

Influencia de ajuste ultra-sónico sobre micro-dureza de cementos de ionómero de vidrio

Carvalho C A¹, Fagundes T C², Barata T J³,
Navarro M F⁴

Resumen

El presente estudio se realizó con el propósito de evaluar la influencia del tratamiento por ultrasonido en la microdureza de los cementos ionómero vítreos. Se evaluaron nueve marcas disponibles comercialmente: Fuji IX, Ketac-Molar, Riva Self Cure (cápsula y mezcla a mano), Ionofil Plus AC, Ionofil Plus, Maxxion R, Bioglass R y Vitro Molar; creándose diez especímenes cilíndricos (2mm. de diámetro y 2mm. de grosor) por cada material, y por cada periodo de evaluación. Para el grupo experimental, se aplicó el tratamiento por ultrasonido a los especímenes no endurecidos por espacio de 15 seg., utilizando un dispositivo EMS FT-081DN Mini PIEZON, y se los cubrió posteriormente con tiras de celuloide. Durante 15min., se expuso las muestras a una carga de 150gr. bajo una temperatura de 23°C, y se almacenaron por lapsos de 15min., 1hr., 12hr. y 24hr. El Número de Dureza Knoop fue determinado mediante endentado hecho al aplicar una carga de 50gr. durante 5seg. Estadísticamente, los efectos importantes del tratamiento por ultrasonido en la microdureza se podrían demostrar luego de 24hr. de almacenamiento para todo el material evaluado, a excepción de Bioglass R y Vitro Molar. A los 15 min., la mayoría de las muestras se encontraban aún muy blandas como para ser probadas. Con la excepción de

Riva Self Cure, los primeros valores del Número de Dureza Knoop que se pudieron medir (con aplicación de ultrasonido) fueron más altos o similares a aquellos valores obtenidos (sin aplicación de ultrasonido) para los tiempos de almacenamiento subsiguientes. Conclusión: El comando de fijación por ultrasonido mejoró la microdureza de los cementos ionómero vítreos. Importancia clínica: El tratamiento por ultrasonido aceleró el endurecimiento de la superficie, lo que podría reducir las debilitaciones tempranas de las restauraciones ionómero vítreas. Publicado primero en *Int Dent S Afric* 2007; 9: 24-32

¹Departamento de Odontología Operatoria
Colegio Odontológico de Baurú,
Universidad de Sao Paulo, Brasil
Departamento de Materiales Dentales,
Universidad de Siena, Policlinico Le
Scottie, Siena, Italia

²Departamento de Odontología Operatoria
Colegio Odontológico de Baurú,
Universidad de Sao Paulo, Brasil

³Departamento de Odontología Operatoria
Colegio Odontológico de Baurú,
Universidad de Sao Paulo, Brasil

⁴ Colegio Odontológico de Baurú,
Universidad de Sao Paulo, Brasil

Dirección del primer autor:

Julia Miranda 18, Zip Code: 36.400-000
Conselheiro Lafaiete – Minas Gerais- Brazil
Phone: 55-31-3763-3077
E-mail: carcarvalho@usp.br

Introducción

La reacción de asentamiento de los cementos ionómero vítreos se produce en dos fases: un asentamiento inicial con la formación principalmente de poliacrilato de calcio, y un proceso de endurecimiento posterior con la formación de poliacrilato de aluminio¹. Durante la etapa de asentamiento inicial, el agua vagamente ligada ocasiona algunos problemas de integración^{1,2}. Durante la primera reacción, el material es muy propenso a absorber agua, y en la segunda fase, lo es a la deshidratación^{1,2}. Si el material se expone al agua durante los primeros 15min. de asentamiento, se observa entonces un ablandamiento superficial exterior, causado probablemente por una inhibición de la reacción de los cementos ionómero vítreos en la capa superficial³. Un método para reducir la dependencia de absorción temprana de agua, fue el desarrollo del 'comando de asentamiento' de los materiales ionómero vítreos, basado en la mezcla de resinas hidrofílicas fotocurables^{1,4}.

