SH, Tan J, Wang FM, Li W, Xue J (2007) Effect of placement of calcium sulphate when used for the repair of furcation perforations on the seal produced by a resin-based material. *International Endodontic Journal* **40**, 100-5.

Table 1 Average Optical Density (OD), standard deviation (SD) and *P* value of the OD measured after 1 week immersion with different materials. The kit used has a detectable threshold of OD 0.05

Material	Average OD $\pm$ SD	<i>P</i> value (compared to Glucose)
water	0 $\pm$ 0.005	<0.001
Glucose standard	0.290$\pm$0.010	---
Dentine	0.293 $\pm$ 0.007	0.999
Portland cement	0 $\pm$ 0.007	0.005
MTA-grey	0 $\pm$ 0.004	<0.001
MTA-white	0 $\pm$ 0.007	<0.001
Sealer 26	0 $\pm$ 0.027	<0.001
Ca(OH) ₂	0 $\pm$ 0.005	<0.001
calcium sulfate	0.275 $\pm$ 0.007	0.054
AH26	0.282 $\pm$ 0.007	0.645
Epiphany	0.290 $\pm$ 0.017	1.000
Resilon	0.300 $\pm$ 0.015	0.382
gutta-percha	0.297 $\pm$ 0.008	0.781

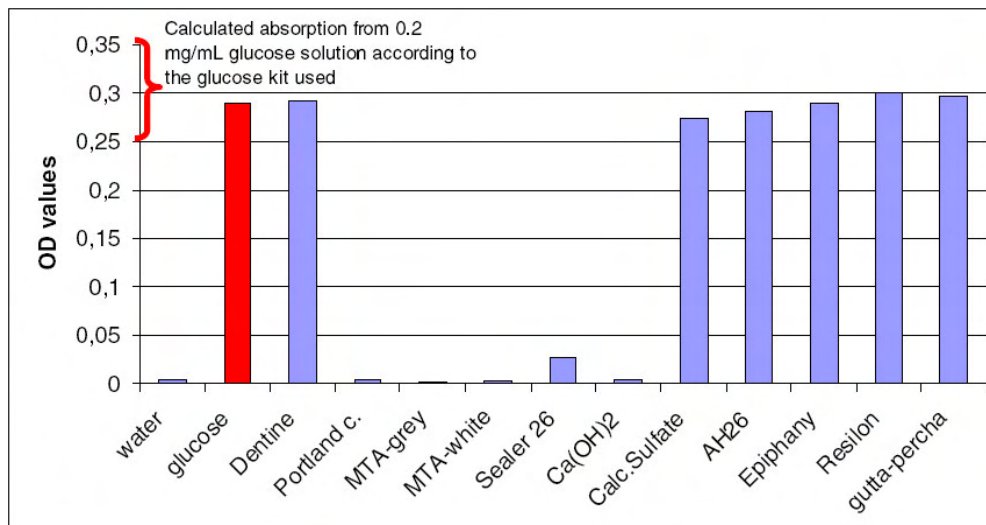


Figure 1 The measured Optical Density (OD) of 0.2 mg/mL glucose solution after one week immersion with different materials. Portland cement, MTA grey and white, Sealer 26 and calcium hydroxide reduced the OD of glucose solutions values to the level of water

Decision Letter

17-Mar-2008

Dear Mr. Shemesh

Manuscript ID: IEJ-08-00028

Manuscript Title: Glucose reactivity with filling materials as a limitation for using the glucose-leakage model

I am pleased to inform you that your manuscript has been accepted for publication in the International Endodontic Journal subject to major changes being made.

When submitting your revised manuscript, you will be able to respond to the comments made by the referees(s) in the space provided. You can use this space to document any changes you have made to the original manuscript. Please be as specific as possible in your response to the referee(s).

I look forward to receiving your revised manuscript.

Kind regards

Paul Dummer

Editor, International Endodontic Journal iejeditor@cardiff.ac.uk

5 CAPÍTULO 3

Este capítulo é constituído pelo seguinte artigo:

Souza EM, Wu M-K, Shemesh H, Bonetti-Filho I & Wesselink PR. Comparability of the results of two leakage models. Aceito para publicação no periódico Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology.

Ao final do capítulo consta a Carta de Aceitação para publicação no periódico Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology.

No Anexo 3 consta a Tabela A5 com os valores individuais de infiltração nos 80 espécimes testados nos modelos de transporte de fluidos e penetração de glicose.

Comparability of the results of two leakage models

Erick Miranda Souza, MSc,^a Min-Kai Wu, MD, MSD, PhD,^b Hagay Shemesh, DMD,^c Idomeo Bonetti-Filho, PhD,^d and Paul R. Wesselink, DDS, PhD,^e

^aPhD student

^dAssistant professor

Department of Restorative Dentistry, Araraquara Dental School, São Paulo State University, UNESP, Araraquara, SP, Brazil

^bSenior scientist

^cLecturer

^eProfessor and Chairman

Department of Cariology Endodontology Pedodontlogy, Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA), Amsterdam, The Netherlands

Corresponding author:

Min-Kai Wu

Department of Cariology Endodontology Pedodontlogy, Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA), Louwesweg 1, 1066 EA Amsterdam, The Netherlands (tel.: +31 20 5188367; fax +31 20 6692881; e-mail: m.wu@acta.nl)

ABSTRACT

Objective: The goal of this study was to check whether leakage results of the same specimens measured by two different leakage models are comparable.

Study design: Canine root canals were prepared and filled with cold gutta-percha cones and one of four sealers (20 canals each sealer). The 80 specimens were first connected to a fluid transport model where air-bubble movement was measured. The same specimens were later connected to a glucose penetration model where the concentration of glucose was measured. In both models, a headspace pressure of 30 kPa was used to accelerate leakage.

Results: In both models four sealers ranked the same regarding the leakage they allowed and a significant correlation between the results of the two models was confirmed (Spearman test, coefficient=0.65, $P=0.000001$).

Conclusion: Under conditions of the present study, leakage results of 80 specimens recorded in the fluid transport model and glucose penetration model were comparable.

Keywords: Leakage, Fluid transport model, Glucose penetration model, Sealer

INTRODUCTION

In order to achieve periapical healing, root fillings should prevent coronal re-infection and meanwhile entomb remaining bacteria.¹ In a study by Felipe et al.,² roots of dogs' teeth and periapical tissues were examined histologically five months following different endodontic treatments. Prepared but unfilled canals were associated with severe chronic periapical inflammatory reaction and severe bone and root resorption.

Defective root fillings, which provide pathways for bacteria and toxins to the periapex, are not always identified with two-dimensional radiographs. A recent treatment outcome study reported reduced success rates when the root filling contained radiographically detectable voids (poor root filling density or dark lines along the filling).³ Therefore, root fillings should present as few voids as possible, and once present, the voids should be as narrow as possible.

Different leakage models including fluid transport⁴ and glucose penetration⁵ have been used to in vitro determine the presence of voids along the root filling. As new materials are continuously developing, so is the need for assessing their sealing ability. Results of different in vitro leakage tests are used to rank various materials. However, it has rarely been studied whether the results of same specimens recorded in different leakage models are comparable.

The purpose of this study was to investigate the comparability of leakage results of the same specimens recorded in the fluid transport model and glucose penetration model.

MATERIALS AND METHODS

One hundred recently-extracted maxillary and mandibular canines were selected and proximal radiographs were taken to confirm the presence of a single canal. The coronal parts were removed leaving roots 15 mm in length.

Instrumentation

Canals were prepared with K-files #15 to #50 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) to 1 mm short of the apical foramen. This enlargement was chosen following the recommendations of Tronstad.⁶ A step-back flaring

technique was performed at 2 mm increments with Gates-Glidden burs #2-6. File #50 was used to smooth the irregularities left by this flaring regimen. Canals were rinsed between each instrument with 2 mL of 2% NaOCl solution. One minute of passive ultrasonic irrigation was performed using a #15 Endosonore file (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland).⁷ As the apical diameter of canines could be larger than 0.2 mm,⁸ a K-file #30 was used to verify patency and assure that the apical foramen is not smaller than #30. Canals were rinsed with NaOCl and dried using paper points.

Roots were randomly divided into four experimental groups (20 each) according to the sealers tested, AH26 (Dentsply Detrey GmbH, Konstanz, Germany), AH Plus (Dentsply Detrey GmbH, Konstanz, Germany), RSA (Roeko Dental Products, Langenau, Germany) and an Experimental Castor Oil Polymer (Polifil[®], Poliquil Araraquara Polímeros Químicos Ltda, Araraquara, Brazil), and two control groups (10 each).

Obturation

Polifil[®] is commercially available and consists of a paste (polyester), liquid (biphenyl methane isocyanine) and zinc oxide. The manufacturer's instructions were followed and 2.5 g of supplied zinc oxide was mixed with 1.0 g of paste and inserted into a plastic syringe. This was then mixed with the liquid in a 3:1 ratio on a glass plate. The other three sealers were prepared following manufacturer's recommendations.

