

Proposição de um Modelo Matemático de Parâmetros Associados com a Osteogênese em Implantes Dentários

Lidiane Sartini de Oliveira, Laboratório de Projetos Mecânicos Prof. Henner A. Gomide, UFU
lsoliveira@mecanica.ufu.br

Cleudmar Amaral de Araújo, Laboratório de Projetos Mecânicos Prof. Henner A. Gomide, UFU
cleudmar@mecanica.ufu.br

Flávio Domingues das Neves, Faculdade de Odontologia, UFU
neves@triang.com.br

Janethe D. Oliveira Pena, Laboratório de Biologia Molecular, UFU
janelthe@umuarama.ufu.br

Introdução

A implantodontia representa um grande avanço da Odontologia moderna. A busca por um substituto o mais próximo possível do elemento dental perdido, fez com que diferentes sistemas de implantes, utilizando diversos materiais fossem utilizados. Novos sistemas de implantes foram desenvolvidos, baseados no protocolo original de Branemark e colaboradores, com variações na geometria do parafuso, composição química do titânio, topografia e tratamento de superfície (Amarante e Lima, 2001). O processo de osseointegração envolve aspectos biológicos e biomecânicos e ainda não foi completamente esclarecido. O objetivo deste trabalho é a realização dos ensaios de cultura de células para avaliar a intensidade da osteogênese gerada em diferentes superfícies de titânio. O estudo visa o entendimento e avaliação do comportamento biológico do fenômeno, além de proporcionar uma nova forma de abordar o assunto, introduzindo uma formulação matemática do fenômeno. A equação de predição final será utilizada para otimizar os parâmetros de rugosidade e espessura da camada de óxido de titânio através de algoritmos genéticos. Com isso, será possível prever a condição ótima de osteogênese, ou seja, a quantidade máxima prevista de osteogênese para uma dada condição de rugosidade superficial e espessura de camada de óxido de titânio.

Metodologia

Em geral, os experimentos “*in vitro*” são realizados utilizando cultura primária de osteoblastos humanos sobre diferentes superfícies de corpos de prova (discos de titânio). As culturas realizadas sobre a superfície dos corpos de prova visam à análise dos seguintes parâmetros osteogênicos: Medida da adesão celular, Proliferação e viabilidade celulares, Medida da atividade de fosfatase alcalina e Formação de matriz mineralizada, sendo feitas análises no primeiro dia, sétimo dia, décimo quarto dia e vigésimo primeiro dia após o início da cultura de células.

O modelo matemático proposto busca estimar a intensidade da osteogênese gerada em superfícies de titânio com diferentes graus de rugosidade e espessura da camada de óxido de titânio. A formulação foi

definida e validada considerando resultados dos ensaios experimentais “*in vitro*” do trabalho de Carvalho (2005). Inicialmente, foi definido um índice para a quantificação da osteogênese considerando as variáveis medidas no ensaio de cultura de células e na seqüência, utilizando métodos de similitude, foi obtida a equação de estimativa da osteogênese. Para a aplicação dos métodos de similitude é preciso avaliar a sensibilidade de cada variável isoladamente no fenômeno estudado, ou seja, a medida da intensidade da osteogênese. Portanto, o número de experimentos pode ser grande dependendo do número de variáveis analisadas. Neste trabalho as formulações matemáticas foram definidas considerando uma parte dos resultados obtidos do trabalho de Carvalho (2005).

Diferentes condições de rugosidade podem ser obtidas através de diferentes condições de jateamento e ataque ácido aplicados nos implantes dentários. Portanto, dependendo das variáveis de influência do fenômeno, a osteogênese pode se consolidar em diferentes graus.

Considerando os grupos dimensionais das variáveis, a teoria da similitude estabelece critérios que devem ser impostos sobre os modelos e permite estabelecer parâmetros característicos do sistema físico em estudo. Através da equação preditiva, pode-se estimar o comportamento físico do sistema, ou seja, avaliar o grau da osteogênese considerando as variáveis de influência. Para a determinação da função de predição utilizou-se o “Teorema de Buckingham” ou “Teorema dos π -Termos” (Glenn Murphy, 1950). A utilização deste procedimento permitiu a obtenção de uma função matemática expressa em termos de parâmetros dimensionais e uma função correlata expressa em termos de parâmetros adimensionais.