A pesar de que los cementos ionómero vítreos modificados con resina tienen la ventaja de ser más fácilmente manipulados, éstos poseen también ciertas desventajas asociadas con la presencia de resina, como el hincharse en medios acuosos⁵, problemas toxicológicos relacionados a la emisión de monómero, y propiedades mecánicas pobres a largo plazo en comparación con las de los cementos ionómero vítreos convencionales⁶.

Si bien en un principio se utilizó el tratamiento por ultrasonido para disminuir el número de burbujas de aire en el material de ionómero de vidrio⁷, se han llevado a cabo estudios recientes con el propósito de acelerar la reacción de asentamiento y mejorar las propiedades mecánicas^{8,9,11-14}. Puesto que un efecto en el tratamiento de ultrasonido en cementos de ionómero

vítreo es el aumento de temperatura en aproximadamente 13°C, la reacción química se intensifica sustancialmente, habilitando así una tipología del 'comando' de asentamiento de los cementos de ionómero vítreo convencionales⁹. Fagundes et al.¹⁰ informaron que, después de 24hr., el tratamiento por ultrasonido aumentó la resistencia de unión a la tracción entre ionómeros vítreos de alta viscosidad, convencionales y modificados por resina, y la dentina¹⁰. Lo que es más, el aumento en temperatura podría explicar la evaporación de cierta cantidad de agua y, por ello el aumento de la proporción polvo/líquido. Asimismo, se observó que el tratamiento por ultrasonido de cementos ionómero vítreos convencionales, mejoró las propiedades mecánicas de los mismos^{8,9,11-14}. Este estudio tuvo como propósito evaluar, durante distintos periodos de almacenaje, la influencia del tratamiento por ultrasonido en la microdureza tanto de los cementos ionómero vítreos convencionales como de los altamente viscosos.

Material y métodos

Preparación de Muestras

Los productos de cemento ionómero vítreo regeneradores utilizados en este estudio, están incluidos en la Tabla 1. De acuerdo con las especificaciones ISO 9917-1:2003¹⁵, todos los especímenes fueron preparados a una temperatura ambiente de 23±1°C, y una humedad relativa de 50±5%. El proceso de mezclado se llevó a cabo según las instrucciones del fabricante correspondiente. Cuando se requirió de mezclado mecánico, se utilizó un Ultramat 2 (SDI, Bayswater, Australia). Por cada formulación ionómero vítrea, se crearon diez especímenes cilíndricos (2mm. de diámetro y 2mm. de grosor) para cada periodo de evaluación. Las pastas acabadas de mezclar de cada muestra se envasaron en moldes de politetrafluoretileno, utilizando una jeringa Centrix (Centrix Incorporated,

Shelton, USA), y sobreobturando ligeramente la matriz. Tan pronto como el molde estuvo obturado, se aplicó energía ultrasónica a los especímenes en el grupo experimental, por espacio de 15seg. con una frecuencia de 25-30 kHz y utilizando un EMS FT-081DN Mini PIEZON (EMS Nyon, Ginebra, Suiza) con un instrumento de punta B (Figura 1 y 2). Este instrumento tiene una forma plana con 10mm. de longitud y 2mm. de ancho. Se utiliza en clínicas para la eliminación de grandes depósitos supragingivales y también puede ser utilizado para la eliminación de cementos ortodónticos. Dada su forma, fue posible aplicar la punta ultrasónica encima del material regenerador.

Las muestras se cubrieron con tiras de celuloide, para el grupo experimental luego del tratamiento por ultrasonido, y para el grupo de control inmediatamente después de que el material fuera envasado. Se dejó que el material se asentara por espacio de 15min bajo una carga de 150gr a $23^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}^{16}$ y protegido con vaselina.

Las muestras con periodos de almacenaje de 15min y 1hr, se mantuvieron a una temperatura de 23°C y a una humedad relativa de $50\pm 5\%$. Las muestras a ser medidas luego de 12h y 24h, se almacenaron a una temperatura de 37°C y humedad relativa de 100%

