

MATERIAIS E TÉCNICAS PARA RECONSTRUÇÃO EM CRANIOPLASTIA UTILIZANDO O POLIMETILMETACRILATO(PMMA)

Edgar Phelipe de Matos Santos, edgarphelipe@hotmail.com.br¹

César Henrique Cordova Quiroz, cesar@fem.unicamp.br¹

Alan Ferreira Pinheiro Tavares, alan@fem.unicamp.br¹

Antonio Celso Fonseca Arruda, celso@fem.unicamp.br¹

¹Universidade Estadual de Campinas, Rua Mendeleev, 200, Campinas – São Paulo

Resumo: A reconstrução do crânio ósseo pode ser obtida por diferentes técnicas de cranioplastia como prototipagem, enxerto ósseo e malha de poliéster com polipropileno. Há várias origens de defeitos cranianos, incluindo trauma, tumores, deformidades congênitas ou defeitos pós-operatórios devido ao procedimento cirúrgico em si. A cranioplastia deve ser segura, rápida e fácil de manusear. O metilmetacrilato é uma resina acrílica de auto-polimerização que pode ser utilizada na reparação de defeitos cranianos. Encontra-se disponível em três formas: PMMA sem malha, PMMA reforçado com malha e PMMA pré-formada. Em cranioplastia, o tamanho e a localização dos defeitos proporcionam os critérios de seleção para o uso de PMMA. O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sobre as técnicas para reconstrução em cranioplastia com o uso do polimetilmetacrilato para fins médicos. Os resultados mostram que as técnicas eficientes são os implantes sob medida, sendo utilizados softwares de reconstrução tridimensional (3D), tomografia computadorizada e prototipagem rápida. Conclui-se que esta técnica pode ser útil para a reconstrução óssea do crânio e de outras áreas.

Palavras-chave: Cranioplastia, Prototipagem Rápida, Polimetilmetacrilato e Processamento de Imagens.

1. INTRODUÇÃO

A reconstrução do crânio ósseo pode ser obtida por diferentes técnicas de cranioplastia como prototipagem, enxerto ósseo e pré-molde por prototipagem. Há várias origens de defeitos cranianos, incluindo trauma, tumores, deformidades congênitas ou defeitos pós-operatórios devido ao procedimento cirúrgico em si. Segundo a Sociedade Brasileira de Neurocirurgia Andrade et al. (2004), cerca de dois milhões de pessoas são internadas por ano em hospitais da rede pública, vítimas de traumatismos em geral. Destas, quinhentas mil requerem hospitalização devido a traumatismo craniano-cerebral.

A reconstrução do crânio ósseo pode ser obtida por diferentes técnicas de cranioplastia como prototipagem, enxerto ósseo e pré-molde por prototipagem. Há várias origens de defeitos cranianos, incluindo trauma, tumores, deformidades congênitas ou defeitos pós-operatórios devido ao procedimento cirúrgico em si. Segundo a Sociedade Brasileira de Neurocirurgia Andrade et al. (2004), cerca de dois milhões de pessoas são internadas por ano em hospitais da rede pública, vítimas de traumatismos em geral. Destas, quinhentas mil requerem hospitalização devido a traumatismo craniano-cerebral, sendo que mais da metade destes casos é proveniente de acidentes automobilísticos, 21% referente a quedas, 12% em assaltos ou agressões e 10% em esportes e recreações.

O problema é agravado pelo alto índice de rejeição e o alto tempo cirúrgico é um dos desafios para a cranioplastia, a rejeição por biocompatibilidade na cranioplastia variam na literatura de 3,8% a 14% (Fernandes, 2003). Outra grande dificuldade encontrada na utilização desses processos de manufatura, reside na necessidade de obtenção de um modelo físico ou virtual do implante a ser fabricado a partir de imagens digitais.

Os benefícios produzidos pelo desenvolvimento de próteses biomédicas sob medida melhoraram, tais como a redução do tempo da morbidade, dos riscos e traumas cirúrgicos, bem como a redução da dor pós-operatória, risco de infecções e rejeições, também apresentaram melhores em resultados estéticos. Devido ao desenvolvimento de hardware e software, tais próteses têm sido amplamente investigadas, a integração entre sistemas radiológicos e computacionais tem possibilitado constituir modelos tridimensionais das regiões a serem submetidas à cirurgia e incorporá-los às técnicas de projeto e fabricação para atender o indivíduo em questão.

O estudo dos atuais métodos e materiais para reconstrução de cranioplastia vêm apresentando múltiplas alternativas de fabricação para implantes, respeitando as propriedades de osteoindução, osteocondução, osteointegração e regeneração. Os resultados estéticos e os testes de biocompatibilidade favorecem a acessibilidade do material acrílico polimetilmetacrilato (PMMA) que pode diminuir os custos e melhorar a qualidade de vida dos seres humanos. Baseado

nas afirmações abordadas acima, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre as técnicas para reconstrução em cranioplastia com o uso do polimetilmetacrilato para fins médicos.

2. METODOLOGIA

Realizou-se a revisão bibliográfica ao fundamentar a base conceitual através de temas definidos como relevantes a esta pesquisa, tais como: cranioplastia; biocompatibilidade; biomateriais; materiais aloplásticos para cranioplastia; as técnicas atuais utilizadas para a realização da cranioplastia e por fim um estudo sobre relevância do tema, demonstrando assim, a importância deste trabalho. O trabalho desenvolvido seguiu os preceitos de estudo exploratórios, por meio de uma pesquisa bibliográfica, que, segundo Gil (2008), é desenvolvida a partir de um material que está elaborado, constituído de livros e artigos científicos. Nesta perspectiva, foram utilizadas as seguintes etapas:

2.1. Etapa – Fontes

A seguir estão descritas as fontes que forneceram as repostas adequadas à solução do tema proposto:

a. Foram utilizados artigos científicos, divididos em engenharia biomédica em biomateriais, medicina em cranioplastia e biocompatibilidade, livros de engenharia mecânica, e outras seções de livros e artigos científicos que abordaram a temática, em idioma inglês e português publicados no período de 2000 ao segundo semestre de 2015.

b. Os artigos científicos em texto completo sobre a temática foram acessados nas bases de dados da própria instituição, Universidade do Estado do Amazonas, dispondo dos Periódicos Capes da SciVerse ScienceDirect da Elsevier, Scopus, Scirus da Elsevier, Scielo Livros, Medline e Springer, publicados entre os anos de 1998 e 2015, nos idiomas em inglês e português.

Para a seleção das fontes, foram consideradas como critério de inclusão as bibliografias que abordassem a cranioplastia, polimetilmetacrilato (PMMA), biomateriais para cranioplastia, biocompatibilidade, testes biomecânicos. Foram excluídas aquelas que não atenderam a temática..

