

## IRRIGAÇÃO DO POLIMETILMETACRILATO AUMENTA A RESISTÊNCIA À TRACÇÃO DURANTE A POLIMERIZAÇÃO

Bernardo Schmitt<sup>1</sup>  
Gabriele Maria Callegaro Serafini<sup>1</sup>  
Renato do Nascimento Libardoni<sup>2</sup>  
Thalia Chitolina<sup>3</sup>  
Brenda Viviane Götz Socolhoski<sup>4</sup>

### RESUMO

O trabalho visou avaliar a resistência do polimetilmetacrilato (PMMA), com irrigação (grupo I) ou sem irrigação (grupo S) na fase final de polimerização da resina, quando ocorre reação exotérmica que pode superar os 100°C. Através de ensaio mecânico de tração, analisado no computador, as forças geradas para romper as barras com auxílio de máquina EMIC com capacidade de tração de até 100kN (quilonewtons), equivalente a 9,81 toneladas. Testaram-se 22 moldes (corpo de prova) medindo 6,8 x 1,8 x 0,8 cm, sendo 11 de cada grupo, onde os corpos de prova que foram irrigados apresentaram acréscimo de 12,7% na resistência o que foi estatisticamente significativo ( $p=0,0382$ ). Macroscopicamente, observou-se no grupo irrigado diminuição de 46,8% das bolhas de ar geradas no processo de polimerização da resina, pelo qual acredita-se que tenha aumentado sua resistência, por diminuir sua porosidade.

**Palavras-chave:** Resina acrílica, ensaio mecânico, tração, reação exotérmica, rigidez.

### IRRIGATION OF THE POLYMETHYL METHACRYLATE INCREASE THE RESISTANCE TO THE TRACION DURING POLYMERIZATION

### ABSTRACT

The objective was to evaluate the resistance of polymethylmethacrylate (PMMA), with irrigation (group I) or without irrigation (group W) at the end of polymerization of this resin, when happen an exothermic reaction which can overcome the 100 ° C. Through mechanical tests, scoring in computer generated forces to break the bars with the aid of machine EMIC with traction capacity of up to 100kN (kilonewtons), equivalent to 9.81 tons. 22 molds were tested (specimen) measuring 6.8 x 1.8 x 0.8 cm, 11 in each group, where the specimens were irrigated showed an increase of 12,7% in resistance, which was statistically significant ( $p=0,0382$ ). Observed macroscopically a decrease of 46.8% of the air bubbles generated in the polymerization of the resin, it is believed that has increased its strength by decreasing its porosity.

**Keywords:** Acrylic resin, mechanical testing, traction, exothermic reaction, stiffness.

<sup>1</sup> Docente Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ  
bernardoschmitt@msn.com

<sup>2</sup> Docente de Medicina Veterinária na Universidade de Passo Fundo renatolibardoni@upf.br

<sup>3</sup> Discente da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ.  
thalia\_chitolina@hotmail.com

<sup>4</sup> Mestranda na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. \*Correspondência:  
brendasocolhoski17@gmail.com

## EL RIEGO DEL POLIMETILMETACRILATO AUMENTA LA RESISTENCIA A LA TENSION DURANTE LA POLIMERIZACION

### RESUMEN

El trabajo tuvo como objetivo evaluar la resistencia del polimetacrilato de metilo (PMMA), con riego (grupo I) o sin riego (grupo S) en la fase final de polimerización de la resina, cuando ocurre una reacción exotérmica que puede superar los 100°C. A través de un ensayo de tracción mecánica, analizado en computadora, se determinaron las fuerzas generadas al romper las barras con ayuda de una máquina EMIC con capacidad de tracción de hasta 100kN (kilonewtons), equivalente a 9,81 toneladas. Se ensayaron 22 moldes (probeta de prueba) de 6.8 x 1.8 x 0.8 cm, 11 de cada grupo, donde los ejemplares que fueron regados mostraron un aumento de 12.7% en la resistencia, lo cual fue estadísticamente significativo ( $p=0.0382$ ). Macroscópicamente se observó una reducción del 46,8% en las burbujas de aire generadas en el proceso de polimerización de la resina en el grupo irrigado, lo que se cree que aumentó su resistencia al reducir su porosidad.