Tabla 1. Los materiales utilizados en este estudio

Materiales	Fabricante	Lote No.	Color	Fecha de caducidad	Proporción P:L
Fuji IX	GC Dental Corp., Tokio, Japón	0309051	A3	09/2006	3.6:1
Ketac Molar	3M-ESPE, Seefeld, Alemania	158458	A3	01/2006	2.9:1
Bioglass R	Biodinâmica, Ibiporã, Brasil	157/04	Uni- versal	03/2006	0.18:0.06g
Vitro Molar	DFL, Río de Janeiro, Brasil	0306548	Uni- versal	04/2006	3:1
Riva Self Cure	SDI Limited, Bayswater, Australia	88422/7	A1	11/2005	Cápsula
Riva Self Cure	SDI Limited Bayswater, Australia	88142/1	A3	09/2005	3.36:1
Ionofil Plus AC	VOCO, Cuxhaven, Alemania	441674	A3	10/2005	Cápsula
Ionofil Plus	VOCO, Cuxhaven, Alemania	421034	A1	09/2007	2.4:0.5
Maxxion R	FGM-Produtos Joinville, Brasil	280104	A1	09/2007	0.17:0.06g

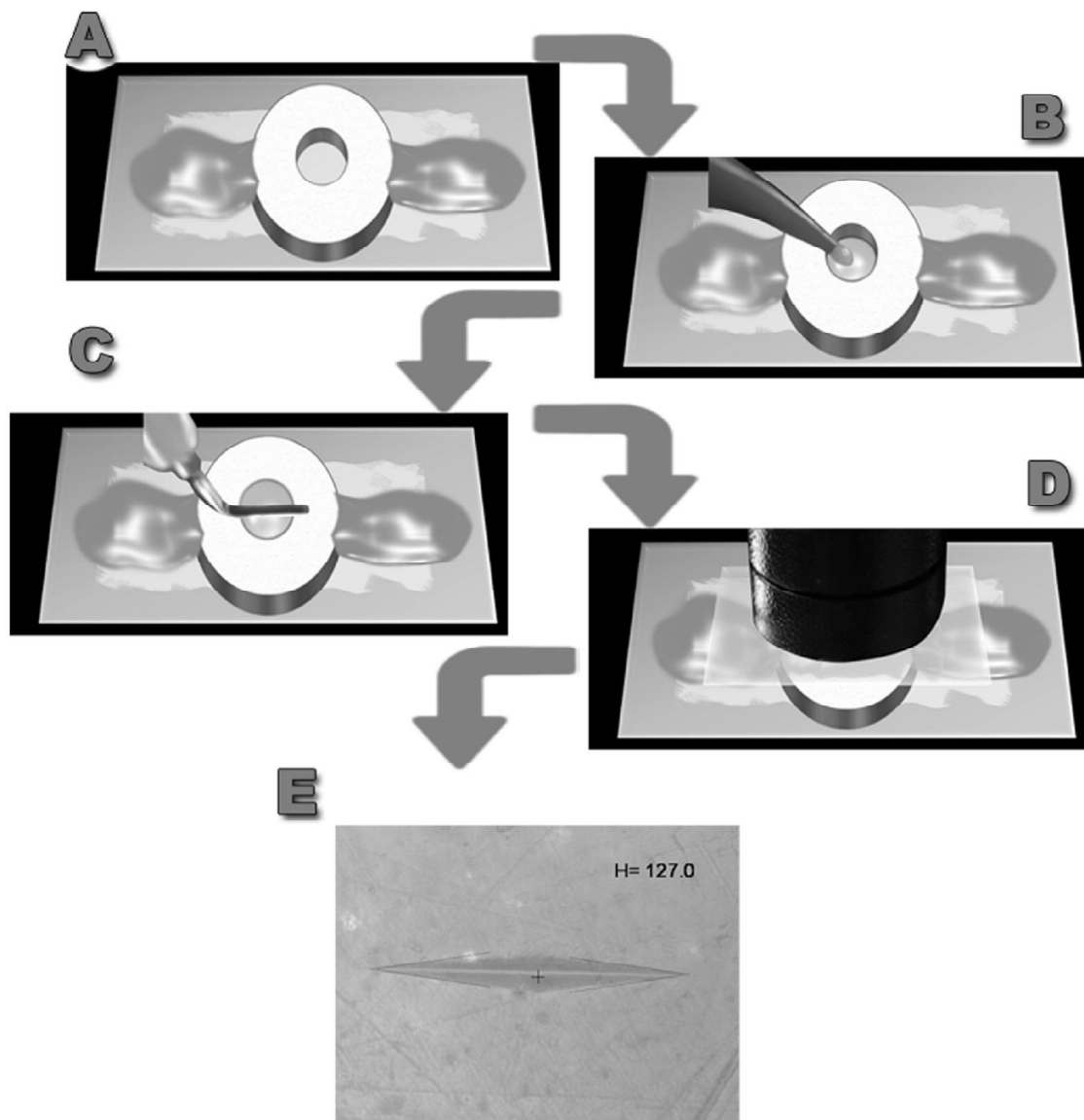
Medición de la microdureza

La microdureza se determinó sobre la base del Número de Dureza Knoop (KHN) utilizando un Shimadzu (HVM-2, Shimadzu Corporation, Kioto, Japón). Se hicieron cinco endentados sobre la superficie plana de cada espécimen, y se aplicó una carga de 50gr por espacio de 5seg., a una temperatura de 23°C. La dureza del endentado fue medida a través de un control de video conectado a un microscopio de luz y las lecturas fueron convertidas automáticamente a KHN.

Análisis estadístico

Se analizó la información KHN obtenida utilizando el paquete de software para estadísticas SPSS 14.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Se aplicó la prueba T con el nivel de significancia fijado a $p < 0.01$, a fin de identificar la diferencia estadística entre los grupos tratados y los no tratados con ultrasonido