Sealers were introduced into the canal twice, 5 seconds each, using a bi-directional spiral #25 (EDS, Hackensack, NJ, USA). A gutta-percha cone #50 (Henry Schein Inc., Mexico City, Mexico), coated with sealer, was placed into the canal followed by two standard accessory cones #25 placed to a depth where resistance was met. No spreader was used.

Eleven mm of the coronal gutta-percha was removed directly after obturation with a heated plugger, leaving the apical 4 mm to be subjected to the leakage tests.

In the positive control, lateral compaction of gutta-percha was performed without sealer. Negative controls were filled with 3 gutta-percha cones and AH26 and the external root surface completely covered with cyanoacrylate.⁹

To facilitate the leakage setting-up, the coronal 8 mm of the specimens

was embedded in acrylic resin to form a cylinder around the root. Specimens were then stored for 1 month at 37 °C and 100% humidity for sealers' setting.

Fluid transport

Roots were mounted on a fluid transport model previously described⁴ and shown in Fig. 1a. A 30 kPa (360 cm H₂O) headspace pressure was applied and after 3 h, 6 h and 24 h, the air-bubble movement (in µL) in the capillary tube was recorded. (Fig 1a)

Glucose penetration

Twenty four hours after finishing fluid transport readings, samples were mounted on a glucose penetration model (Fig. 1b) where glucose solution was placed in the coronal reservoir. A headspace pressure of 30 kPa was created by connecting the open orifice of the pipette to a pressure source (Fig. 1b). After 24 h a sample of 100 µL was taken from the apical reservoir and the glucose concentration was measured.

The samples were analyzed using a Glucose kit (Megazyme, Wicklow, Ireland) in a spectrophotometer (Spectra Max 384 plus, Molecular Devices) at a wavelength of 340 nm.⁵ Glucose concentrations were presented in mg mL⁻¹.

Because glucose is a chemical compound, its concentration might be influenced when in contact with different materials. Therefore, prior to the experiment, all sealers were placed in contact with a standard glucose solution for one week and the concentration of glucose was determined after one week. No variations in glucose concentration were observed.

Kruskal-Wallis and Mann-Whitney tests checked differences among the four sealer groups and Spearman test verified the correlation between the results of two models (SPSS, version 12.0.1, Chicago, Ill, USA). Chi-square test detected differences in the number of leaking samples demonstrated by the fluid transport model at different time intervals (Sigma Stat, version 3.1, San Jose, USA).

RESULTS

In the fluid transport test, no movement of the air bubble was detected in

the negative controls. All positive controls showed bubble movement that exceeded the pipette length within 3 h. In the glucose penetration test, no glucose penetration was detected in the negative controls. In all positive controls, glucose penetrated completely to the apical reservoir within 24 h.

Tables 1 and 2 show the results of the experimental groups. After 24 h, in both models, RSA showed the best sealing whereas AH Plus leaked the most ($P<0.01$); no significant difference between RSA and Polifil® was observed ($P=0.15$, fluid transport; $P=0.89$, glucose penetration).

When the fluid transport model was used, significantly more leaking samples were detected after 24 h than after 3 or 6 h (Table 2) ($P<0.01$).

A positive correlation was observed between the results of both models (Fig. 2) (coefficient=0.65, $P=0.000001$).

DISCUSSION

In the original glucose model,⁵ the headspace pressure was 15 cm of glucose solution. In the present study a higher headspace pressure of 30 kPa (360 cm H₂O) was applied to accelerate glucose penetration and create conditions comparable to those for the fluid transport. Thus, water or glucose solution that moved to the apical chamber under the same headspace pressure was quantified. In fluid transport, air-bubble movement was measured to indicate the volume of water penetration; in glucose penetration, the concentration of glucose in the apical chamber was measured to indicate the volume of glucose solution movement.

Fluid transport and glucose penetration occur only through voids that are completely open, while cul-de-sac type voids prevent fluid transport or glucose penetration.^{10,11} It has been shown that neither water nor glucose solution penetrate through root dentin.¹² Thus, evidence of fluid transport or glucose penetration demonstrates the existence of at least one continuous void along the root filling. A higher value for fluid transport or glucose penetration indicates that the total volume of the voids is bigger.^{10,11}

In this study, 24 h after fluid transport, the specimens were connected to the second model where the concentration of glucose was measured. When the same specimens are tested by two models, comparability of the results could be considered as a measure of the models' reliability. However, one may argue that

running the specimens through the fluid transport system under 30 kPa pressure had changed the property of the filling and affected the results of glucose penetration. In a study by Wu et al. the amount of fluid transport along the same root fillings was examined.¹³ Fluid transport under headspace pressure of 60 kPa was measured every 2 h. All specimens filled by lateral compaction, vertical compaction and single cone showed consistent values, indicating that the 60 kPa headspace pressure did not result in detectable damage to the root fillings.

In previous studies where fluid transport was measured, the headspace pressure was applied for a certain period of time from a few minutes to 24 h.^{4,14,15} In order to investigate whether the time of fluid transport plays a role in detection of leaking samples, fluid transport was recorded also after 3 and 6 h. Significantly more leaking samples were detected after 24 h than after 3 and 6 h (Table 2). Presumably, samples presented with narrow voids required longer pressure time to display detectable fluid accumulation in the apical reservoir. This is supported by the observation that only 1 to 2 μ L of fluid transport was recorded after 24 h (Table 1).

The purpose of this study was to examine whether the same root fillings displayed comparable amount of leakage in two different leakage models, rather than test specific root filling techniques. Only three gutta-percha cones were used to fill each canal in order to simplify the procedure. Spreader was not used because of the difficulty to standardize the spreader load and the number and size of spreader tracks.^{16,17} Furthermore, using no spreader may prevent root fracture.

Similar techniques, where no compaction forces are used, have been included in several recent studies and in some of them showed a comparable sealing ability to compaction techniques.¹⁸⁻²¹ Therefore, the results of this study should provide useful information about the four sealers used whenever these non-compaction techniques are accepted.

AH Plus is considered as a new generation of AH26, having a faster setting time.²² The accelerated setting time may cause shrinkage stress leading to debonding of sealer from the root canal wall.^{23,24} In addition, silicon oils present in the sealer were claimed to affect its sealing properties.^{24,25} In accordance with other studies, RSA sealer displayed effective sealing,^{21,26,27} which may be due to its slight expansion during setting^{28,29} and close adaptation to dentinal walls.³⁰

Polifil® is a polyurethane (polyester)³¹ mixed with zinc oxide. According to our results, Polifil® may become a promising endodontic sealer. Similar tissue response has been observed both to Polifil® and calcium hydroxide sealer.³²

Under conditions in this study, results of the same specimens recorded in the fluid transport model and glucose penetration model were comparable.

ACKNOWLEDGEMENT

The work of Erick Miranda Souza was supported by MEC/CAPES (Foundation for the Coordination of Higher Education and Graduate Training) as an exchange Scholarship. This study was conducted at the Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA), The Netherlands.

REFERENCES

1. Torabinejad M, Ung B, Kettering JD. In vitro bacterial penetration of coronally unsealed endodontically treated teeth. *J Endod* 1990; 16:566-9.
2. Felipe WT, Felipe MCS, Rocha MJC. The effect of mineral trioxide aggregate on the apexification and periapical healing of teeth with incomplete root formation. *Int Endod J* 2006; 39:2-9.
3. Ørstavik D, Qvist V, Stoltze K. A multivariate analysis of the outcome of endodontic treatment. *Eur J Oral Sci* 2004; 112:224-30.
4. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR, Moorers WR. Fluid transport and bacterial penetration along root canal fillings. *Int Endod J* 1993; 26:203-8.
5. Xu Q, Fan MW, Fan B, Cheung GS, Hu HL. A new quantitative method using glucose for analysis of endodontic leakage. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005; 99:107-11.
6. Tronstad L. *Clinical Endodontics*, Thieme, New York 1991;190-196.
7. van der Sluis LW, Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR. An evaluation of the influence of passive ultrasonic irrigation on the seal of root canal fillings. *Int Endod J* 2007; 40:356-61.
8. Wu MK, R'oris A, Barkis D, Wesselink PR. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000; 89:739-43.
9. Campos TN, Inoue CH, Yamamoto E, Araki AT, Adachi LK, Rodriguez JE. Evaluation of the apical seal after intraradicular retainer removal with ultrasound or carbide bur. *Braz Oral Res* 2007;21:253-8.
10. Pashley DH. Dentine permeability: theory and practice. In: Spånberg LSW. Editor. *Experimental Endodontics*. Florida: CRC Press; 1990. p.19-49.
11. Van den Berg HR, Ten Seldam CA, Van der Gulik PS. Compressible laminar flow in a capillary. *J Fluid Mech* 1993; 246:1-20.
12. Shemesh H, van den Bos M, Wu M-K, Wesselink PR. Glucose penetration and fluid transport through coronal root structure and filled root canals. *Int Endod J* 2007; 40:866-72.
13. Wu MK, van der Sluis LWM, Ardila CN, Wesselink PR. Fluid movement along the coronal two-third of root fillings placed by three different gutta-percha techniques. *Int Endod J* 2003; 36:533-40.