2.2. Etapa – Coleta de dados

A coleta de dados seguiu da seguinte premissa:

a. Leitura exploratória de todo o material selecionado (leitura rápida que objetiva verificar se a obra consultada é de interesse para o trabalho); b. Leitura seletiva (leitura mais aprofundada das partes que realmente interessam);

c. Registro das informações extraídas das fontes em instrumento específico (autores, ano, método, resultados e conclusões)

2.3. Etapa – Análise e interpretação dos resultados

Nesta etapa foi realizada uma revisão literária analítica com a finalidade de ordenar e sumariar as informações contidas nas fontes, de forma que estas possibilitassem a obtenção de respostas ao trabalho proposto.

2.4. Etapa – Discussão dos resultados

Categorias que emergiram da etapa anterior foram analisadas e discutidas a partir do referencial teórico relativo à temática do estudo.

3. CRANIOPLASTIA

Cada vez mais se pode ressaltar o trabalho conjunto de equipes especializadas de forma a implantar tecnologias a serviço do bem comum. Ainda mais, quando esta finalidade alavanca novos setores do mercado, gerando serviços e acarretando uma maior rapidez e condição no atendimento de um mercado mundial.

Com frequência, a plástica reconstrutiva se vê na necessidade de ser amparada pela reposição de algum tecido orgânico, quer seja duro ou mole. A utilização de próteses se dá para as ocorrências na qual a necessidade é a transferência de tecidos duros, podendo ainda envolver articulações. Estas próteses não deverão atender exclusivamente aos requisitos de funcionalidade e resistência mecânica, mas também estética, conforme sugere Iniciação à Aparelhagem dos Deficientes Físicos (Giraudet, 1978).

Segundo Eufinger e Saylor (2001), os implantes podem ser:

- **Autólogos:** retirado do próprio ser vivo;

- **Não autólogos:** para evidenciar que é originário de outro, podendo este ser:

a. **Homólogos:** da mesma espécie;

b. **Heterólogos:** de espécie diferente;

- **Aloplásticos:** com a utilização de materiais.

Os implantes ósseos não se oferecem a promover por longa duração a estabilidade geométrica e podem não convergir para os resultados esperados: os de tipo autólogo supõem aumento da morbidade (incidência de trauma ou dor) cirúrgica e pós-operatória, além do maior tempo da mesma, tornando-se impraticável para implantes em grandes áreas. Se estes são do tipo não autólogo, os agentes infecciosos e reação imunológica envolvem riscos por parte do organismo.

O benefício do implante aloplástico (utilizando materiais como resinas, polímeros, metais e cerâmicas) é que proporcionam estabilidade geométrica, podem ser obtidos em qualquer quantidade necessária, minimizam-se os riscos de agentes infecciosos e não se torna necessária a remoção de um enxerto do tipo autólogo, que aumentaria a morbidade da cirurgia e dor pós-operatória. No entanto, dependendo do material empregado, podem ocorrer algumas reações inflamatórias dos tecidos periféricos. Quando o foco é cranioplastia, a cirurgia e a manipulação dos implantes requerem muita habilidade do cirurgião para ajustar em pouco tempo a prótese, muitas vezes maiores que dez centímetros. São vários os riscos que estarão envolvidos durante a cirurgia, isto dependerá da habilidade do cirurgião, pois as anatomias dos pacientes sempre variam.

Com relação à cirurgia, a fabricação de próteses pode ser classificada em “intra-operativa” e “pré-operativa”. A fabricação de implantes pré-moldada é uma opção vantajosa, pois facilita ao cirurgião o planejamento e construção sob medida na fase pré-operativa. A cranioplastia vem cada vez mais incorporando procedimentos e materiais capazes de conferir uma melhor reabilitação do paciente. Além do preparo pré-operativo da prótese, são requeridos fatores estéticos para orientarem a utilização das próteses sob medida, que também são atualmente um alvo das técnicas CAD/CAE/CAM, pela capacidade de uma pré-fabricação individual de implantes craniofaciais assistida por computador.

3.1. Avaliação da Biocompatibilidade

Biocompatibilidade e biofuncionalidade são duas importantes características necessárias para que os biomateriais exerçam suas funções. Segundo Boschi (1996), biofuncionalidade pode ser definida como a capacidade de um dispositivo funcionar com resposta apropriada do hospedeiro em uma aplicação específica. Esta definição relaciona a biofuncionalidade a um conjunto de propriedades que dá a determinado dispositivo a capacidade de realizar uma função semelhante à daquela do material que está sendo substituído.

A biocompatibilidade descreve as interações entre os sistemas vivos e o biomaterial implantado dentro deste sistema. Para avaliar a biocompatibilidade dos biomateriais utilizados nos seres humanos, os mesmos devem ser testados utilizando diferentes procedimentos. A biocompatibilidade de um material é considerada ótima se o material após implantação permite a formação de tecidos normais na sua superfície e, adicionalmente, se ele estabelece uma interface contínua capaz de suportar as cargas que normalmente ocorrem no local da sua implantação (KOHN, D. H. e DUCHEYNE, P., 1992).

3.2. Biomateriais para Próteses

Analisar a melhor ou pior aplicação dos materiais em plástica reconstrutiva requer em conhecer a parte óssea humana e também alguns mecanismos de regeneração orgânica. Com isto, as tentativas de simular em materiais estes mecanismos resultam não só na avaliação da sua composição química, mas também a da sua estrutura interna.

Segundo Santos (2002), os biomateriais são definidos como substâncias de origem natural ou sintética que são toleradas de forma transitória ou permanente pelos diversos tecidos que compõem os órgãos dos seres vivos. São vários os critérios que um material deve atender para ser classificado como um biomaterial; Santos (2002) o destaca e apresenta requisitos específicos fundamentais, inicializando o conceito sobre biofuncionalidade:

O material deve ser biocompatível, ou seja, sua presença não deve causar prejuízos a curto e longo prazo;

- Os tecidos não devem causar degradação do material implantado, a não ser de forma tolerável;

- O material deve ser biofuncional, ou seja, deve ter características adequadas para cumprir a função (estática ou dinâmica) desejada, pelo tempo esperado;

- O material deve ser esterilizável.

De acordo com Santos (2002), a classificação dos biomateriais de acordo com seu comportamento fisiológico:

Biotoleráveis: materiais apenas tolerados pelo organismo, sendo isolados dos tecidos adjacentes por meio da formação de camada envoltória de tecido fibroso. Os materiais biotoleráveis são praticamente todos poliméricos sintéticos assim como a grande maioria dos metais.

Bioinertes: materiais também tolerados pelo organismo, mas em que a formação do encapsulamento fibroso é mínima, praticamente inexistente. O material não libera nenhum tipo de componente ou o faz em quantidades mínimas. Os materiais bioinertes mais utilizados são a alumina, zircônia, titânio, liga de titânio e carbono.

Bioativos: materiais que promovem ligações de natureza química entre material e tecido ósseo. Os principais materiais desta classe são os vidros e vitrocerâmicas à base de fosfato de cálcio, hidroxiapatita e os compostos de fosfato de cálcio.