Figura 1. Preparación de muestras: A: matriz para crear el espécimen; B: inserción de ionómero vítr; C: aplicación de instrumento ultrasónico; D: aplicación de carga (150g); E: espécimen de ionómero vítr luego de endentado de microdureza.



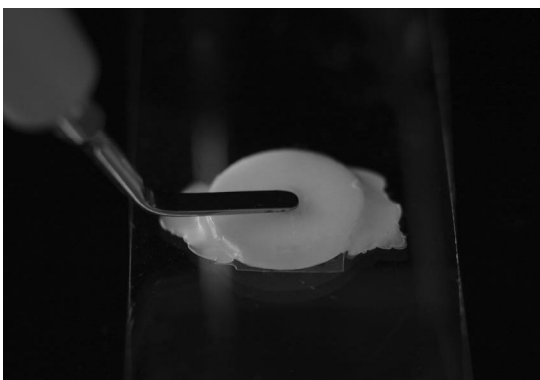
Resultados

Los valores promedio y las correspondientes desviaciones estándar de las mediciones del KHN como una función del pretratamiento de las muestras, se encuentran resumidos en Tabla 2. A los 15 min., la mayoría de los materiales se encontraban aún muy blandos como para ser probados, a excepción de Fuji IX y Ketac Molar.

En todos los periodos de almacenamiento, se hallaron importantes diferencias estadísticas en los valores KHN para Fuji IX y Ketac Molar con la aplicación del tratamiento por ultrasonido, ($p < 0.01$). Luego de 1hr, 12hr y 24hr de almacenamiento, hubieron efectos estadísticos importantes para Riva Self Cure (cápsula y mezcla a mano), Ionofil Plus AC, Ionofil Plus, y efectos del tratamiento por ultrasonido para Maxxion R ($p < 0.01$).

Después de 1hr y 12hr, se hallaron importantes diferencias estadísticas en los valores KHN para Bioglass R y Vitro Molar ($p < 0.01$), pero no hubieron efectos estadísticos importantes del tratamiento por ultrasonido que se pudieran demostrar luego de 24h de almacenaje ($p \geq 0.01$).

Figura 2. Se aplica punta ultrasónica a un espécimen



Discusión

Dado el lento proceso de fijación de Bioglass R, Vitro Molar, Riva Self Cure (cápsula y mezcla a mano), Ionofil Plus AC, Ionofil Plus y Maxxion R, no fue posible determinar la microdureza durante los primeros 15min posteriores a la preparación de la mezcla. Sólo Fuji IX y Ketac Molar, muy bien obturados y como consecuencia altamente viscosos, demostraron suficiente resistencia como para permitir la presencia de endentados permanentes.