14. Cobankara FK, Adanir N, Belli S, Pashley DH. A quantitative evaluation of apical leakage of four root-canal sealers. *Int Endod J* 2002; 35:979-84.
15. Pommel L, Camps J. Effects of pressure and measurement time on the fluid filtration method in endodontics. *J Endod* 2001; 27:256-8.
16. Budd CS, Weller RN, Kulild JC. A comparison of thermoplasticized injectable gutta-percha obturation techniques. *J Endod* 1991; 17:260-4.
17. Jarrett IS, Marx D, Covey D, Karmazin M, Lavin M, Gound T. Percentage of canals filled in apical cross sections: an in vitro study of seven obturation techniques. *Int Endod J* 2004; 37:392-8.
18. Dalat DM, Spångberg LS. Comparison of apical leakage in root canals obturated with various gutta-percha techniques using a dye vacuum tracing method. *J Endod* 1994; 20:315-9.
19. Cohen BI, Pagnillo MK, Musikant BL, Deutsch AS. The evaluation of apical leakage for three endodontic fill systems. *Gen Dent* 1998; 46:618-23.
20. Pommel L, Camps J. In vitro apical leakage of System B compared with other filling techniques. *J Endod* 2001; 27:449-51.
21. Wu MK, van der Sluis LW, Wesselink PR. A 1-year follow-up study on leakage of single-cone fillings with RoekoRSA sealer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 101:662-7.
22. Cohen BI, Pagnillo MK, Musikant BL, Deutsch AS. An in vitro study of the cytotoxicity of the two root canal sealers. *J Endod* 2000; 26:228-9.
23. Zmener O, Spielberg C, Lamberghini F, Rucci M. Sealing properties of a new epoxy resin-based root-canal sealer. *Int Endod J* 1997; 30:332-4.
24. Miletic I, Anic I, Pezelj-Ribaric S, Jukic S. Leakage of five root canal sealers. *Int Endod J* 1999; 32:415-8.
25. De Moor RJ, De Boever JG. The sealing ability of an epoxy resin root canal sealer used with five gutta-percha obturation techniques. *Endod Dent Traumatol* 2000; 16:291-7.
26. Cobankara FK, Adanir N, Belli S, Pashley DH. A quantitative evaluation of apical leakage of four root-canal sealers. *Int Endod J* 2002; 35:979-84.
27. Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R. Influence of moisture on the apical seal of root canal fillings with five different types of sealer. *J Endod* 2007; 33:31-3.

28. Kazemi RB, Safavi KE, Spångberg LSW. Dimensional changes of endodontic sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1993; 76:766-71.
29. Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs JE. Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dental Materials* 2001; 17:512-9.
30. Gençoglu N, Türkmen C, Ahiskali R. A new silicon-based root canal sealer (Roekoseal®-Automix) *J Oral Rehabil* 2003; 30:753-7.
31. Pereira-Júnior OCM, Rahal SC, Iamaguti P, Felisbino SL, Pavan PT, Vulcano LC. Comparison between polyurethanes containing castor oil (soft segment) and cancellous bone autograft in the treatment of segmental bone defect induced in rabbits. *J Biomater Appl* 2007; 21:283-97.
32. Perassi, FT. Tecidual response of EndoRez sealer and a castor oil-based sealer compared to Endofill and Sealapex: a morphologic study (PhD thesis). Araraquara, Brazil: São Paulo State University 2004.

Table 1 Leakage of four sealers: fluid transport and glucose penetration

Sealer	Fluid transport in μL			Glucose concentration in mg mL^{-1}
	3 h	6 h	24 h	24 h
AH26 (n=20)				
Median (range)	0 (0-1)	0 (0-2)	0 (0-4)	0.01 (0-1.2)
Mean (SD)	0.2 (0.41)	0.25 (0.55)	0.85 (1.73)	0.10 (0.30)
RSA (n=20)				
Median (range)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-1)	0 (0-0.05)
Mean (SD)	0 (0)	0 (0)	0.05 (0.22)	0.01 (0.01)
AH Plus (n=20)				
Median (range)	0 (0-1)	0 (0-2)	1 (0-4)	0.02 (0-1.3)
Mean (SD)	0.2 (0.41)	0.35 (0.67)	1.20 (1.20)	0.23 (0.43)
Polifil [®] (n=20)				
Median (range)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-2)	0 (0-0.1)
Mean (SD)	0 (0)	0 (0)	0.25 (0.55)	0.02 (0.03)

Table 2 Number of leaking samples detected by the fluid transport model at different time intervals

Sealer	Number of leaking samples		
	3 h	6 h	24 h
AH26 (n=20)	4	4	8
RSA (n=20)	0	0	1
AH Plus (n=20)	4	5	14
Polifil [®] (n=20)	0	0	3
Total (n=80)	8	9	26

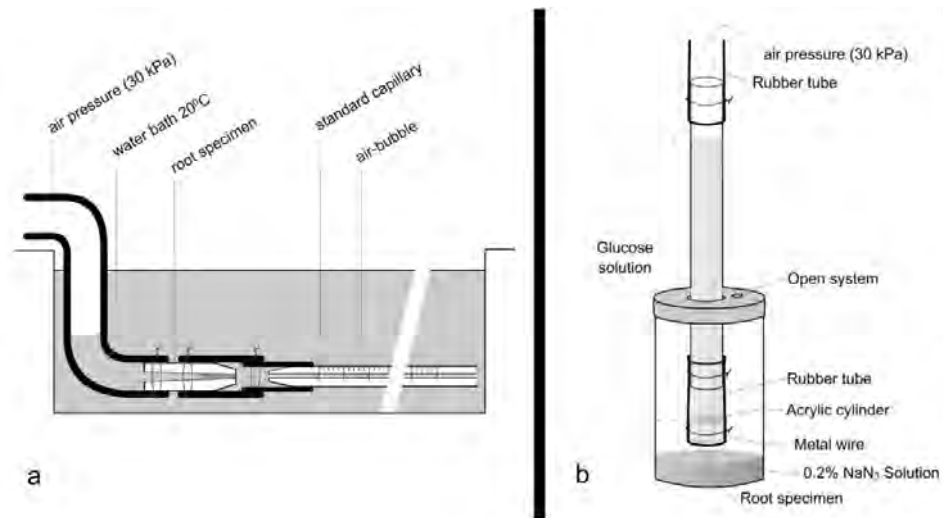


Figure 1: Schematic illustration of two models. a. fluid transport. b. glucose penetration

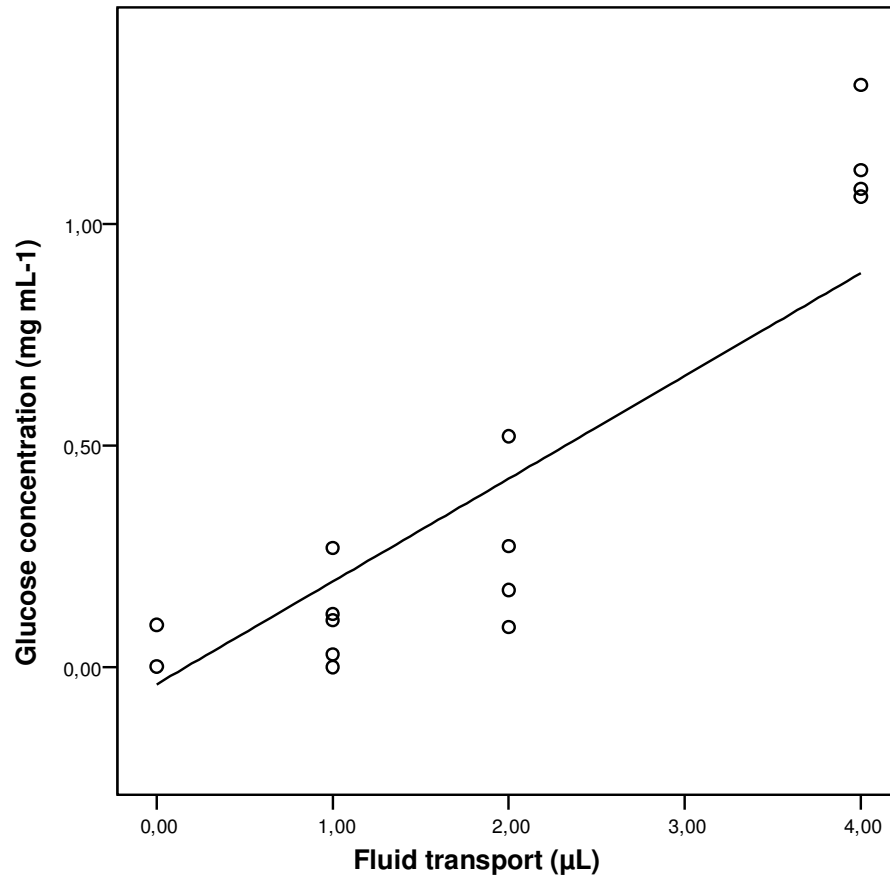


Figure 2: Correlation between the 24 h-results of 80 specimens recorded in two models (coefficient=0.65, $P=0.000001$)

Decision Letter

Ms. Ref. No.: TRIPLEO-D-08-00074R1

Title: Comparability of the results of two leakage models

Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and
Endodontology.