Absorvíveis: materiais que, após certo período de tempo em contato com os tecidos, acabam sendo degradados, solubilizados ou fagocitados pelo organismo, sendo representados, por exemplo, pelo fosfato tricálcico e o ácido polilático.

A variedade das aplicações dos biomateriais mostrados na Tabela 1 torna esta revisão concentrada nesta área de conhecimento um trabalho de característica eminentemente interdisciplinar, pois os fatores que definem o sucesso de suas aplicações, tais como: processamento em formas variadas, rotas de síntese, qualidade e esterilidade clínica e resposta do tecido hospedeiro com análises de osteointegração (KAWACHI et al., 2000).

Tabela 1: Principais aplicações dos materiais aloplásticos (KAWACHI et al., 2000).

	Biomaterial	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Polímeros	Polietileno / PTFE / Poliéster / Poliuretano / PMMA / Silicona	Elasticidade / Fácil Fabricação / Baixa Densidade	Baixa resistência mecânica / Degradação dependente do tempo	Suturas / artérias / veias, maxilofacial (nariz, orelha, maxilar, mandíbula, dente); cimento / tendão artificial / oftalmologia / Fixação ortopédica (parafusos, pinos, placas, fios, hastes) / Implantes dentários
Metais e Ligas	Aço inoxidável / Liga de titânio / Liga de cobalto- Cromo	Resistência mecânica / Alta resistência ao desgaste / Alto módulo elástico / Alta resistência ao desgaste	Baixa biocompatibilidade/ Corrosão em meio fisiológico/ Perdas das propriedades mecânicas com tecidos conectivos moles/ Alta densidade	Suturas / artérias / veias, maxilofacial (nariz, orelha, maxilar, mandíbula, dente); Cimento / tendão artificial / oftalmologia / Fixação ortopédica (parafusos, pinos, placas, fios, hastes) / Implantes dentários
Cerâmicas e Vidros	Alumina / Zircônia / Carbono / Fosfato de Cálcio / Porcelana / Vidros Bioativos	Boa biocompatibilidade/ Resistência à corrosão / Inércia / Alta resistência à compressão	Baixa força de tensão / Baixa resistência mecânica / Baixa elasticidade / Alta densidade	Ossos / Articulações / Dentes / Válvulas / Tendões, vasos sanguíneos / traquéias artificiais
Compósitos	Fibra de carbono/ Fibra de carbono termoplástico / Carbono- carbono / Fosfato de cálcio – Colágeno	Boa biocompatibilidade/ Inércia / Resistência à corrosão / Alta força de tensão	Material de fabricação incompatível	Válvula cardíaca (carbono ou grafite pirolítico) / implantes/ joelhos (fibra de carbono reforçada com polietileno de alta densidade)

3.3. Materiais aloplásticos usados para cranioplastia - polimetilmetacrilato (PMMA)

Conforme Chiarini et al. (2004), em uma gama de possibilidades, o material sintético deverá ser biocompatível, inerte, não condutor térmico, nem magnético, deverá ser radiopaco, leve, rígido, preparação simples, aplicação facilitada e custo barato. De acordo com estes autores, o material que apresenta as características mais próximas é o polimetilmetacrilato (PMMA), sua maior vantagem com relação à utilização deste material é a possibilidade de prepará-lo pré-operativamente e, com isso reduzir o tempo e a complexidade da cirurgia, resultando em melhores resultados.

De acordo com Calixto (2001), os materiais mais utilizados para implantes, aplicados em todo o corpo humano, são os metais ou ligas metálicas (titânio, titânio-alumínio-vanádio, cobalto-cromo- mobilidêneo, ferro-cromo-níquel), as cerâmicas (fosfato de tricálcio, hidroxiapatita, aluminatos de cálcio), os polímeros (silicones, poliamida, ácido poliático, ácido glicólico, polipropileno, polietileno, polimetilmetacrilato, politetrafluoretileno, poliuretanas), os compósitos (cerâmicas de vidro, cimentos de ionômero de vidro) e, mais recentemente, os vidros bioativos. Portanto, para as aplicações em cranioplastia, são usados apenas os materiais de menor susceptibilidade a rejeições, justamente por se tratar de uma região crítica, e os que são mais leves favorecem o aspecto do conforto por parte do paciente.

Estes biomateriais são regulamentados pelo Food and Drug Administration (FDA), pela padronização existente para a avaliação da biocompatibilidade desses materiais. De acordo com Malmonge et al. (1999), uma etapa inicial para essa avaliação dá-se por meio dos testes de citotoxicidade, usados em uma pré – seleção para detectar se o material em questão gera morte das células ou outros efeitos negativos nas funções celulares. Menciona também diferentes protocolos padrões estabelecidos para os testes de citotoxicidade:

- ASTM F-813/83: Método de contato direto para avaliação de materiais e dispositivos médicos (cultura de células);
- ASTM F-895/84: Método de difusão em ágar5 de cultura de células para seleção de materiais por citotoxicidade;
- ISO 10993-56: Avaliação biológica de dispositivos médicos - Parte 5: Testes para citotoxicidade (métodos in vitro).

Descrevendo-se brevemente os princípios de seleção dos materiais aloplásticos para cranioplastia e sua aplicação pode ser verificada no trabalho de Eppley (1999), o mesmo ainda traz vários tipos de implantes aloplásticos cujos sucessos foram comprovados clinicamente. Assim sendo, serão abordados agora isoladamente alguns destes materiais mais comumente utilizados em cranioplastia, dentre outros, com base neste autor, e destacando o polimetilmetacrilato (PMMA).

O polimetilmetacrilato (PMMA) há muito tempo é utilizado tanto em cirurgias ortopédicas como também em forma de cimento ósseo para fixação de próteses comuns. Pode ser preparado intraoperativamente, misturando um monômero líquido com um polímero em pó. Sofre auto-polimerização em alguns minutos (8 a 10) com uma reação exotérmica, podendo chegar a 80°C e resulta em um material rígido, quase translúcido e de custo muito baixo.

Segundo Lara (1998), em cranioplastia, o tamanho e a localização dos defeitos proporcionam os critérios de seleção para o uso de PMMA, o PMMA sem malha é ideal para pequenos defeitos (5 cm² - 15 cm²), o PMMA reforçado com malha é usado para defeitos de tamanho moderado (16 cm² - 49cm²). Neste sentido, o polimetilmetacrilato (PMMA) é um dos materiais inertes que melhor atende a estes requisitos.

Forma-se um polímero rígido e praticamente translúcido. Conforme descrito por Eppley (2003) em seus relatos sobre cranioplastia aloplástica, devido ao fato do monômero líquido ser extremamente citotóxico e alergênico, a combinação e o início do processo de polimerização ocorrem fora do local de implantação. Uma vez formado, o polimetilmetacrilato (PMMA) é inerte, não é biodegradável e induz a formação de uma cápsula fibrosa, o que significa que há tolerância biológica, mas não há capacidade de incorporação tecidual. A formação desta cápsula de tecido fibroso costuma ser atribuída ao trauma cirúrgico, ao choque térmico provocado pela polimerização in situ, reação exotérmica que pode necrosar o osso se a temperatura alcançar 56°C (HENCH e ETHRIDGE, 1982), e pela alta toxicidade dos monômeros não polimerizados, fato confirmado em cultura de células (PEDERSEN, 1987).