Todos los experimentos se realizaron en nivel de potencia 8 en la escala del 1 al 10. Cuando la aplicación ultrasónica excedió los 15seg, o la potencia fue superior a 8 en la escala, se produjeron siempre agrietamientos en la superficie del material. Por otro lado, no se pudieron observar efectos positivos con la aplicación de ultrasonido por un lapso menor de 15seg y a una potencia inferior a 8.

La propagación de la onda de ultrasonido depende de las propiedades de transmisión del médium¹⁷. El tamaño y forma del molde fueron diseñados para estimular una restauración clínica según Towler et al.¹², el molde se construyó con politetrafluoretileno para simular dentina. Un estudio sobre la propagación de la onda de ultrasonido en un diente fantasma, reveló las siguientes velocidades (m/s): esmalte – 3100, dentina – 1900, pulpa – 1570, oro – 3240 y amalgama – 2260¹⁸. Además, la propagación de la onda de ultrasonido en un material de politetrafluoretileno es de 1.518m/s con una variación del 0.3%¹⁹. En estudios futuros se podría poner más interés en el material del molde a fin de optimizar la simulación de la estructura del diente.

Factores tales como la integridad de la interface entre las

partículas de vidrio y la matriz, así como el tamaño de la partícula, juegan un papel importante en las propiedades mecánicas de los cementos ionómero vítreos. El aumento de la proporción polvo-líquido²⁰, la concentración poliacida²⁰ o el peso molecular del poliacido²¹, son métodos establecidos para mejorar las propiedades físicas de los cementos ionómero vítreos²². El aumento de viscosidad se puede obtener mezclando el poliacido, en estado seco, con el polvo de vidrio. La fuerza máxima se obtuvo cuando el contenido del poliacido en el polvo osciló entre 7-9%²².

Los valores KHN inicialmente perceptibles, indicaron que la sonicación otorga un característico 'comando' de asentamiento a los cementos ionómero vítreos. Este efecto es más intenso con materiales altamente viscosos puesto que han demostrado suficiente resistencia a ser endentados permanentemente durante los primeros 15min del proceso de fijación. Esto puede deberse a los diferentes tamaños y formas de las partículas de vidrio dispersas en la matriz (lo que permite un envasado más eficiente, y de ese modo resultando en un material más denso), y a la matriz de vidrio de partículas poliacidas altamente integradas (resultando en mayor dureza). Varios factores tales como la composición química y el tamaño de las partículas de vidrio, podrían haber influido en la imposibilidad de obtener resultados para Riva Self Cure (cápsula y mezcla a mano), Ionofil Plus AC, Ionofil Plus, Vitro Molar y Maxxion R luego de 15 min. De seguro se ha demostrado que las diferencias en composición, la viscosidad y la incorporación de porosidad, influyen en la microdureza de los cementos ionómero vítreos²⁴.

La microdureza se podría atribuir a las proporciones polvo-

líquido de los cementos respectivos. Sin embargo, esta suposición no está respaldada por los resultados de este estudio ya que el Ketac Molar, con una proporción polvo-líquido de 2.9:1, permite determinaciones de microdureza a los 15min, mientras que Vitro Molar, con una proporción polvo-líquido de 3:1, fue demasiado débil como para medir su microdureza a los 15min. Esta observación va de acuerdo con los hallazgos de van Duinen et al.²⁴.

Los efectos químicos obtenidos con tratamiento por ultrasonido se debieron principalmente a cavitación acústica, la cual ocasiona el colapso de burbujas en los líquidos. Esto da como resultado una enorme concentración de energía procedente de la conversión de la energía cinética del movimiento del líquido a calentamiento del contenido de la burbuja²⁵. Las altas temperaturas y presiones localizadas, combinadas con un enfriamiento extraordinariamente veloz, proveen de medios únicos para impulsar las reacciones químicas bajo condiciones extremas

Se ha explorado un grupo diverso de aplicaciones ultrasónicas con el propósito de mejorar la reactividad química, con usos significativos en la química de materiales sintéticos. La cavitación ultrasónica en sistemas líquidos-sólidos, produce también fenómenos de alta energía.