Dear Dr. Wu,

I am writing concerning your paper, "Comparability of the results of two leakage models", which you recently submitted to Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology. Your paper has once again been carefully reviewed. I am pleased to inform you that your revised paper has been accepted for publication.

Edited galley sheets will be e-mailed to you in the reasonably near future.

Thank you for preparing this informative article for the readership of the Journal. I hope you will also consider us again in the future.

Sincerely yours,

Larz S. W. Spangberg, DDS, PhD

Section Editor, Endodontology

Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology

6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A obturação do canal radicular se constitui primordialmente em uma barreira física ao acesso de bactérias e toxinas em direção ao ápice radicular²⁷. Em um recente estudo, baixos níveis de sucesso foram reportados em dentes com falhas radiográficas na obturação (baixa densidade radiográfica ou linhas radiolúcidas na obturação)²⁹. Como falhas na obturação nem sempre são detectadas em radiografias comuns, são necessárias análises laboratoriais para avaliação da qualidade alcançada por diferentes materiais e técnicas de obturação em Endodontia.

No primeiro capítulo desta tese a quantificação da densidade de GP em secções transversais de dentes obturados foi utilizada como parâmetro para qualificar variações na técnica de LC. Nos demais capítulos, uma nova técnica de análise da qualidade da obturação baseada na penetração da glicose pela falha na obturação foi avaliada no que tange a reatividade da glicose com diferentes materiais obturadores e a confiabilidade dos resultados demonstrados pela técnica. Desta forma, os estudos incluídos nesta tese permitem a discussão a cerca da qualidade da obturação do canal radicular alcançada por diferentes técnicas e materiais obturadores, bem como contribuem para a validação do método de PG.

Originalmente a técnica de LC baseia-se na idéia de que a densidade de GP no canal radicular deve ser a maior possível em virtude da maioria dos cimentos endodônticos não ser dimensionalmente estável^{23,24,28}. Desta forma, um espaçador é colocado lateralmente aos cones para compactar a GP em direção às paredes do canal radicular possibilitando a inserção de cones acessórios o mais apical possível¹⁹. Apesar de, clinicamente, a resistência à penetração do espaçador indicar que não há mais espaço apical para a colocação de cones de GP, os resultados do primeiro estudo demonstram que a qualidade da obturação em relação à densidade de GP é na verdade imprevisível.

A área do canal influencia na qualidade, uma vez que quanto maior a área do canal nos níveis 6 e 3 mm do ápice, menor a PGP. Como os cones de GP são cônicos, a técnica de LC é dependente da conicidade alcançada durante o preparo do canal². Se a adequada conicidade não for obtida há um grande

risco de ocorrer uma obturação prematura da porção coronária do canal radicular, impedindo a posterior penetração apical do espaçador². Em canais originalmente amplos na porção apical⁵⁵, alcançar a conicidade desejada pode ser uma tarefa ainda mais difícil, uma vez que é impossível determinar clinicamente o diâmetro inicial do canal. Já foi demonstrado que a primeira lima que se prende no comprimento de trabalho, não é equivalente ao diâmetro apical⁴⁸. Uma clara indicação da impossibilidade de determinação do diâmetro apical do canal radicular é observada nos resultados do próprio estudo, onde, apesar de selecionados dentes com canais de dimensões radiográficas semelhantes e instrumentados pela mesma técnica, foram observadas secções com área do canal de 2 a 3 vezes maior que outras no mesmo nível de secção, nos dois níveis avaliados. Variações na área do canal como esta já foram reportadas⁵⁷. Como não é possível prever o tamanho original do canal apical torna-se difícil alcançar a suposta conicidade ideal para realizar LC evitando o risco de obturação prematura. Um canino inferior pode, por exemplo, ter originalmente 1,6 mm de diâmetro ao nível 5 mm do ápice⁵⁵, onde, mesmo usando uma broca de Gates-Glidden nº 6 (diâmetro 1,5 mm), a conicidade ideal não será alcançada⁵¹.

Considerando que no presente estudo, a instrumentação cervical em todos os canais foi padronizada (diâmetro 110), em canais apicais originalmente mais amplos, a conicidade conseqüentemente foi menor e, portanto, a PGP apical inferior. Sabendo-se da imprevisibilidade do diâmetro apical em dentes naturais é possível entender os resultados de um estudo realizado por Gordon et al.¹⁴, onde canais simulados de resina (diâmetro apical padrão) e em dentes humanos extraídos (diâmetro apical imprevisível) foram instrumentados e obturados pela mesma técnica de LC. A PGP na região apical caiu de 96% em canais simulados para 78% em dentes naturais o que indica que as variações na área do canal em dentes naturais influenciaram a qualidade apical da técnica de LC, como comprovado no capítulo 1.

Em nosso estudo, assim como em vários estudos^{10,14,17,21}, a PGP observada no nível 3 mm em todos os três grupos onde LC foi realizada foi menor que no nível 6 mm, indicando uma tendência à obturação prematura das porções coronárias do canal usando LC. No grupo II, onde cones acessórios com grande conicidade (0,034 mm/mm) foram utilizados, a ocorrência de

obturação prematura da porção coronária do canal foi ainda maior, uma vez que a PGP apical alcançada neste grupo foi a menor entre os três grupos onde LC foi realizada e, 16, 1% inferior à do grupo III. No presente estudo, todos os caninos foram instrumentados até o diâmetro apical 50 e conicidade 0,1 mm/mm. Considerando que uma excessiva instrumentação do canal, enfraquece a raiz e aumenta o risco à fratura, um desgaste coronal adicional com o objetivo de diminuir o risco de obturação prematura da porção coronária e aumentar a densidade apical de GP no grupo II é questionável.

A área do canal e a conicidade não foram os únicos fatores que influenciaram a qualidade das obturações compactadas lateralmente. No grupo III, o uso de uma seqüência de espaçadores (A-D) antes da colocação de um cone acessório, claramente foi responsável pela maior densidade de guta alcançada nesta técnica. No entanto, apesar de apresentar uma PGP na região apical similar a termocompactação da GP com System B^{8,13,38}, clinicamente esta técnica consome um maior tempo clínico que a LC convencional, pois no mínimo 1 minuto é necessário para a colocação de um cone acessório.

Um grupo controle onde nenhum espaçador foi utilizado para fazer compactação lateral da guta foi adicionado ao estudo. A idéia inicial foi promover um controle em relação à quantidade adicional de PGP que o uso do espaçador poderia proporcionar. Este grupo não foi incluído no teste estatístico para evitar que os valores inferiores em relação à PGP influenciassem as diferenças entre os grupos onde o espaçador foi utilizado. A menor PGP e maior área de falhas (PV) foram observadas no grupo controle. É possível que o volume final do cimento no interior do canal tenha sido insuficiente devido ao tamanho do instrumento utilizado para levar o cimento ao canal radicular (bi-directional spiral diâmetro 25) ser muito reduzido em relação à preparação do canal (diâmetro 50/conicidade 0,10). 100% de área obturada com GP e cimento já foi observada em secções transversais de canais radiculares obturados com menor diâmetro apical e conicidade (40/0,05) usando bi-directional para levar cimento ao canal⁵⁶. Apesar de estes resultados indicarem que o uso de espaçador ajuda na distribuição do cimento e a reduzir falhas, nos grupos obturados com LC, falhas deixadas pelo espaçador (spreader tracks) foram freqüentemente observadas (Figure 4 no Capítulo 1 e Figura A1 no Anexo 1), o que é corroborado por vários estudos^{1,3,10,20}.

A PGP no grupo controle ao nível 3 mm foi 7% menor quando comparada à técnica descrita em livro texto¹⁸ (grupo II). É importante salientar que não há evidências científicas publicadas até o presente demonstrando se uma maior densidade de GP no canal radicular é capaz de influenciar o sucesso clínico do tratamento de canal radicular. Desta forma, futuras pesquisas são necessárias para verificar a relação entre o sucesso clínico e os diferentes padrões de qualidade das obturações observados no presente estudo.

Um recente método de avaliação da qualidade de obturações por meio da mensuração da penetração de moléculas de glicose pela falha da oburação⁵⁹, foi investigado nos capítulos 2 e 3 desta tese. Este método consiste em tubo contendo solução concentrada de glicose conectado à porção coronária do elemento dental, enquanto a porção apical é mergulhada em água contida em um frasco (Figure 1b, Capítulo 3). A glicose acumulada no reservatório apical é mensurada por meio de um espectrofotômetro seguindo-se uma reação enzimática^{37,59}. Algumas vantagens têm sido atribuídas a este modelo, tais como o baixo peso molecular da glicose (180 Da), que melhor representaria a passagem de toxinas bacterianas; e o fato de que, sendo capaz de penetrar na falha da obturação, a glicose poderia nutrir as bactérias sobreviventes ao preparo do canal, mantendo a inflamação dos tecidos periapicais⁵⁹.