**Palabras clave:** Resina acrílica, ensayo mecánico, tracción, reacción exotérmica, rigidez.

### INTRODUÇÃO

A ocorrência de fraturas destaca-se na rotina ortopédica de cães e gatos, sendo os eventos traumáticos, como atropelamentos, quedas, brigas e projéteis balísticos as causas mais frequentes (1). Dentre os métodos de osteossíntese, o fixador esquelético externo é amplamente conhecido devido ao baixo custo, relativa simplicidade de aplicação e versatilidade, pois pode ser empregado em diferentes tipos de fraturas (2,3). Para a confecção do FEE 2 a 4 pinos são inseridos através da pele em cada um dos fragmentos ósseos proximais e distais e os pinos são conectados, externamente, por barra metálica ou com polimetilmetacrilato (PMMA), também conhecido como resina acrílica (4,2).

O PMMA é comumente utilizado na odontologia para confecção de próteses, placas miorelaxantes, moldeiras individuais, dentes artificiais, entre outras aplicações (5,2,6). Na ortopedia veterinária, as barras conectoras de acrílico em FEE tornaram-se bastante comum pelo baixo custo, facilidade de aplicação, plasticidade e leveza. Além disso, não há a obrigatoriedade em alinhar os pinos no mesmo plano longitudinal como no uso da barra de metal, permitindo o uso de pinos de diferentes diâmetros (7). Normalmente para a conexão dos pinos do FEE é utilizada a resina não estéril devido ao menor custo. No entanto, a resina estéril (também chamada de cimento ósseo), de valor mais elevado, costuma ser utilizada para ancorar vários tipos de próteses ao osso, tanto de seres humanos como animais (4,8).

O PMMA é preparado após a mistura de um componente líquido (monômero) com um componente sólido (polímero), originando a resina acrílica propriamente dita (5). O PMMA inicia-se na fase líquida, a qual dura de 2 a 3 minutos. Então progride para uma fase de massa firme e moldável, entre 4 a 5 minutos, chegando ao último estágio como uma massa rígida muito resistente dentro de 7 a 10 minutos. Durante a polimerização ocorre a liberação de calor por reação exotérmica nos últimos 2 a 3 minutos do ciclo de secagem (4), podendo chegar a 110°C e causar necrose térmica quando em contato com os tecidos adjacentes (6,8).

Yamazoe et al. (9), ao utilizarem PMMA intramedular como método de osteossíntese de úmero em aves, verificaram que o mesmo não é tóxico, porém algum grau de necrose ocorre devido à liberação de calor durante a polimerização. Em cerca de dez dias as células necróticas são eliminadas e a consolidação da fratura progride adequadamente.

Wikman (10) testou *in situ*, os efeitos da irrigação com solução de Ringer na polimerização do cimento ósseo junto ao acetábulo. Os testes foram efetuados em 19 pessoas submetidas à artroplastia total de quadril. Efetuou oito intervenções com irrigação e 11 intervenções sem irrigação. A temperatura ambiente média foi de 33°C. No grupo irrigado, as temperaturas máximas obtidas na média foram de 40,9°C, sendo que foram atingidas temperaturas superiores a 44°C durante 18 e 46 segundos, em dois pacientes. Já no grupo sem irrigação, verificou-se uma média de temperaturas máximas de 48,8°C. Em nove casos foi observado um tempo médio de 2,7 minutos a temperaturas superiores a 44°C. Desta forma o autor concluiu que a irrigação contínua com solução de Ringer durante a polimerização do PMMA é um procedimento que causa diminuição das temperaturas de polimerização, reduzindo o risco de necrose de origem térmica no tecido ósseo.