Dentro de los efectos físicos básicamente responsables por dicha intensificación, se tiene la mejora del transporte en masa de mezcla turbulenta, la generación de ondas de choque de superficie y microchorros, y la generación de colisiones antipartícula a alta velocidad con un efecto de desagrupamiento en las partículas. Por consiguiente, las partículas están a menudo fijadas unas a otras, y la fragmentación de sólidos

friables aumenta el área de la superficie²⁶. La adición al material de la energía cinética proveniente de la sonicación, podría mejorar la tasa de reacción debido al aumento de la temperatura. Puesto que la temperatura es alta, la proporción polvo-líquido podría aumentar dada la evaporación del líquido que usualmente resulta en alta resistencia de los materiales^{8,9}.

Además, la vibración de alta frecuencia del material podría disminuir el volumen y número de los vacíos intrínsecamente presentes en los cementos, permitiendo un mejor y más eficiente envasado, y dando como resultado un material más denso^{8,9,11-14}. Una de las características de los cementos ionómero vítreos es el desarrollo de vacíos durante el mezclado. Los estudios de porosidad indican que el área de superficie del aire oscila entre 6 y 9%²⁷ y el volumen varía entre 1.3% y 2%⁷. Como consecuencia, la disminución de porosidad aumenta el contacto entre los cementos ionómero vítreos y la dentina. Esto proporciona otra explicación sobre los resultados de los que se informa en el este estudio.

En conclusión, los efectos químicos y físicos mencionados anteriormente, promueven beneficios que podrían mejorar el tiempo de asentamiento de los cementos ionómero vítreos. Se requiere de un entendimiento científico exhaustivo de las relaciones entre la composición del vidrio, el tratamiento por ultrasonido, y las propiedades físicas de los cementos ionómero vítreos. Además, para una aplicación clínica efectiva, es esencial el conocimiento de los efectos clínicos del tratamiento por ultrasonido en cementos ionómero vítreos y las estructuras dentales circundantes.

Conclusión

De este estudio se puede concluir que el comando de asentamiento por ultrasonido de los cementos ionómero vítreos convencionales, aumenta sustancialmente la microdureza. Desde el punto de vista clínico, el endurecimiento acelerado de la superficie podría reducir el debilitamiento temprano de las restauraciones ionómero vítreas. Los resultados de este estudio recalcan la necesidad de explorar el uso de esta técnica *in vivo*.

摘要

本研究的目的在于评估超声波治疗对于玻璃离子粘合剂的微硬度的影响。9种可以在市场上买到的玻璃离子粘合剂接受了评估: Fuji IX、Ketac-Bond、Riva Self Cure (成品胶囊和手工混合)、Ionofil Plus AC、Ionofil Plus、Maxxion R、Bioglass R 和 Vitro Molar。为每种材料和每个评估阶段都制作了10个圆柱形的样品(直径2mm, 厚度2mm)。对于试验组, 使用一台EMS FT-081DN Mini PIEZON装置对未镶嵌的样品应用超声波处理15秒, 然后以赛璐珞条带覆盖。样品在23°C暴露于150g下15分钟, 并置放15分钟、1小时、12小时及24小时。Knoop硬度数值在施加50g压力5秒钟形成的凹痕上测取。除了Bioglass R 和 Vitro Molar 在置放24小时之后的情形外, 所有参与评估的材料都显示了超声波处理对于微硬度的显著效果。在15分钟阶段, 多数样品仍然过软难以测试。除 Riva Self Cure 之外, 最早的可测读的Knoop硬度数值(采用超声波处理)比置放时间较其更长的读数(无超声波处理)要高或相似。结论: 超声波控制镶嵌改进了玻璃离子粘合剂的微硬度。临床意义: 超声波处理加速了表面硬化, 这有可能降低玻璃离子修补物的早期软弱程度。首次发表于Int Dent S Afric 2007; 9: 24-32.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the influence of ultrasonic treatment on the microhardness of glass-ionomer cements. Nine commercially available brands of glass-ionomer cements were evaluated: Fuji IX, Ketac-Molar, Riva Self Cure (capsule and hand-mix), Ionofil Plus AC, Ionofil Plus, Maxxion R, Bioglass R and Vitro Molar. Ten cylindrical specimens (2mm in diameter and 2mm in thickness) were made for each material and for each evaluation period. For the experimental group, ultrasonic treatment was applied to the unset specimens for 15s, using an EMS FT-081DN Mini PIEZON device, and they were subsequently covered with celluloid strips. The samples were exposed to 150g at 23°C for 15min and stored for durations of 15min, 1h, 12h and 24h. The Knoop Hardness Number was determined on indentations, made by applying a 50g load for 5s. Statistically significant effects of ultrasonic treatment in micro-hardness could be demonstrated for all the materials evaluated, except for Bioglass R and Vitro Molar after 24h of storage. At 15min, most of the samples were still too soft to be tested. With the exception of the Riva Self Cure, the earliest measurable Knoop Hardness Number values (with ultrasonic application) were higher or similar to those values obtained (without ultrasonic application) for subsequent storage times. Conclusion: Ultrasonic command setting improved the microhardness of the glass-ionomer cements. Clinical Significance: The ultrasonic treatment accelerated surface hardening, which might reduce the early weakness of the glass-ionomer restorations. *First*