O modelo de PG, portanto, foi aceito como uma evolução do método de TF³⁷. Neste último, após a aplicação de uma pressão no lado coronário da obturação, ocorre o transporte convectivo do fluido pela falha na obturação, o que acarreta o movimento de uma bolha de ar inserida no interior de uma micro-pipeta no lado apical, que é medido a olho nu com precisão mínima de 1 μL ⁵⁰. Isto significa que uma penetração menor que 1 μL após um determinado período de tempo dificilmente será detectada e a amostra pode ser considerada como sem-infiltração. No modelo de PG, o transporte convectivo do fluido pela falha na obturação também acontece, pela pressão da coluna de glicose sobre a porção coronária da obturação (15 cm H_2O), porém a concentração da glicose que chega ao reservatório apical por meio da falha na obturação é lida por um espectrofotômetro numa precisão mínima de 0,06 μL ³⁷. Além disso, contribui para o aumento da sensibilidade do método, o tempo de análise prolongado que permite a difusão das moléculas de glicose e não somente o transporte convectivo, facilitando a detecção de pequenas falhas na obturação³⁷.

Porém existem alguns limitadores ao emprego indiscriminado do modelo de PG para testes de capacidade seladora em Endodontia. Quando um traçador químico é utilizado em um determinado modelo de infiltração torna-se necessário checar a sua estabilidade química quando em contato com diferentes materiais⁵⁴. No capítulo 2 desta tese foi demonstrado que materiais alcalinos são capazes de reduzir a concentração de glicose de uma solução ao mesmo nível da água. Em meio alcalino, a glicose é lentamente convertida em ácido glucônico que em contato, por exemplo, com hidróxido de sódio é convertida em gluconato de sódio³⁹. Ambos, ácido glucônico e gluconato de sódio, não são detectados pelo kit enzimático de quantificação de glicose utilizado no teste de PG. Desta forma, o emprego do modelo de PG para testes de materiais alcalinos pode resultar em conclusões irreais a cerca da capacidade seladora destes materiais, comprometendo a confiabilidade do teste. Portanto, o capítulo 2 desta tese cumpre com a função de alertar a comunidade científica da necessidade de se realizar um teste prévio para verificar a possibilidade do material a ser testado reagir com a glicose. De acordo com nossos resultados, MTA, cimento Portland, Ca(OH)_2 , Sealer 26 e possivelmente outros materiais alcalinos não podem ter a sua capacidade seladora checada por meio do modelo de PG.

Além da reatividade química com diferentes materiais, outras dificuldades laboratoriais desafiam o uso do modelo de PG. Como o teste é mantido por maior tempo (em geral semanas ou meses) a evaporação da água presente tanto no reservatório inferior quanto no superior poderiam alterar o padrão dos resultados, uma vez que mudanças na quantidade de água nas soluções alteram as concentrações de glicose identificadas³⁷. Shemesh et al.³⁷ buscou minimizar este efeito colocando o conjunto com todas os espécimes testados em um grande recipiente tampado com umidade 100% no interior. No entanto em testes pilotos, usando o mesmo sistema, notou-se que a água contida neste recipiente ao evaporar se acumulava na parte interna da tampa do recipiente e, quando retornava ao estado líquido, muitas vezes, gotejava sobre a abertura de respiração na tampa rosqueável do reservatório inferior contendo a amostra. Desta forma, após alguns dias era possível perceber espécimes com volume de água no reservatório inferior visualmente maior que o inicialmente colocado sem uma redução significativa na coluna de glicose. Para minimizar o efeito da evaporação da água no reservatório inferior contendo a amostra, Xu et al.⁶⁰

prepararam controles com o mesmo aparato usado para o teste de infiltração porém, sem nenhuma amostra em teste, apenas água no reservatório inferior. Diariamente estas amostras controles eram pesadas e o conteúdo evaporado de água adicionado em todos os espécimes em teste⁶⁰. No entanto, esta manobra aumenta consideravelmente o trabalho diário para manutenção do nível de água e, além disso, não é garantido que todos os espécimes tenham o mesmo padrão de evaporação ao longo do teste. Desta forma, espécimes com diferentes níveis de evaporação podem ter maior ou menor volume de água adicionada, alterando a concentração final da glicose.

Em uma análise recente utilizando o modelo de PG (dados ainda não publicados) a concentração da glicose na coluna acoplada à parte coronária da obturação foi medida no início e no final do experimento. Em alguns espécimes com pouca infiltração, a concentração da glicose na coluna havia quase que duplicado ao final do experimento, indicando que a evaporação da água na solução concentrada de glicose também pode acontecer. Uma solução mais concentrada pode apresentar um padrão de difusão diferente³², criando um viés metodológico que pode influenciar os resultados do teste.

Além dos problemas relacionados à evaporação da água no sistema, a possibilidade de crescimento bacteriano no sistema poderia levar ao consumo da glicose no reservatório inferior levando a conclusões irreais a cerca da capacidade seladora do material em teste. Para inibir o crescimento bacteriano durante o teste, azida sódica (NaN_3) é adicionada à solução de glicose e à água do reservatório inferior³⁷. No entanto, por ser uma substância química com poder cáustico é questionável se esta poderia solubilizar o material em teste após um contato prolongado. Assim a penetração da glicose observada poderia ser em virtude do efeito cáustico sobre o material testado e não pela passagem através da falha original na obturação.

Por todas estas razões, as vantagens do modelo de PG passaram a ser questionáveis. Sugeriu-se, portanto, a aceleração da penetração da glicose pela falha na obturação por meio da aplicação de pressão como realizado no modelo de TF. Desta forma, a infiltração poderia ser acelerada, diminuindo o tempo necessário para a realização do teste e assim superando-se os problemas relacionados à evaporação e contato prolongado com a azida sódica. Desta forma, no capítulo 3, foi testada a confiabilidade dos resultados obtidos por este

novo desenho do modelo de PG, comparando-os ao modelo de TF. As mesmas amostras submetidas aos dois modelos revelaram uma correlação extremamente significativa de resultados, indicando que os dois modelos são capazes de revelar resultados reprodutíveis e confiáveis a cerca da capacidade de selamento da obturação do canal. Recentemente foi demonstrado que tanto a água quanto a glicose não são capazes de penetrar pela substância dentinária³⁶; portanto, evidências de água ou glicose no reservatório inferior revelam a existência de pelo menos uma falha contínua na obturação. Assim, estes resultados introduzem um novo modelo para a quantificação da infiltração em endodontia utilizando o princípio do transporte convectivo de fluidos.

Diante desses resultados pode ser argumentado que a vantagem da maior sensibilidade do teste de PG foi perdida quando do aumento da pressão na coluna com glicose (de 15 para 360 cm H₂O). Shemesh et al.³⁷ concluíram que mais espécimes com infiltração foram observados no teste de PG quando comparado à 3 h de aplicação de TF. Ainda no capítulo 3 foi observado que o tempo de aplicação da pressão no modelo de TF influencia os resultados. Mais espécimes com infiltração foram observados após 24 h de aplicação da pressão que após 3 ou 6 h. Desta forma pode-se inferir que, caso Shemesh et al.³⁷ tivessem mantido a pressão por mais tempo, possivelmente mais espécimes com infiltração teriam sido revelados resultando em nenhuma diferença no número de amostras com infiltração entre os dois métodos. No entanto, é impossível determinar qual o tempo mínimo necessário para que uma falha na obturação possa ser revelada. Certamente, quanto menor a falha, maior o tempo requerido para detectá-la.

Como o objetivo do capítulo 3 foi demonstrar a comparabilidade dos resultados de modelos de infiltração, o procedimento de obturação dos canais foi simplificado. Desta forma, apenas dois cones acessórios foram inseridos no canal radicular sem uso do espaçador, tendo em vista que é difícil padronizar a força de penetração e evitar a formação de falhas deixadas pelo espaçador (spreader tracks)^{1,3,10,20}, como observado no capítulo 1 desta tese. Além disso, a fratura radicular pode ser prevenida se nenhum espaçador for utilizado^{25,47}.

Em vários estudos recentes, não foram observadas diferenças na capacidade seladora de técnicas com e sem compactação da GP^{6,7,34,56}. Em nosso estudo, dos 80 espécimes estudados, 54 (67,5%) preveniram

completamente a penetração de água ou glicose mesmo após 24 h de aplicação da pressão. Além disso, a quantidade de TF após 24 h nos demais 26 espécimes foi pequena (entre 1 μ L a 4 μ L), indicando que um pequeno volume de falhas estava presente nestas obturações onde a GP não foi compactada.