O polimetilmetacrilato (PMMA) mostra diversas vantagens. Este material se adapta facilmente ao contorno do defeito intraoperativamente e é bastante durável, apresentando alta resistência ao impacto. Devido a sua rigidez, o polimetilmetacrilato (PMMA) pode ter sua tenacidade à fratura incrementada pela utilização conjunta de malhas metálicas como reforço, aproximando a resistência do implante à resistência do crânio (Eppley, 2003).

4. TÉCNICAS EM CRANIOPLASTIA

Na prática comum do neurocirurgião pode-se realizar a restauração da falha óssea dependendo do seu tamanho com o uso de técnicas personalizadas e descobertas na cranioplastia durante seu período de evolução, dentre elas, são destacadas três técnicas que são utilizadas em cranioplastia: prototipagem rápida (PR), enxerto ósseo e pré-moldado.

4.1. Prototipagem Rápida

Na década de 1980, motivados pela necessidade de se obter modelos físicos de forma mais rápida e precisa que os produzidos artesanalmente, a indústria começou a investir na produção direta de protótipos a partir de modelos CAD

tridimensionais. Nesta tecnologia, conhecida como fabricação por camada ou prototipagem rápida (PR), a produção direta de protótipos se apresentou como nova dimensão na indústria, com ganhos de qualidade e custos de desenvolvimento de novos produtos. Diante da possibilidade de se produzir modelos computacionais tridimensionais de estruturas internas do corpo humano e da possibilidade de produção direta de protótipos físicos deram-se a integração das duas tecnologias com o início de uma nova era no estudo, diagnóstico, planejamento cirúrgico e produção de implantes personalizados.

O planejamento para o processo de prototipagem rápida (PR) como ferramenta de auxílio a cranioplastia, envolve ler uma geometria representada por triângulos geralmente no formato Stereolithography (STL), oriundo de dados médicos obtidos por Tomografia Computadorizada (TC) ou Ressonância Magnética (RNM), seccioná-lo, identificar regiões que requeiram suporte, determinar os dados para adição de camadas e enviá-los à máquina de PR, (VOLPATO et al., 2005). A tecnologia de PR médica é uma área multidisciplinar, que envolve recursos do campo de engenharia reversa, projeto, manufatura, biomateriais e médico, (HIEU et al., 2005). Um fator importante para o sucesso da aplicação da PR é a escolha da tecnologia e do material adequado. Ashley (1994) afirma que essas escolhas influenciam na capacidade do processo, que inclui: acabamento superficial, tolerâncias e velocidade de fabricação. Além disso, Bazan (2004) menciona o fato da confecção direta de implantes por meio da PR ser limitada às técnicas que processem biomateriais.

Um exemplo de sucesso brasileiro do uso da PR na área médica é o Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI/MCT – Campinas/SP). Esse centro de pesquisa utiliza as técnicas de PR para a confecção de modelos craniofaciais para cirurgias de todo o país. Modelos são produzidos por técnicas de Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e Impressão Tri- dimensional (3D-P) e são usadas principalmente para planejamento cirúrgico de próteses personalizadas.

Segundo Marbacher et al. (2012), em um (n=23) pacientes foi utilizada a técnica de prototipagem rápida e se usou como material o polimetilmetacrilato (PMMA) e os resultados do estudo demonstraram que a técnica intra-operatória é rápida, segura e precisa.

Este estágio único de reconstrução poupa um número substancial de pacientes a partir de condições desagradáveis e resultam em excelentes resultados. Este método de prototipagem rápida é seguro, resultando em excelentes resultados estéticos, e podem ser aplicados em processos precoces e tardios de cranioplastia. Este estágio único de reconstrução poupa um número substancial de pacientes a partir de condições desagradáveis e resultam em excelentes resultados. Na Figura 1

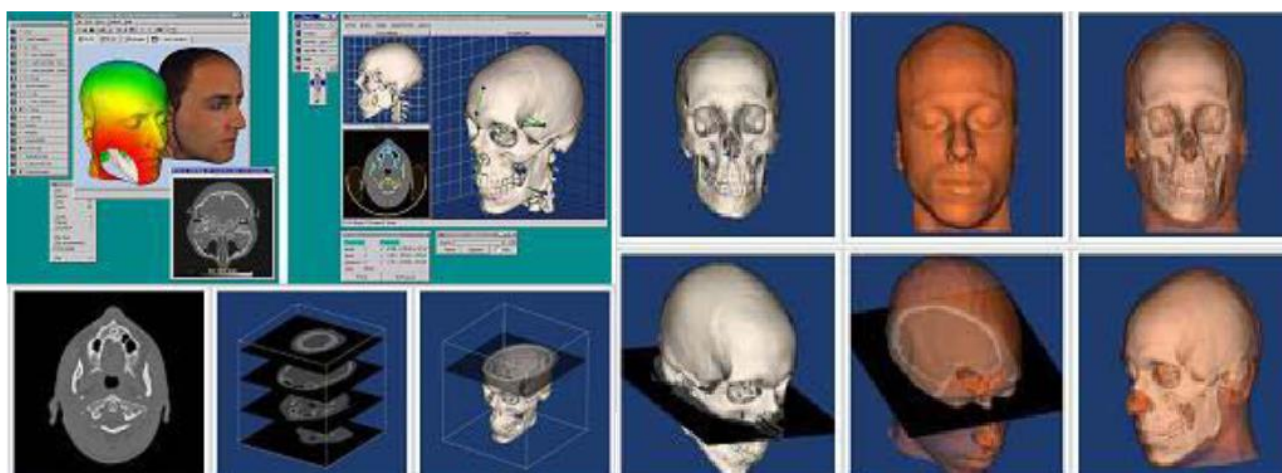


Figura 1 Diferentes modos de reconstrução tridimensional de um crânio humano (Barré, 2003).

4.2. Enxerto Ósseo

O enxerto ósseo é um dos procedimentos mais utilizados na reparação das perdas ósseas causadas por má formação congênitas faciais, resseções de tumores, infecções ou traumas do esqueleto facial. O enxerto ósseo autólogo é considerado o melhor material para este propósito e pode ser obtido de zonas doadoras apropriadas no mesmo ato operatório. A grande maioria dos enxertos utilizados na cirurgia crânio-maxilo-facial é autóloga, retirados da calota craniana, que, por ser de origem embriológica semelhante à maioria dos ossos da face, apresenta índices superiores de integração. A retirada do enxerto autólogo tem morbidade associada, seja da calota craniana ou de sítios fora do esqueleto craniofacial. Nas situações de extenso déficit ósseo ou quando é necessário diminuir tempo e morbidade cirúrgica, o uso de enxerto homólogo deve ser considerado. Verifica-se na Figura 2 o procedimento realizado, obtiveram os seguintes resultados.