published in *Int Dent S Afric* 2007; 9: 24-32.

Resumo

A meta deste estudo era avaliar a influência do tratamento ultra-sônico da microdureza dos cimentos de ionomer de vidro. Estiveram avaliados nove marcas de cimentos de ionomer de vidro disponíveis comercialmente: Fuji IX, Ketac-Molar, Riva Auto-Cura (cápsula e mistura de mão), Ionofil Plus AC, Ionofil Plus, Maxxion R, Biovidrio R e Esmalte de Molar. Dez espécimes cilíndricos (2mm em diâmetro e 2mm em espessura) foram feitos para cada matéria e para cada período de avaliação. Para o grupo experimental, um tratamento ultra-sônico esteve aplicado aos espécimes não fixos para 15s fazendo uso dum aparelho de EMS FT-081DN Mini PIEZON e coberto posteriormente com tiras de celulóide. As amostras estiveram espostas a 150g aos 23° C durante 15 min. E armazenadas pelas durações de 15 min., 1h, 12h e 24h. O Número Knoop de Dureza foi determinado sobre entalhes, feitos em aplicar um peso de 50g durante 5s. Uns efeitos estatisticamente significativos do tratamento ultra-sônico em micro-dureza poderian estar demonstrados por todos os materiais avaliados excepto os Biovidrio R e Esmalte de Molar depois de 24h de armazenagem. Aos 15 min, a maior parte das amostras estiveram ainda macias demais a ser postas à prova. À exceção da Riva Auto-Cura, os valores mensuráveis aos mais cedos do Número Knoop de Dureza (com a aplicação ultra-sónica) eram superiores ou parecidos com esses valores obtidos (sem aplicação ultra-sónica) para os

tempos subseqüentes da armazenagem. Conclusão: A colocação do comando ultra-sónico melhorou a micro-dureza dos cimentos de vidro-ionomer. Significativo Clínico: O tratamento ultra-sónico acelerou o endurecimento da superfície, o qual poderia reduzir a fraqueza cedo das restaurações do vidro-ionomer. Publicado primeiro em *Int Dent S Afric* 2007; 9: 24-32.