Devido à ausência de informações, na literatura, a respeito da possibilidade de mudança na resistência do PMMA não cirúrgico confeccionado com ou sem irrigação, o objetivo deste trabalho foi avaliar, através de ensaio mecânico, se a irrigação feita com solução fisiológica durante a fase de polimerização determina alteração de tal propriedade em corpos de prova.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram confeccionadas 22 barras de resina de acrílico, sendo 11 produzidas sem irrigação durante a fase de polimerização (grupo S) e 11 irrigadas com solução fisiológica durante a mesma fase (grupo I). A sala onde esse procedimento foi realizado manteve-se em temperatura constante de 21°C e a umidade relativa do ar em 60%.

Para a confecção das barras, misturou-se o líquido ao pó nas proporções de 3 partes de pó para 1 de líquido, conforme orientam Camacho et al. (2) e Brinker et al. (1). Assim que a homogeneização era concluída (até 30 segundos), o conteúdo, ainda em fase líquida, era colocado em um molde nas dimensões de 6,8 x 1,8 x 0,8 cm e o excesso removido com espátula para padronização dos tamanhos. Após 10 minutos, quando a barra encontrava-se em fase mais firme, mas ainda com baixa temperatura, a mesma era removida do molde.

Nesse momento, as barras correspondentes ao grupo sem irrigação eram deixadas em “repouso”, permitindo ocorrer a reação exotérmica e rigidez. Já no grupo com irrigação, esperavam-se mais dois minutos para que a barra começasse a aumentar a temperatura e então iniciava-se o processo de resfriamento, o qual durava cinco minutos. As barras de PMMA foram resfriadas com a mesma metodologia de Krüger (8), através de solução fisiológica conectada a um equipo e agulha 27x8 mm, fazendo a irrigação com movimentos circulares ao longo da barra até o total resfriamento das mesmas.

Uma semana após a confecção das barras, as mesmas foram submetidas à análise de tração, através de ensaio mecânico com auxílio da máquina EMIC com capacidade de tração de até 100kN (quilonewtons). Cada extremidade da barra (corpo de prova) era firmemente presa a dispositivos que a tracionavam em sentido contrário, a uma velocidade de 5 mm/s até que a barra rompesse. No momento da ruptura, um programa de computador conectado à máquina demonstrava, em Newtons (N), a força necessária para o rompimento do material.

O teste estatístico empregado neste experimento foi análise de variância (ANOVA) através do teste de Tukey, com nível de significância de 5% para a comparação das forças entre os grupos.

## RESULTADOS

No teste de tração, foi necessária uma média de força de 4.870,72 N para que houvesse rompimento das barras do grupo não irrigado. Já no grupo irrigado, essa média subiu para

5.577,27 N, apresentando diferença de 706,55 N entre os grupos. Logo, houve diferença estatística ( $p= 0,0382$ ), tornando o grupo irrigado mais resistente quando comparado ao grupo sem irrigação.

A menor força para romper o corpo de prova ocorreu no grupo sem irrigação 3.613 N (368,3 KgF), enquanto a maior força para romper o corpo de prova ocorreu no grupo irrigado 6.538 N (718,5 KgF).

Macroscopicamente, observou-se a presença de bolhas de ar nos moldes, onde se visualizou maior quantidade dessas bolhas de ar no grupo S, apresentando uma média de 9,4 bolhas/cm<sup>2</sup>, enquanto que no grupo I, obteve-se média de 4,4 bolhas/cm<sup>2</sup> (Figura 1 (A, B)). O grupo I gerou uma redução de 46,8% da quantidade de bolhas de ar na superfície dos moldes, diminuindo sua porosidade, esses dados podem estar diretamente associados à resistência do PMMA.



Figura 1. Em **A**, detalhe das bolhas de ar nos moldes do grupo I; Em **B**, bolhas de ar nos moldes do grupo S.

## DISCUSSÃO

O teste mecânico realizado nesse experimento consistiu na aplicação de carga de tração uniaxial crescente em um corpo de prova específico até a ruptura. Escolheu-se esse tipo de teste para mensurar a resistência das barras de acrílico, pois se trata de um ensaio amplamente utilizado na indústria de componentes mecânicos, devido às vantagens de fornecer dados quantitativos das características mecânicas dos materiais (11).