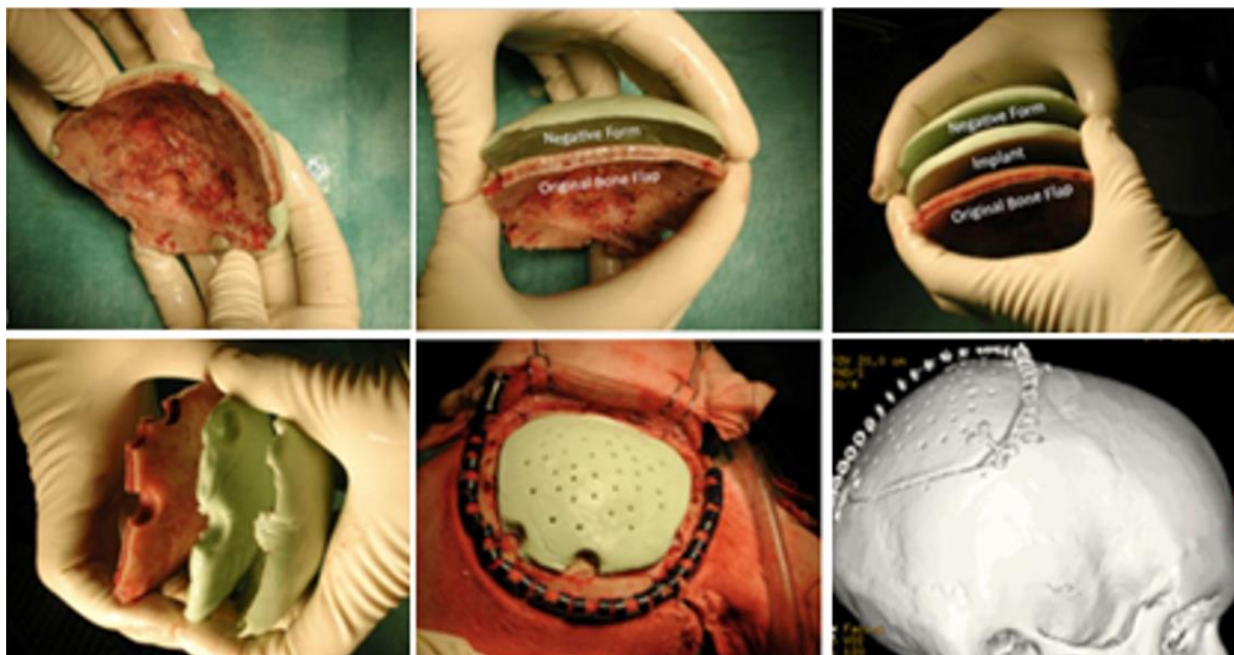


Figura 2 Enxerto ósseo obtido de ossos autólogos do paciente e moldado no momento da cirurgia (Marbacher et al.,

A avaliação confirmou o padrão de integração óssea dos enxertos autólogos, reforçando sua indicação como primeira opção nas reconstruções do esqueleto facial. Conclui-se que dentre os enxertos estudados, o autólogo é o melhor para repor as perdas ósseas na cirurgia crânio-maxilo-facial. Entretanto, os enxertos homólogos processados por congelamento profunda ou liofilização apresentam resultados satisfatórios na reparação destas falhas ósseas. Mais estudos são necessários para confirmar esta tendência.

4.3. Prototipagem do Pré-molde

A prototipagem, método de reprodução de seguimentos corporais a partir da imagem adquirida por exames de tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética (RM), tem sido usada na área médica para reconstrução de moldes que facilitam a programação cirúrgica, a simulação cirúrgica e também a criação de próteses. Para correção de falhas ósseas (cranioplastia) a prototipagem permite a reconstrução do crânio evidenciando as reais proporções da falha óssea, possibilitando a construção de uma prótese reparadora com diferentes materiais.

5. RELEVÂNCIA DO TEMA E DISCUSSÃO

5.1. Artigos publicados sobre o tema

Realizou-se um estudo quantitativo, de quantos artigos relevantes sobre o tema foram publicados durante os últimos vinte e cinco anos, foram utilizadas como ferramentas de busca as palavras-chave: cranioplasty implants polymethylmethacrylate. Selecionou-se somente artigos publicados em revistas internacionais, congressos e periódicos pela (SCIENCEDIRECT, 2015). A partir destes dados, elaborou-se o gráfico da Figura 4, ilustrando a evolução quantitativa das pesquisas relacionadas à cranioplastia e PMMA, logo, verificou-se uma crescente tendência de pesquisas que envolvem cranioplastia e PMMA durante esses anos.

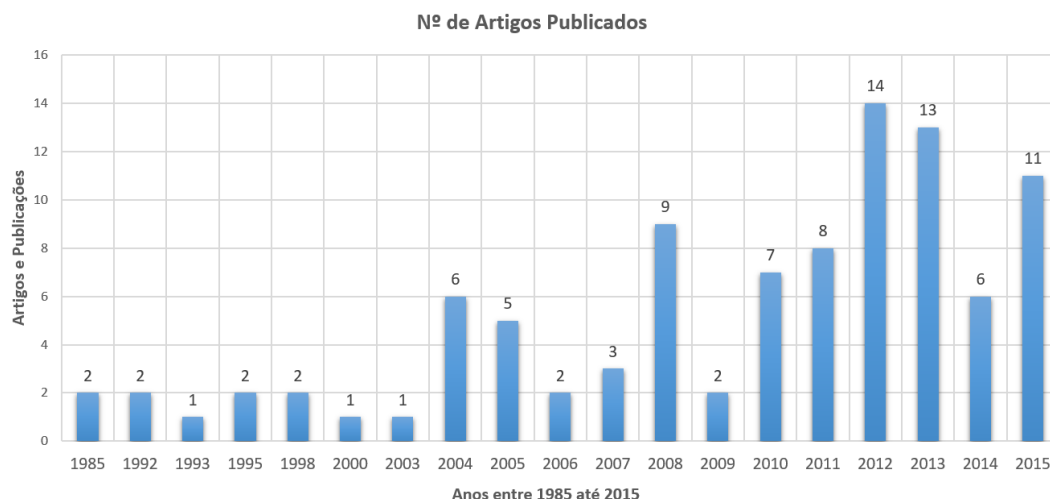


Figura 3 Evolução das pesquisas relacionadas com cranioplastia e PMMA (SCIENCEDIRECT, 2015).

5.2. Autores

Realizou-se um levantamento de dados contendo os autores com maior relevância do tema de cranioplastia com polimetilmetacrilato, foram utilizadas como ferramentas de busca as palavras-chaves: cranioplasty implants polymethylmethacrylate (SCIENCEDIRECT, 2015). A partir destes dados, elaborou-se o gráfico da Figura 4, ilustrando, por autor de relevância, a quantidade de pesquisas publicadas somada ao número de citações realizadas em artigos científicos.