Referencias

1. Barry TI, Clinton DJ, Wilson AD. The structure of a glass-ionomer cement and its relationship to the setting process. *J Dent Res* 1979; 58: 1072-9.
2. Mount GJ. Glass ionomers: a review of their current status. *Oper Dent* 1999; 24: 115-24.
3. Crisp S, Wilson AD. Reactions in Glass Ionomer Cements: I. Decomposition of the Powder. *J Dent Res* 1974; 53: 1408-13.
4. Moor RJG, Verbeeck RMH. Changes in surface hardness of conventional restorative glass ionomer cements. *Biomaterials* 1998; 19: 2269-75.
5. Cho E, Kopel H, White SN. Moisture susceptibility of resin-modified glass-ionomer materials. *Quintessence Int* 1995; 26: 351-8.
6. Nicholson JW, Anstice HM, McLean JW. A preliminary report on the effect of storage in water on the properties of commercial light-cured glass-ionomer cements. *Br Dent J* 1992; 173: 98-101.
7. Kanchanavasita W, Anstice HM, Pearson GJ. Long-term surface micro-hardness of resin-modified glass ionomers. *J Dent* 1998; 26: 707-12.
8. Arcoria CJ, Butler JR, Wagner MJ, Vitasek BA. Bending strength of Fuji® and Ketac® glass ionomers after sonication. *J Oral Rehabil* 1992; 19: 607-13.
9. Algera TJ, Kleverlaan CJ, Gee AJ, Pahl-Andersen B, Feilzer AJ. The influence of accelerating the setting rate by ultrasound or heat on the bond strength of glass ionomers used as orthodontic bracket cements. *Eur J Orthod* 2005; 27: 472-6.
10. Kleverlaan CJ, van Duinen RNB, Feilzer AJ. Mechanical properties of glass ionomer cements affected by curing methods. *Dent Mater* 2004; 20: 45-50.
11. Fagundes TC, Barata TJ, Bresciani E, Cefaly DF, Carvalho CA, Navarro MF. Influence of ultrasonic setting on tensile bond strength of glass-ionomer cements to dentin. *J Adhes Dent* 2006; 8: 401-7.
12. Tanner DA, Rushe N, Towler MR. Ultrasonically set glass polyalkenoate cements for orthodontic applications *J Mater Sci Mater Med* 2006; 17: 313-8.
13. Towler MR, Bushby AJ, Billington RW, Hill RG. A preliminary comparison of the mechanical properties of chemically cured and ultrasonically cured glass ionomer cements, using nano-indentation techniques *Biomaterials* 2001; 22: 1401-6.

14. Towler MR, Crowley CM, Hill RG. Investigation into the ultrasonic setting of glass ionomer cement: Part 1 Postulated Modalities. *J Mater Sci Let* 2003; 22: 539-41.
15. Twomey E, Towler MR, Crowley CM, Doyle J, Hampshire S. Investigation into the ultrasonic setting of glass ionomer cements. Part II: setting times and compressive strengths. *J Mater Sci* 2004; 39: 4631-2.
16. BS EN ISO 9917-1:2003 Dental water-based cements. United Kingdom: International Organization for Standardization 1-21.
17. Brackett WW, Johnston WM. Relative microhardness of glass ionomer restorative materials as an indicator of finishing time. *J Am Dent Assoc* 1989; 118: 599-602.
18. Laird WRE, Walmsley AD. Ultrasound in dentistry. Part 1: biophysical interactions. *J Dent* 1991; 19: 14-17.
19. Ghorayeb SR, Xue T, Lord W. A finite element study of ultrasonic wave propagation in a tooth phantom. *J Dent Res* 1998; 77: 39-49.
20. Barbieri G, Barbieri CH, Matos PS, Pelá CA, Mazzer N. Avaliação ultra-sonométrica da consolidação de osteotomias mediodiafisárias transversas em diferentes períodos. Estudo experimental em tíbias de carneiro. *Acta Ortop Bras* 2005; 13: 61-67.
21. Crisp S, Lewis BG, Wilson AD. Characterization of glass-ionomer cements: 2. Effect of the powder-liquid ratio on the physical properties. *J Dent* 1976; 4: 287-90.
22. Wilson AD, Crisp S, Abel G. Characterization of glass-ionomer cements. Effect of molecular weight on physical properties. *J Dent* 1977; 5: 117-20.
23. Guggenberger R, May R, Stefan KP. New trends in glass-ionomer chemistry. *Biomaterials* 1998; 19: 479-83.
24. Xie D, Brantley WA, Culbertson BM, Wang G. Mechanical properties and microstructures of glass-ionomer cements. *Dent Mater* 2000; 16: 129-38.
25. van Duinen RNB, Kleverlaan CJ, de Gee AJ, Werner A, Feilzer AJ. Early and long-term wear of "Fast-set" conventional glass-ionomer cements. *Dent Mater* 2005; 21: 716-20.
26. Suslick KS, Price GJ. Applications of ultrasound to materials chemistry. *Annu Rev Mater Sci* 1999; 29: 295-326.
27. Leighton TG. Bubble population phenomena in acoustic cavitation. *Ultrason Sonochem* 1995; 2: 123-36.
28. Mitchell CA, Douglas WH. Comparison of the porosity of hand-mixed and capsulated glass-ionomer luting cements. *Biomaterials* 1997; 18: 1127-31.