Com esse tipo de ensaio, pode-se afirmar que praticamente as deformações promovidas no material são uniformemente distribuídas em todo o seu corpo, pelo menos até ser atingida uma carga máxima próxima do final do ensaio e, como é possível fazer com que a carga cresça numa velocidade razoavelmente lenta durante todo o teste, o ensaio de tração permite medir satisfatoriamente a resistência do material. A ruptura sempre se dá na região mais estreita do material, a menos que um defeito interno no material, fora dessa região, promova a ruptura do mesmo, o que raramente acontece (11). Nesse experimento, a deformação acontecia de forma constante a velocidade de 5mm/s, e como o material era uniforme em sua espessura, sua ruptura não foi sempre no mesmo local, pois o rompimento variou na proporção de 1/3 e 2/3 da barra, o que talvez seja relacionado com o local de maior porosidade da barra.

Segundo Brinker et al. (4), a homogeneização da parte líquida com a sólida de PMMA, deve ser realizada de forma a evitar a incorporação de bolhas de ar, e assim que estiver bem misturado ainda na fase líquida, depositar nos moldes. Esse procedimento foi executado tal qual

a orientação da literatura, pois misturou-se com cautela durante 30 segundos o polímero, minimizando a formação de bolhas de ar.

No grupo I, após serem retiradas as barras de acrílico com 10 minutos subsequentes à mistura, deixava-se por mais dois minutos em “repouso” até os moldes ficarem com consistência rígida, mas ainda, sem aumento significativo da temperatura que era realizado por sensação térmica ao toque antes da irrigação. Os moldes superavam a temperatura corporal após 12 minutos e 15 segundos, estando de acordo com Brinker et al. (4) e Camacho et al. (5), os quais afirmam que há variações no tempo de polimerização, devido a temperatura ambiental, onde altas temperaturas diminuem e baixas temperaturas aumentam o tempo de secagem do material.

O processo de irrigação direta do PMMA com solução salina é eficiente para prevenir necrose térmica, porém ainda permaneciam dúvidas sobre se a irrigação pode interferir com a polimerização e alterar a resistência final do acrílico (12). De acordo com esse experimento, claramente se observou melhor resistência com o grupo irrigado. Além disso, com a irrigação a incidência de bolhas de ar que são formadas no processo de polimerização reduziu, com subsequente diminuição da porosidade. Com isso, ocorreu aumento na resistência do PMMA de 706,55 N ou 72,02 KgF, um acréscimo de 12,7%, sendo estatisticamente significativo ( $p=0,0382$ ).

É importante ressaltar que independente da irrigação, os corpos de prova suportaram forças superiores às necessidades clínicas. No entanto, o achado mais significativo é comprovar que irrigação não interferiu negativamente nas propriedades mecânicas da resina acrílica, assegurando que a prática é benéfica para prevenir lesões térmicas.

Gioso et al. (13), utilizaram o PMMA na redução de fraturas rostrais em mandíbula, maxila e sínfise mandibular, onde não utilizou a irrigação do material durante a polimerização, os autores verificaram lesões ulcerativas nos tecidos moles, principalmente na gengiva. Histologicamente, revelou-se quadro de ulceração, sendo as lesões decorrentes da reação exotérmica da resina. Tais complicações poderiam ter sido evitadas se o autor utilizasse o protocolo do grupo I, pois segundo Krüger (14), que ao comparar o FEE com barras de acrílico com e sem irrigação, obteve-se redução significativa de 21,6°C ( $p<0,01$ ) na temperatura máxima no grupo irrigado e redução também significativa de 11,1 minutos ( $p<0,01$ ) no tempo de permanência acima de 50°C. Esse resultado torna-se importante, pois temperaturas acima de 50°C durante 4 minutos provocam lesões irreversíveis na pele (15). Logo, com a irrigação o pico de temperatura é menor e o tempo que a temperatura fica acima de 50°C, também fica reduzido, evitando as chances de necrose térmica. Essa condição é importante em estabilizações com contato direto à superfície óssea. Além disso, conforme o presente trabalho, ocorre aumento da resistência da resina com a hidratação.

## CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste experimento, conclui-se que as barras de PMMA irrigadas com solução fisiológica, durante a fase exotérmica do processo de polimerização, mostraram-se mais resistentes à tração do que as barras não irrigadas. A prática da irrigação pode ser incentivada, pois além de não prejudicar as características mecânicas da resina acrílica também preserva os tecidos adjacentes contra possíveis lesões térmicas.

**REFERÊNCIAS**

1. Chitolina T, Schons LC, Dunker EC, Santos AA, Serafini GMC. Fraturas apendiculares em cães e gatos: casuística. *Cienc Anim.* 2022;32(1):45-54.
2. Hayashi K, Schulz KS, Fossum TW. Principles of fracture diagnoses and management. In: Fossum TW. *Small animal surgery.* 5th ed. Philadelphia: Elsevier; 2019. Chap. 32, p. 976-1035.
3. Schmit B, Serafini GMC, Libardoni RN, Souza FW, Feranti JPS, Cauduro CR, et al. Ensaio biomecânico para determinação do diâmetro de barra conectora de polimetilmetacrilato em fixador esquelético externo tipo Ia no úmero de suínos. *Arq Bras Med Vet Zootec.* 2018;70(3):779-86. doi: 10.1590/1678-4162-9620.
4. Brinker O, Piermattei D, Flo G. *Handbook of small animal orthopedics and fracture repair.* 5th ed. Riverport: Elsevier; 2016. Fractures: classification, diagnosis, and treatment; p. 24-152.
5. Camacho DP, Svidzinsk TIE, Furlaneto MC, Lopes MB, Corrêa GO. Resinas acrílicas de uso odontológico à base de polimetilmetacrilato. *Braz J Surg Clin Res.* 2014;6(3):63-72.
6. Santos RP, Mazzanti A, Beckmann DV, Aiello G, Brum JS, Leme PT, et al. Temperatura de polimerização da resina acrílica odontológica na medula espinhal de ratos Wistar. *Arq Bras Med Vet e Zootec.* 2012;64(4):865-72. doi: 10.1590/S0102-09352012000400012.
7. Rocha COJM. Comparação da avaliação mecânica de compressão axial em seis modelos de fixadores esqueléticos externos confeccionados com barras estabilizadoras de polimetacrilato de metila ou de madeira e parafusos de aço inoxidável 304 [dissertação]. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2008.
8. Tomazela L. Desenvolvimento, caracterização física e química e análise de propriedades osteogênicas de cimento ósseo poroso a base de PMMA contendo estrôncio [dissertação]. Ribeirão Preto (SP): Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo; 2020.
9. Yamazoe K, Hibino C, Kudo T, Yanai T. The reduction of humeral fracture in pigeons with intramedullary poly (methyl methacrylate) and neutralization plate fixation. *J Vet Med Sci.* 1994;56(4):739-45. doi: 10.1292/jvms.56.739.
10. Wikman AGM. Acetabular cement temperature in arthroplasty. Effect of water cooling in 19 cases. *Acta Ortho Scand.* 1992;63(5):543-44. doi: 10.3109/17453679209154733.
11. Garcia A, Spim JA, Santos CA. *Ensaio dos materiais.* Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos; 2000. Ensaio de tração; p. 22-43.
12. De Wijn JR. Reduction of maximum temperature in the polymerization of cold- and heat-curing acrylic resins. *J Bio Mat Res.* 1974;8(6):421-34. doi: 10.1002/jbm.820080610.

13. Gioso MA, Vianna RS, Venturini MAFA, Correa HL, Venceslau A, Araújo VC. Análise clínica e histológica da utilização da resina acrílica autopolimerizável nas fraturas de mandíbula e maxila e separação da sínfise mentoniana em cães e gatos. Cienc Rural. 2001;31(2):291-8. doi: 10.1590/S0103-84782001000200016.
14. Krüger RM. Determinação do potencial térmico em barras conectoras de resina acrílica autopolimerizável de fixadores externos por termografia [dissertação]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2012.
15. Moritz AR, Henriques FC. Studies of thermal injury: the relative importance of time and surface temperature in the causation of cutaneous burns. Am J Pathol. 1947;23(5):695-720.

**Recebido em: 02/02/2024**

**Aceito em: 03/05/2024**