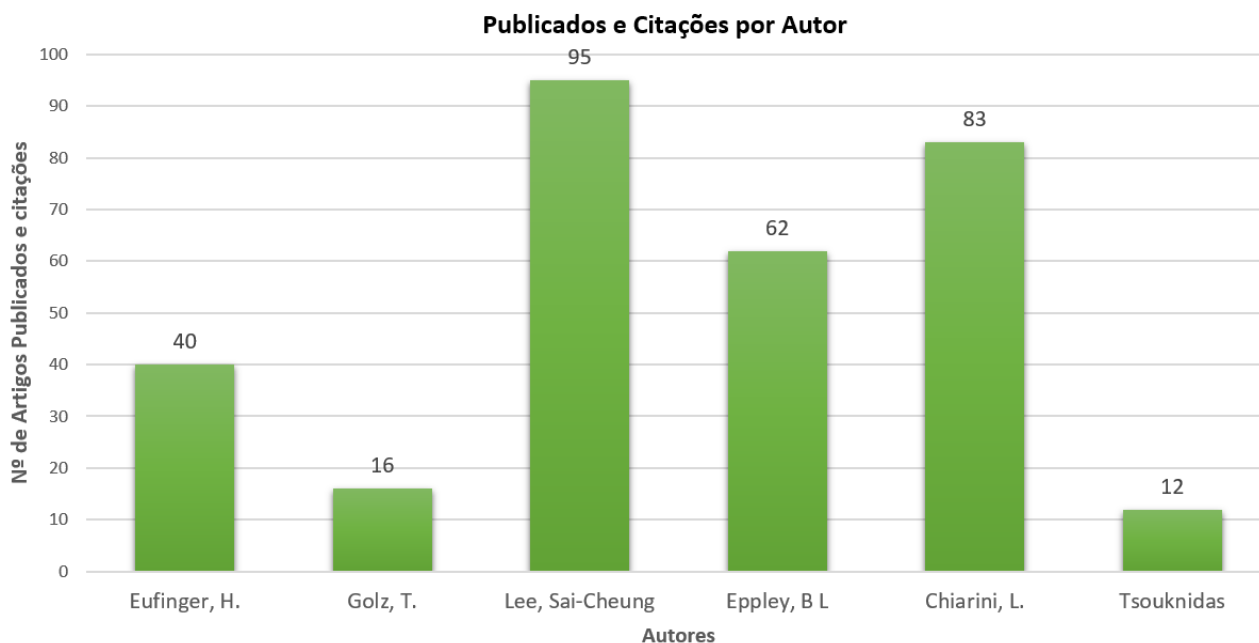


Figura 4 Evolução Publicações de artigos e citações por autores (SCIENCEDIRECT, 2015).

Os autores Eufinger e Saylor (2001) relatam em suas pesquisas os avanços da prototipagem rápida, os benefícios da integração dos sistemas CAD/CAM como alternativa na cranioplastia e a utilização do polimetilmetacrilato (PMMA), o mesmo ainda em sua pesquisa discute as técnicas intra-operativas como solução para a cranioplastia, realizando experimentos de Tomografia computadorizada (TC) e a reconstrução tridimensional em softwares especializados na área de engenharia biomédica.

Utilizando-se de dados da pesquisa de Eufinger e Saylor (2001), o autor Golz (2010) realizou ensaios de temperatura em cranioplastia utilizando o polimetilmetacrilato (PMMA), logo, observou-se que a técnica de pré-moldagem com a prototipagem rápida teve resultados eficientes. A discussão gerada foi devido à exposição elevada do paciente durante horas, na qual acarretaria em possíveis infecções durante a cranioplastia. Este trabalho está sendo utilizado em outras publicações, pois, deve-se considerar a elevação de temperatura do biomaterial que está sendo utilizado para que não ocorram intervenções inadequadas.

Autor Lee et al. (2009) discute em suas pesquisas o fato de Eufinger e Saylor (2001) não ter citado o tipo de tomografia que foi utilizada. O mesmo propõe que a melhor tomografia a ser utilizada na prototipagem rápida é a computadorizada helicoidal, pois este procedimento beneficiaria a coleta das imagens em (3D), não sendo mais necessária a gravação em formato STL como relata Eufinger e Saylor (2001). Os resultados de Lee et al. (2009) serviram de base para outros autores, pois estes iniciaram uma nova pesquisa sobre processamento digital de imagens (PDI).

Eppley (2005) coletou dados de vários autores, como o Lee et al. (2009) e Eufinger e Saylor (2001), para comprovar os testes biomecânicos do PMMA em cranioplastia. Seus resultados foram certificados de acordo com a norma ASTM e logo em seguida aproveitados para as pesquisas científicas e comprovações atuais de Tsouknidas et al. (2011) que menciona em seus trabalhos a importância da avaliação do PMMA através dos Métodos de Elementos Finitos (MEF) que comprovam os ensaios biomecânicos de Eppley (2005). O autor ainda enfatiza a prototipagem rápida como sendo a mais eficiente técnica utilizada atualmente.

Segundo Rotaru (2012), em suas pesquisas recentes obteve cem por cento de sucesso com a prototipagem rápida. Utilizou dez pacientes com histórico de acidentes e fraturas no crânio, a partir deste histórico, realizou a cranioplastia empregando a técnica de prototipagem rápida (PR), e utilizando como material o polimetilmetacrilato (PMMA) para a reconstrução cranial. Rotaru (2012) obteve como resultado que os implantes feitos sob medida para cranioplastia mostraram uma melhoria significativa na morfologia. A técnica de prototipagem rápida está sendo útil para a reparação de grandes e complexos defeitos cranianos, e ainda pode ser utilizada para a reconstrução de ossos de outros locais.

Devido à comprovação da prototipagem rápida (PR) como a técnica mais eficiente para cranioplastia, há um número recente de patentes por ano, as quais se destacam a suíça PATENT COOPERATION TREATY APPLICATION (WIPO) e a americana UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE GRANTED PATENT (US Patent Office). A Figura 5 ilustrada abaixo foi obtido utilizando as palavras chaves combinado com os operadores booleanos da seguinte forma: cranioplasty and PMMA, entre os anos de 2001 e 2010 (SCIENCEDIRECT, 2015).