Neste momento é possível tentar estabelecer um comparativo entre os resultados de qualidade das obturações dos capítulos 1 e 3. Em ambos os estudos caninos foram instrumentados até o instrumento nº 50 e conicidade 0,1mm/mm. No grupo controle do capítulo 1 onde nenhum espaçador foi utilizado, 2,1% de falhas na obturação com AH Plus foram observadas. No capítulo 3, o grupo que apresentou maior média de infiltração, bem como maior número de espécimes com leituras positivas, foi o AH Plus. Apesar de não podermos afirmar que a maior infiltração no grupo AH Plus seja decorrente das falhas observadas no capítulo 1, os resultados dos dois trabalhos dá uma indicação do nível de qualidade alcançado quando a GP não é compactada e cimento AH Plus é utilizado.

Assim, é possível inferir que quando a GP não é compactada, o cimento endodôntico escolhido exerce um papel importante na qualidade, ao menos no que tange à capacidade seladora⁴⁹. RSA e Polifil®, respectivamente à base de silicone e poliéster (polímero da mamona) demonstraram os melhores resultados. O cimento RSA já apresentou bons resultados em vários estudos^{5,35}, inclusive em obturações onde a GP não foi compactada⁵⁸. É importante salientar que este é o primeiro estudo aceito para publicação em periódico indexado demonstrando a capacidade seladora do cimento Polifil® como material obturador endodôntico.

Assim como discutido para o capítulo 1, a relevância clínica de resultados de estudos in vitro da capacidade seladora em endodontia ainda permanece incerta. Recentemente em um editorial do Journal of Endodontics⁴⁵, pesquisadores foram convidados a investir em modelos capazes de provar a relação entre o desempenho laboratorial (in vitro) e clínico (in vivo) dos diferentes materiais e técnicas de obturação. Somente estabelecendo-se esta relação é que poderemos identificar se modelos in vitro de análise da qualidade de materiais e técnicas efetivamente predizem o seu comportamento clínico e, assim, poder determinar o seu percentual de contribuição para o sucesso da terapia endodôntica.

7 CONCLUSÃO

De acordo com o que foi proposto e dentro das limitações dos estudos in vitro conduzidos foi possível concluir que:

1. variações na técnica de condensação lateral e na área do canal influenciaram a qualidade das obturações;
2. a porcentagem de área do canal obturada com guta-percha após variações na técnica de condensação lateral foi menor no nível apical que no nível médio;
3. cimento Portland, MTA, Ca(OH)_2 e Sealer 26 diminuíram a concentração de soluções de glicose e, portanto não devem ser avaliados em relação à capacidade de selamento por meio do modelo de penetração de glicose;
4. antes de testar a capacidade seladora de diferentes materiais dentários utilizando o modelo de penetração de glicose é necessário checar a sua reatividade química com os materiais em teste;
5. foram similares os resultados de infiltração dos modelos de transporte de fluidos e de penetração de glicose em 80 raízes;
6. os cimentos RSA e Polifil demonstraram melhor capacidade seladora em obturações sem compactação da guta-percha, comparados aos cimentos AH26 e AH Plus;
7. mais espécimes com infiltração foram identificados após 24 horas de transporte de fluidos do que após 3 horas ou 6 horas.

8 REFERÊNCIAS*

1. Brayton SM, Davis SR, Goldman M. Gutta-percha root canal fillings. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1973; 35: 226-31.
2. Buchanan LS. The standardized-taper root canal preparation-Part 1. Concepts for variably tapered shaping instruments. *Int Endod J.* 2000; 33: 516-29.
3. Budd CS, Weller RN, Kulild JC. A comparison of thermoplasticized injectable gutta-percha obturation techniques. *J Endod.* 1991; 17: 260-4.
4. Cailleteau JG, Mullaney TP. Prevalence of teaching apical patency and various instrumentation and obturation techniques in United States dental schools. *J Endod.* 1997; 23: 394-6.
5. Cobankara FK, Adanir N, Belli S, Pashley DH. A quantitative evaluation of apical leakage of four root-canal sealers. *Int Endod J.* 2002; 35: 979-84.
6. Cohen BI, Pagnillo MK, Musikant BL, Deutsch AS. The evaluation of apical leakage for three endodontic fill systems. *Gen Dent.* 1998; 46: 618-23.
7. Dalat DM, Spångberg LS. Comparison of apical leakage in root canals obturated with various gutta-percha techniques using a dye vacuum tracing method. *J Endod.* 1994; 20: 315-9.
8. De-Deus G, Gurgel-Filho ED, Magalhaes KM, Coutinho-Filho T. A laboratory analysis of gutta-percha-filled area obtained using Thermafil, System B and lateral condensation. *Int Endod J.* 2006;39:378-83.
9. Dulaimi SF, Wali Al-Hashimi MK. A comparison of spreader penetration depth and load required during lateral condensation in teeth prepared using various root canal preparation techniques. *Int Endod J.* 2005; 38: 510-5.
10. Eguchi DS, Peters D, Hollinger JO, Lorton L. A comparison of the area of the canal space occupied by gutta-percha following four gutta-percha obturation techniques using procosol sealer. *J Endod.* 1985; 11: 66-75.
11. ElDeeb ME. The sealing ability of injection-molded thermoplasticized gutta-percha. *J Endod.* 1984; 11: 84-6.

* De acordo com estilo Vancouver. Disponível em: http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html

12. Felipe WT, Felipe MCS, Rocha MJC. The effect of mineral trioxide aggregate on the apexification and periapical healing of teeth with incomplete root formation. *Int Endod J*. 2006; 39: 2-9.
13. Gençoglu N. Comparison of 6 different gutta-percha techniques (part II): Thermafil, JS Quick-Fill, Soft Core, Microseal, System B, and lateral condensation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2003; 96: 91-5.
14. Gordon MP, Love RM, Chandler NP. An evaluation of .06 tapered gutta-percha cones for filling of .06 taper prepared curved root canals. *Int Endod J*. 2005; 38: 87-96.
15. Gound TG, Riehm RJ, Odgaard EC, Makkawy H. Effect of spreader and accessory cone size on density of obturation using conventional or mechanical lateral condensation. *J Endod*. 2001; 27: 358-61.
16. Gulsahi K, Cehreli ZC, Kuraner T, Dagli FT. Sealer area associated with cold lateral condensation of gutta-percha and warm coated carrier filling systems in canals prepared with various rotary NiTi systems. *Int Endod J*. 2007; 40: 275-81.
17. Gutmann JL, Dumsha TC, Lovdahl PE. Problem solving in endodontics: Prevention, identification, and management. St. Louis: Mosby; 2006.
18. Gutmann JL, Witherspoon DE. Obturation of the cleaned and shaped root canal system. In: Cohen S, Burns RC. Eds. *Pathways of the pulp*. St. Louis: Mosby; 2002. p. 293-364.
19. Hall EM. The mechanisms of root-canal treatment. *J Am Dent Assoc*. 1930; 17: 88-108.
20. Jarrett IS, Marx D, Covey D, Karmazin M, Lavin M, Gound T. Percentage of canals filled in apical cross sections: an in vitro study of seven obturation techniques. *Int Endod J*. 2004; 37: 392-8.
21. Jung M, Lommel D, Klimek J. The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int Endod J*. 2005; 38: 617-26.
22. Kaya BU, Kececi AD, Belli S. Evaluation of the sealing ability of gutta-percha and thermoplastic synthetic polymer-based systems along the root canals through the glucose penetration model. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2007; 104: 66-73.

23. Kazemi RB, Safavi KE, Spångberg LSW. Dimensional changes of endodontic sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1993; 76: 766-71.
24. Kontakiotis EG, Wu M-K, Wesselink PR. Effect of sealer thickness on long-term sealing ability: a 2-year follow-up study. *Int Endod J.* 1997; 30: 307-12.
25. Meister F Jr, Lommel TJ, Gerstein H. Diagnosis and possible causes of vertical root fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1980; 49: 243-53.
26. Michanowicz A, Czonstkowsky M. Sealing properties of an injection-thermoplasticized low-temperature (70 degrees C) gutta-percha: a preliminary study. *J Endod.* 1984; 10: 563-6.
27. Nguyen. Obturation of the root canal system. In: Cohen S, Burns RC, editors. *Pathways of the pulp.* St Louis: Mosby; 1994. p. 219-71.
28. Ørstavik D. Weight loss of endodontic sealers, cements and pastes in water. *Scandinavian J Dent Res.* 1983; 91: 316-9.
29. Ørstavik D, Qvist V, Stoltze K. A multivariate analysis of the outcome of endodontic treatment. *Eur J Oral Sci.* 2004; 112: 224-30.
30. Ozok AR, van der Sluis LWM, Wu MK, Wesselink PR. Sealing ability of a new polydimethylsiloxane-based root canal filling material. *J Endod.* 2008; 34: 204-207.
31. Pashley DH. Dentine permeability: theory and practice. In: Spångberg LSW. Editor. *Experimental Endodontics.* Florida: CRC Press; 1990. p. 19-49.
32. Pashley DH, Matthews WG. The effects of outward forced convective flow on inward diffusion in human dentine in vitro. *Arch Oral Biol.* 1993; 38: 577-582.
33. Pitout E, Oberholzer TG, Blignaut E, Molepo J. Coronal leakage of teeth root-filled with gutta-percha or Resilon root canal filling material. *J Endod.* 2006; 32: 879-81.
34. Pommel L, Camps J. In vitro apical leakage of System B compared with other filling techniques. *J Endod.* 2001; 27: 449-51.
35. Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R. Influence of moisture on the apical seal of root canal fillings with five different types of sealer. *J Endod.* 2007; 33: 31-3.
36. Shemesh H, van den Bos M, Wu MK, Wesselink PR. Glucose penetration and fluid transport through coronal root structure and filled root canals. *Int Endod J.* 2007; 40: 866-72.

37. Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR. Leakage along apical root fillings with and without smear layer using two different leakage models: a two-month longitudinal ex vivo study. *Int Endod J.* 2006; 39: 968-76.
38. Silver GK, Love RM, Purton DG. Comparison of two vertical condensation obturation techniques: Touch 'n Heat modified and System B. *Int Endod J.* 1999; 32: 287-95.
39. Sowden JC, Schaffer R. The Reaction of D-Glucose, D-Mannose and D-Fructose in 0.035 N Sodium Hydroxide at 35. *J Am Chem Soc.* 1952; 74: 499-504.
40. Tay FR, Pashley DH. Monoblocks in root canals: a hypothetical or a tangible goal. *J Endod.* 2007; 33 :391-8.
41. Torabinejad M, Ung B, Kettering JD. In vitro bacterial penetration of coronally unsealed endodontically treated teeth. *J Endod.* 1990; 16: 566-9.
42. van den Berg HR, Ten Seldam CA, Van der Gulik PS. Compressible laminar flow in a capillary. *J Fluid Mech.* 1993; 246: 1-20.
43. van der Sluis LW, Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR. An evaluation of the influence of passive ultrasonic irrigation on the seal of root canal fillings. *Int Endod J.* 2007; 40: 356-61.
44. Veríssimo DM, do Vale MS. Methodologies for assessment of apical and coronal leakage of endodontic filling materials: a critical review. *J Oral Sci.* 2006; 48: 93-8.
45. Wanted: a base of evidence. [editorial] *J Endod.* 2007; 33: 1401-2.
46. Weine FS. *Endodontic therapy.* St. Louis: Mosby; 1996.
47. Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T. The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *J Endod.* 1997; 23: 533-4.
48. Wu M-K, Barkis D, Roris A, Wesselink PR. Does the first file to bind correspond to the diameter of the canal in the apical region? *Int Endod J.* 2002;35: 264-7.
49. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR. Leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *Int Endod J.* 1994; 27: 304-8.
50. Wu M-K, De Gee AJ, Wesselink PR, Moorer WR. Fluid transport and bacterial penetration along root canal fillings. *Int Endod J.* 1993; 26: 203-8.
51. Wu M-K, de Groot SD, van der Sluis LW, Wesselink PR. The effect of using an inverted master cone in a lateral compaction technique on the density of

- the gutta-percha fill. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003; 96: 345-50.
52. Wu M-K, de Schwartz FBC, van der Sluis LW, Wesselink PR. The quality of root fillings remaining in mandibular incisors after root-end cavity preparation. *Int Endod J.* 2001; 34: 613-9.
 53. Wu M-K, Fan B, Wesselink PR. Diminished leakage along root canals filled with gutta-percha without sealer over time: a laboratory study. *Int Endod J.* 2000; 33: 121-5.
 54. Wu M-K, Kontakiotis EG, Wesselink PR. Decoloration of 1% methylene blue solution in contact with dental filling materials. *J Dent.* 1998; 26: 585-9.
 55. Wu M-K, R'oris A, Barkis D, Wesselink PR. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000; 89: 739-43.
 56. Wu M-K, van der Sluis LWM, Ardila CN, Wesselink PR. Fluid movement along the coronal two-thirds of root fillings placed by three different gutta-percha techniques. *Int Endod J.* 2003; 36: 533-40.
 57. Wu MK, van der Sluis LW, Wesselink PR. A preliminary study of the percentage of gutta-percha-filled area in the apical canal filled with vertically compacted warm gutta-percha. *Int Endod J.* 2002; 35: 527-35.
 58. Wu M-K, van der Sluis LW, Wesselink PR. A 1-year follow-up study on leakage of single-cone fillings with RoekoRSA sealer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006; 101: 662-7.
 59. Xu Q, Fan MW, Fan B, Cheung GS, Hu HL. A new quantitative method using glucose for analysis of endodontic leakage. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005; 99: 107-11.
 60. Xu Q, Ling J, Cheung GS, Hu Y. A quantitative evaluation of sealing ability of 4 obturation techniques by using a glucose leakage test. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007; 104: 109-13.
 61. Zou L, Liu J, Yin SH, Tan J, Wang FM, Li W, Xue J. Effect of placement of calcium sulphate when used for the repair of furcation perforations on the seal produced by a resin-based material. *Int Endod J.* 2007; 40: 100-5.

9 ANEXOS

ANEXO 1

Tabela A1 - Área do canal (em mm²) observada em cada elemento dental nos níveis médio (6 mm) e apical (3 mm) e a média final em cada secção nos diferentes grupos analisados

Dente	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Controle	
	6 mm	3mm	6 mm	3 mm	6 mm	3 mm	6 mm	3 mm
1	0,91	0,58	0,95	0,37	1,74	0,50	0,94	0,55
2	1,28	0,62	0,94	0,42	0,96	0,39	1,25	0,60
3	0,87	0,44	1,26	0,53	2,11	0,46	0,75	0,51
4	1,00	0,55	1,24	0,50	0,99	0,33	0,72	0,47
5	1,14	0,73	0,73	0,31	0,94	0,51	0,98	0,51
6	0,91	0,40	1,12	0,33	0,88	0,45	1,04	0,61
7	1,19	0,55	1,27	0,51	1,07	0,52	0,92	0,46
8	1,42	0,46	0,92	0,43	0,61	0,27	1,04	0,56
9	1,13	0,71	1,00	0,33	0,62	0,28	0,81	0,47
10	1,10	0,34	1,14	0,46	0,64	0,27	0,84	0,46
11	1,25	0,37	0,77	0,31	0,61	0,29	0,91	0,45
12	1,08	0,37	1,43	0,32	0,69	0,27	0,81	0,36
13	0,87	0,41	1,91	0,91	0,90	0,36	1,09	0,64
14	1,20	0,44	0,91	0,49	0,93	0,43	0,79	0,48
15	1,70	0,63	1,30	0,78	0,82	0,41	0,95	0,55
16	1,45	0,85	1,94	0,73	1,22	0,48	0,97	0,44
17	1,69	0,68	1,68	0,64	1,02	0,46	1,00	0,69
18	1,32	0,57	0,85	0,51	0,83	0,58	1,36	0,57
19	1,46	0,62	0,74	0,31	1,54	0,74	1,21	0,79
20	1,56	0,50	0,88	0,34	1,35	0,43	0,90	0,47
Média	1,23	0,54	1,15	0,48	1,02	0,42	0,96	0,53

Tabela A2 - Porcentagem de área do canal obturada com guta-percha (PGP) observada em cada elemento dental nos níveis médio (6 mm) e apical (3 mm) e a média final em cada secção nos diferentes grupos analisados

Dente	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Controle	
	6 mm	3mm	6 mm	3 mm	6 mm	3 mm	6 mm	3 mm
1	69,74	45,31	84,11	69,36	90,39	94,18	66,31	67,27
2	88,22	84,33	73,36	71,61	90,58	92,48	66,90	50,64
3	91,79	84,39	80,09	75,41	88,00	82,73	63,61	67,44
4	63,47	58,63	86,48	59,07	93,84	94,19	61,64	63,24
5	65,61	58,93	91,15	69,36	83,66	57,72	62,48	73,89
6	89,81	72,55	75,65	91,67	87,85	84,29	67,88	63,19
7	79,87	64,00	77,25	91,24	91,08	89,53	63,89	68,85
8	89,94	77,89	80,74	84,41	84,55	77,91	61,84	71,43
9	76,91	68,06	61,74	66,22	89,73	84,65	63,36	67,04
10	81,54	89,12	72,33	84,93	89,62	85,94	59,40	65,19
11	80,24	95,24	86,32	74,22	91,89	94,80	61,35	78,69
12	80,84	77,63	71,50	76,18	92,61	98,67	66,03	63,25
13	79,23	44,75	50,00	56,65	93,54	95,84	61,64	62,26
14	77,76	80,09	85,27	71,14	94,91	93,30	65,14	59,50
15	67,37	67,43	75,19	63,01	90,59	84,90	64,83	60,59
16	78,57	68,70	61,81	61,20	83,86	94,31	59,17	58,98
17	75,60	89,60	69,42	71,71	89,23	97,67	55,06	57,79
18	78,20	87,79	64,21	51,62	90,45	69,98	54,75	67,25
19	88,66	83,76	70,98	61,32	78,28	91,32	50,52	50,54
20	71,70	97,50	75,56	76,51	88,73	84,20	47,04	63,72
Média	78,8	74,8	74,7	71,3	89,2	87,4	61,9	64,1
(DP)	(±8,3)	(±15,2)	(±10,1)	(±11,0)	(±4,0)	(±10,0)	(±4,5)	(±7,1)

Tabela A3 - Porcentagem de falhas na obturação (PV) observada em cada elemento dental nos níveis médio (6 mm) e apical (3 mm) e a média final em cada secção nos diferentes grupos analisados

Dente	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Controle	
	6 mm	3mm	6 mm	3 mm	6 mm	3 mm	6 mm	3 mm
1	0,00	0,76	0,00	2,04	0,08	0,00	0,72	0,25
2	0,43	1,63	0,39	0,00	1,20	2,05	1,90	5,12
3	0,00	0,04	0,23	0,00	0,41	0,00	0,78	0,80
4	0,00	0,15	0,00	0,00	1,23	1,90	0,90	2,14
5	0,00	0,92	0,82	0,00	5,20	13,19	1,40	1,06
6	2,01	1,10	2,45	0,00	1,33	1,24	4,64	2,65
7	3,36	2,23	3,48	0,00	1,70	0,23	3,79	4,27
8	0,00	2,80	0,00	0,00	3,56	1,28	6,01	4,36
9	3,81	0,77	0,00	0,00	0,52	0,60	7,50	4,16
10	0,65	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,06	1,05
11	0,39	0,60	0,69	2,80	1,07	1,05	1,79	0,44
12	0,11	0,00	0,04	0,00	1,05	0,00	0,00	1,45
13	1,17	0,23	0,21	0,00	0,14	0,00	3,11	0,00
14	0,72	1,56	2,16	0,00	0,00	0,44	4,93	2,80
15	1,46	0,15	0,33	0,00	1,46	1,89	2,42	6,12
16	0,54	0,49	0,00	0,00	0,99	2,18	0,00	0,00
17	0,82	0,91	0,36	0,00	0,95	0,52	0,79	0,00
18	3,39	0,09	1,31	19,27	1,00	0,42	0,36	1,05
19	0,00	0,00	0,00	0,00	1,09	0,00	1,07	0,00
20	1,33	0,00	0,38	0,00	0,65	0,00	4,20	0,00
Média	1,0	0,7	0,7	1,2	1,2	1,3	2,3	1,9
(DP)	(±1,2)	(±0,8)	(±1,0)	(±4,3)	(±1,2)	(±2,9)	(±2,2)	(±2,0)

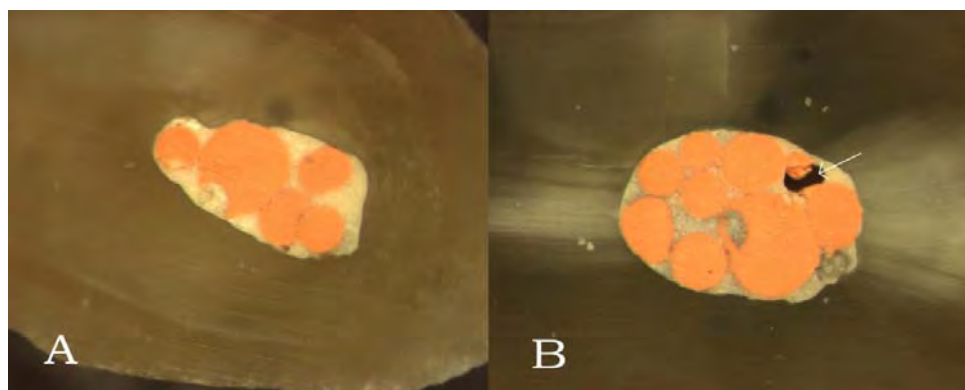


Figura A1 - Secções horizontais do grupo 1, onde foram utilizados espaçador digital C e cones acessórios tamanho standardizado 25, nos níveis 3 mm (A) e 6 mm (B) do ápice radicular (50x). A percentagem de área do canal obturada por guta-percha foi de 74.8% (3 mm) e 78.8% (6 mm). Seta indica falha deixada pelo espaçador.

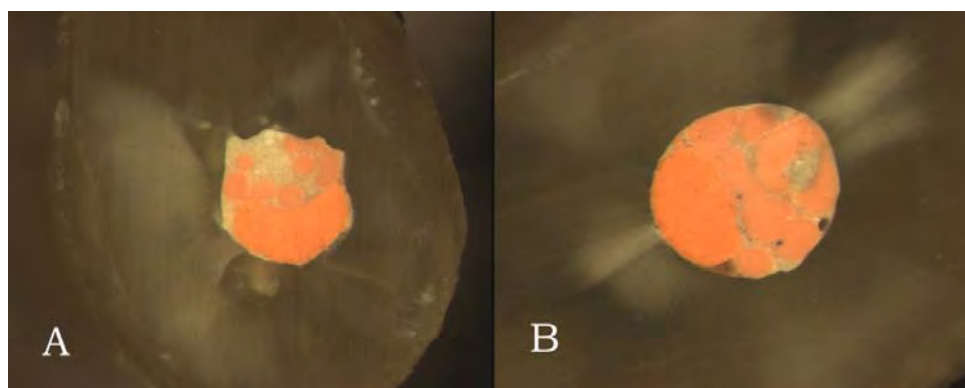


Figura A2 - Secções horizontais do grupo 2, onde foram utilizados espaçador digito-palmar D11 e cones acessórios não-standardizados MF, nos níveis 3 mm (A) e 6 mm (B) do ápice radicular (50x). A percentagem de área do canal obturada por guta-percha foi de 71.1% (3 mm) e 85.3% (6 mm).

ANEXO 2

Tabela A4 - Densidade óptica (OD) em cada amostra e média final e desvio padrão (Med±DP) nos diferentes materiais testados

Material	OD da Amostra										Med±DP
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Água	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0±0.005
Glicose pad.	0,27	0,3	0,29	0,3	0,3	0,3	0,3	0,29	0,27	0,28	0,290±0.010
C. Portland	0,01	0	0,01	0	0	0,02	0	0	0	0	0±0.007
MTA cinza	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0±0.004
MTA branco	0	0	0	0	0,02	0	0,01	0	0	0	0±0.007
Sealer 26	0,06	0,06	0,05	0	0	0	0	0,01	0,05	0,04	0±0.027
Ca(OH) ₂	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0±0.005
S. de cálcio	0,29	0,27	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,27	0,275±0.007
AH 26	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,29	0,3	0,282±0.007
Ephiphany	0,32	0,27	0,3	0,3	0,3	0,3	0,28	0,27	0,29	0,27	0,290±0.017
Resilon	0,33	0,31	0,3	0,29	0,3	0,28	0,31	0,3	0,3	0,28	0,300±0.015
Guta-percha	0,3	0,29	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,29	0,28	0,31	0,297±0.008
Dentina	0,29	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,3	0,3	0,3	0,3	0,293±0.007

ANEXO 3

Tabela A5 - Valores de infiltração observada em µL para TF (transporte de fluidos) e em mg mL⁻¹ para PG (penetração de glicose) em cada um dos 20 espécimes testados nos diferentes cimentos endodônticos

Cimento	Amostra																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
AH26																				
3 h TF	0	1,00	0	0	1,00	0	0	0	1,00	0	0	0	0	1,00	0	0	0	0	0	0
6 h TF	0	2,00	0	0	1,00	0	0	0	1,00	0	0	0	0	1,00	0	0	0	0	0	0
24 h TF	0	7,00	1,00	1,00	1,00	0	0	0	4,00	0	0	0	0	1,00	1,00	1,00	0	0	0	0
24 h PG	0	0,12	0,21	0,31	0,75	0	0	0	0,08	0	0	0	0	0,54	1,37	0,07	0	0	0	0
RSA																				
3 h TF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 h TF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24 h TF	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24 h PG	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AH Plus																				
3 h TF	0	0	0	0	0	1,00	0	1,00	0	1,00	0	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0
6 h TF	0	0	0	0	0	1,00	0	2,00	0	1,00	0	0	2,00	0	1,00	0	0	0	0	0
24 h TF	0	2,00	1,00	0	0	2,00	1,00	4,00	1,00	2,00	0	1,00	4,00	0	2,00	1,00	1,00	1,00	0	1,00
24 h PG	0	0,24	0,12	0	0	0,37	0,09	1,06	0,78	1,22	0	0,22	1,31	0	0,27	0,10	0,08	0,07	0	0,09
Polifil																				
3 h TF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 h TF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24 h TF	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,00	0	0	1,00	0	0
24 h PG	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,03	0	0	0,11	0	0

Autorizo a reprodução deste trabalho.
(Direitos de publicação reservados ao autor)

Araraquara, 30 de abril de 2008.
ERICK MIRANDA SOUZA