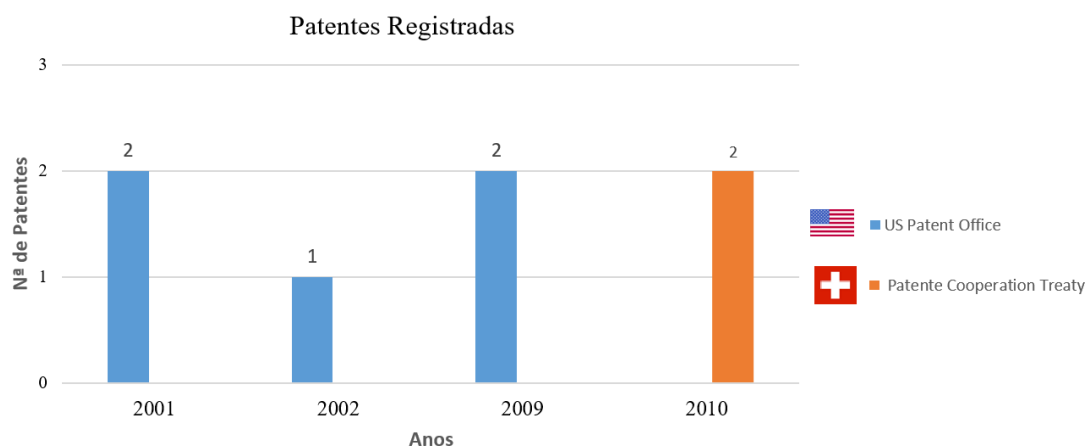


Figura 5 Número de patentes por ano em cranioplastia utilizando a prototipagem rápida e o polimetilmetacrilato

No Brasil, dispomos de hospital e empresas que realizam a cranioplastia com biomateriais, utilizando como técnica a Prototipagem Rápida (PR), dentre elas podemos ilustrar a sua distribuição na Figura 6.

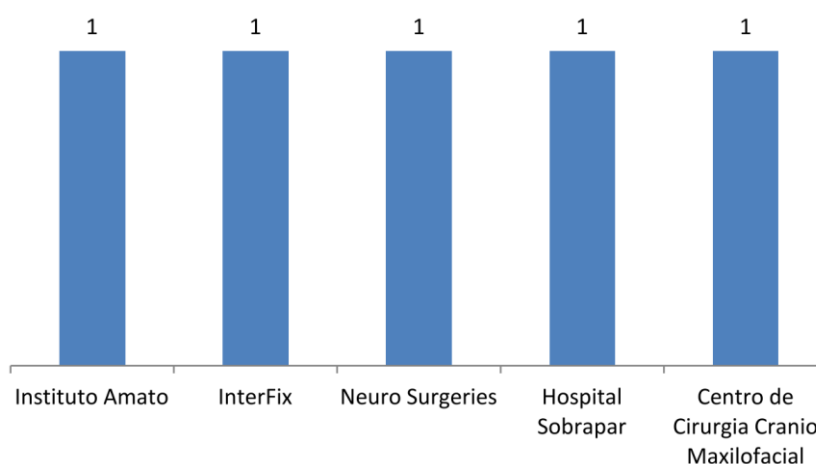


Figura 6 Quantidade de Empresas e Hospitais no Brasil que realizam cranioplastia utilizando a técnica de Prototipagem

De acordo com as pesquisas realizadas, três empresas são brasileiras e os dois hospitais estão localizados na cidade de Campinas – SP. Ainda são poucos os institutos e empresas que dispõem da tecnologia de prototipagem rápida, pois torna-se necessário grande investimento. O importante desta pesquisa foi demonstrar o desenvolvimento da cranioplastia utilizando biomateriais compatíveis com o ser humano, dispondo assim, da técnica de prototipagem rápida, beneficiando o paciente e reduzindo custos com a utilização de um material mais barato, o polimetilmetacrilato (PMMA).

6. CONCLUSÃO

O comportamento das próteses no organismo do paciente varia de acordo com o estado do mesmo (saúde, idade, etc.) e dependendo do material, podem ser apresentados diferentes índices de osteointegração. Outros fatores são a dimensão da prótese, o tempo da cirurgia, a técnica utilizada, que dependendo do caso, pode proporcionar melhores para as condições do implante. Assim, têm-se como melhor resultado, fato do substituto permanente no organismo, proporcionar boas condições de osteointegração. Contudo, se o objetivo é que a prótese propicie regeneração dos tecidos, deve-se levar em conta mais fatores, como o tipo de material, sua porosidade, a técnica de fixação e o seu espaçamento em relação ao osso e, por fim, mais detalhes devem ser investigados.

A técnica estudada e apresentada, tal como a prototipagem rápida com o PMMA - demonstrou ser uma alternativa nos implantes em cranioplastia. A vantagem da técnica é devido aos bons índices de osteointegridade e padrões de biocompatibilidade. O método é seguro, fornece bons resultados estéticos, e podem ser aplicados em processos precoces e tardios de cranioplastia.

Conforme a revisão bibliográfica, verifica-se que os implantes em cranioplastia devem atender aos requisitos estéticos, proporcionar uma proteção mecânica e térmica, oferecer em alguns casos funções mecânicas de articulação (por exemplo, em restauração buço-maxilofacial). Entretanto, outros biomateriais podem ser utilizados para sustentar o implante (enquanto o mesmo está sendo posicionado), por meio de uma pequena película. Outros biomateriais também podem destinar-se, sobretudo à fixação do implante.

O tema é de interesse nacional e internacional e a partir disso, verificou-se uma evolução nas pesquisas relacionadas à cranioplastia - artigos e autores. Outro destaque, são as produções de patentes internacionais para o uso da tecnologia. No Brasil, a cranioplastia com a técnica de prototipagem rápida tem sido aplicadas em institutos especializados, tais como: Instituto Amaro; Interfix; Neuro Surgeries; Hospital Sobrapar; Centro de cirurgia crânio maxilofacial.

7. AGRADECIMENTOS

Aos autores acima citados, a Universidade do Estado do Amazonas e a Universidade Estadual de Campinas que contribuíram para a realização deste artigo.

8. REFERÊNCIAS

- Andrade, A.F., Figueiredo, E.G. e Brock, R.S., 2004. “Orientação aos familiares e pacientes que sofreram traumatismo craniano, cerebral. sociedade brasileira de neurocirurgia”. URL <http://www.sbn.com.br/programas/pensebem.htm>.
- Ashley, S., 1994. “Prototyping with advanced tools”. Mech Eng., pp. 48–55.
- Barré, S., 2003. “Imagens dicom”. URL <http://www.barre.nom.fr/medical/dicom2/>.
- Bazan, 2004. Usinagem de Próteses para Cranioplastia a partir de imagens tomográficas. Master’s thesis, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Paraná.
- Boschi, A.O., 1996. “O que é necessário para que um material possa ser considerado um biomaterial? - seminário regional de biomateriais”. Santa Catarina. Anais. Santa Catarina UDESC, Vol. 1, pp. 4 – 16.
- Calixto, R.F.E., 2001. “Implante de um floculado de resina derivada do óleo de mamona (ricinus communis) em alvéolo de rato imediatamente após a extração dental. avaliações histológica e histométrica da biocompatibilidade e da cronologia de reparo ósseo”. Universidade de São Paulo - Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto.
- Chiarini, L., Figurelli, S., Pollastri, G., Torcia, E., Ferrari, F., Albanese, M. e Nocini, P., 2004. “Cranioplasty using acrylic material: a new technical procedure”. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, Vol. 32, pp. 5–9.
- Eppley, B.L., 1999. “Alloplastic implantation”. Plast Reconstr Surg, Vol. 6, p. 104.
- Eppley, B.L., 2003. “Operative techniques in plastic and reconstructive surgery”. Alloplastic Cranioplasty, Vol. 16, pp. 16–22.
- Eppley, B.L., 2005. “Biomechanical testing of alloplastic pmma cranioplasty materials”. The Journal of Craniofacial Surgery, Indiana, Vol. 9, pp. 140–143.
- Eufinger, H. e Saylor, B., 2001. “Computer - assisted prefabrication of individual craniofacial implants”. Aorn Jornal, Cap. 5, Vol. 74, pp. 113–123.
- Fernandes, A.Y., 2003. “Prototipagem como forma alternativa para realização de cranioplastia com metilmetacrilato.” Arq Neuropsiquiatr 2004 - Bauru, 18 Dezembro 2003, Vol. 4.
- Gil, A.C., 2008. “Como elaborar projetos de pesquisa”. 4 Edição. ed, S.l : São Paulo, Vol. 4.
- Giraudet, G., 1978. Iniciação à Aparentação dos Deficientes Físicos. São Paulo: Organização Andrei Editora.

- Golz, T. e Graham, C.B.L.e.W.J.e.W.R., 2010. "Temperature elevation during simulated polymethylmethacrylate (pmma) cranioplasty in a cadaver model". Journal of Clinical Neuroscience, Vol. 17, pp. 617–622.
- HENCH, L.L. e ETHRIDGE, E.C., 1982. "Biomaterials, an interfacial approach". New York: Academic Press, Vol. 4, p. 385.
- HIEU, L. C.and Zlatov, N., Sloten, J.V., Bohez, E., Khanh, L., Binh, P., Oris, P. e Y., T., 2005. "Medical rapid prototyping applications and methods". Emerald Group Publishing Limited, Vol. 25, pp. 284–292.
- KAWACHI, E.Y., BERTRAN, C., Dos Reis, R. e ALVES, O., 2000. "Biocerâmicas: Tendências e perspectivas de uma área interdisciplinar". Química Nova, 23 ed., Vol. 4, pp. 518–522.
- KOHN, D. H. e DUCHEYNE, P., 1992. "Materials for bone and joint replacement". Mater Sci Technology - A Comprehensive Treatment, Vol. 14, pp. 29 – 109.
- Lara, W.C., 1998. "Technical considerations in the use of polymethylmethacrylate in cranioplasty". UKPMC is changing to Europe PubMed Central, Vol. 1, pp. 43–53.
- Lee, S.C., Wu, C.T., Lee, S.T. e Chen, P.J., 2009. "Cranioplasty using polymethyl methacrylate prostheses". JOURNAL OF CLINICAL NEUROSCIENCE, Vol. 16, pp. 56–63.
- Malmonge, S.M., Zavaglia, C.A.C. e Santos Jr, A.R. and. Wada, M., 1999. "Avaliação da citotoxicidade de hidrogéis de polihema: um estudo in vitro". Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, Vol. 15, pp. 49–54.
- Marbacher, S., Andereggen, L., Erhardt, S., Fathi, A., Fandino, J., Raabe, A. e Beck, J., 2012. "Intraoperative templatemolded bone flap reconstruction for patient-specific cranioplasty." Neurosurgical Review, Vol. 35, pp. 527–535.
- Neuro, 2008. "Surgeries". URL <http://www.nos-brasil.com.br>.
- PEDERSEN, J.G., 1987. "Reaction of bone to pmma and metal ions: an in vitro human and animal study". Acta Orthopaedica Scandinavica, Vol. 58, pp. 718–719.
- Rotaru, H., 2012. "Cranioplasty with custom-made implants: Analyzing the cases of 10 patients". CRANIOMAXILLOFACIAL DEFORMITIES/COSMETIC SURGERY, Vol. 70, pp. 169–176.
- Santos, L.A., 2002. Desenvolvimento de Cimento de Fosfato de Cálcio reforçado por Fibras para Uso na Área Médico-Odontológica. Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Mecânica - Comissão de Pós-Graduação em engenharia mecânica.
- SCIENCEDIRECT, 2015. "Sciverse elsevier/scirus". URL <http://www.hub.sciverse.com/action/home>.
- Tsouknidas, A., Maropoulos, S., Savvakis, S. e Michailidis, N., 2011. "Fem assisted evaluation of pmma and ticalv as materials for cranioplasty resulting mechanical behaviour and the neurocranial protection". Bio-Medical Materials and Engineering, Vol. 21, pp. 139–147.
- VOLPATO, N., R., S.T. e Menezes, R.M., 2005. "Um aplicativo para planejamento de processo de prototipagem rápida". In IX Seminário de Iniciação Científica e Tecnologia.

9. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho".

MATERIALS AND TECHNIQUES FOR RECONSTRUCTION IN CRANIOPLASTY USING POLYMETHYLMETHACRYLATE (PMMA)

Edgar Phelipe de Matos Santos, edgarphelipe@hotmail.com.br¹

César Henrique Cordova Quiroz, cesar@fem.unicamp.br¹

Alan Ferreira Pinheiro Tavares, alan@fem.unicamp.br¹

Antonio Celso Fonseca Arruda, celso@fem.unicamp.br¹

¹Universidade Estadual de Campinas, Rua Mendeleev, 200, Campinas – São Paulo

Abstract. The reconstruction of the skull bone may be obtained by different techniques such as prototyping cranioplasty, bone graft polyester and polypropylene mesh. There are several sources of cranial defects, including trauma, tumors, congenital deformities or postoperative defects due to the surgical procedure itself. The general purpose of the cranial reconstruction is the one hand appropriate sealing and, on the other hand, the aesthetic result. The cranioplasty should be safe, fast and easy to handle. To resolve these complex and multimodal problems are used different techniques and also various materials for reconstruction. Methyl methacrylate (MMA) is an acrylic resin of self-polymerization can be used to repair cranial defects. It is available in three forms: non-meshed PMMA, PMMA reinforced with mesh and preformed PMMA. In cranioplasty, the size and location of defects provide selection criteria for the use of PMMA. PMMA without mesh is ideal for small defects (5 cm² - 15 cm²). PMMA reinforced with mesh is used to moderate size defects (16 cm² - 49 cm²). The objective of this study is to conduct a literature review on the techniques for reconstruction cranioplasty with the use of polymethylmethacrylate for medical purposes. A set of current work related to the techniques used in cranioplasty were compared, reviewed and analyzed. The results show that efficient techniques are implants size

three-dimensional reconstruction software being used (3D) CT scan and rapid prototyping. It follows that this technique can be useful in the skull bone reconstruction and other areas.

Keywords: *Cranioplasty, Rapid Prototyping, Polimetilmetacrilato and Image Processing.*