De acordo com a teoria da similitude, combinando as equações componentes em uma função produto e fazendo o teste de validade, a equação de predição final é dada por:

$$F(\pi_2, \pi_3) = \frac{F(\pi_2, \bar{\pi}_3) \cdot F(\bar{\pi}_2, \pi_3)}{F(\bar{\pi}_2, \bar{\pi}_3)} \quad (1)$$

Resultados

Carvalho (2005) utilizou ensaios “*in vitro*” de cultura de células para avaliar a adesão celular, a proliferação e

viabilidade celular, a atividade de fosfatase alcalina e a formação de nódulos de mineralização, considerando 04 diferentes tipos de superfície. O autor avaliou as características da superfície dos corpos de prova através da análise de rugosidade, da topografia e espessura da camada de óxido de titânio.

Inicialmente, a determinação de um valor quantitativo para a osteogênese é feita normalizando as variáveis de influência pelo número total de células plaqueadas, neste caso, foram 20.000 células. Na seqüência, as variáveis são adimensionalizadas. Finalmente, os pesos ou índices de influência das variáveis medidas são considerados para estimar um índice para a osteogênese no grupo específico analisado nos testes “*in vitro*”. A Tabela 1 mostra uma condição hipotética utilizada para validar a formulação matemática considerando as variáveis de influência.

Tabela 1. Condição hipotética para o grupo de titânio grau II (GII) considerando como variáveis de influência, a rugosidade e espessura da camada de óxido.

Grupo	R_u (μm)	Ψ	h (nm)	Ψ
1	0,15	0,9658	1,6	0,7523
2	0,40	1,4440	5,0	1,2344
3	0,44	2,0718	5,5	1,5979
4	1,30	2,8698	6,4	2,3337
5	2,70	2,9856	8,3	2,7004

As Figuras 1 e 2 mostram as equações componentes obtidas de um ajuste de curvas aos dados experimentais utilizando os valores de, $\bar{R}_u = \bar{\pi}_2 = 0,4 \mu\text{m}$ e $\bar{h} = \bar{\pi}_3 = 5,5 \text{ nm}$.

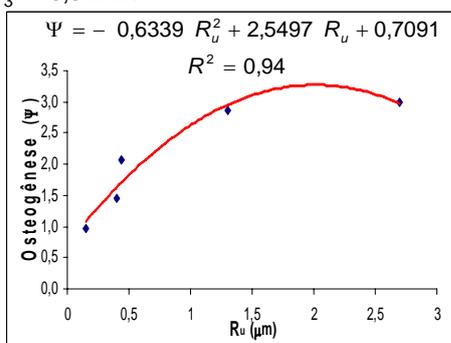


Figura 1. Representação gráfica da Osteogênese (Ψ) versus Rugosidade (R_u)

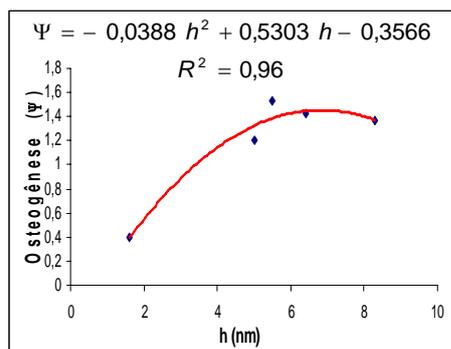


Figura 2. Representação gráfica da Osteogênese (Ψ) versus Espessura da camada de óxido de titânio (h).

Após fazer o teste de validade, observou-se uma boa concordância com um erro relativo máximo de 10%. Portanto, a equação preditiva estimada é válida nos intervalos $0,15 \leq R_u \leq 2,70$ e $1,6 \leq h \leq 8,3$. Finalmente, tem-se que:

$$\Psi = F(R_u, h) = 0,0151(-R_u^2 + 4,0222R_u + 1,1186)(-h^2 + 13,6675h - 9,1907) \quad (3)$$

A Equação (3) é uma função preditiva que representa o nível de osteogênese em função da rugosidade R_u (μm) e da espessura da camada de óxido de titânio h (nm), validada experimentalmente. Após a aplicação do código GAOT na Eq. 3 sujeita ao intervalo de validade da equação, obtém-se os seguintes valores ótimos para a rugosidade e espessura da camada de óxido de titânio: $R_u = 2,0111 \mu\text{m}$ e $h = 6,8337 \text{ nm}$.

Os valores acima maximizam o nível de osteogênese dentro dos intervalos válidos. Ou seja, aplicando um tratamento na superfície do implante de forma que se obtenha uma rugosidade de $2,01 \mu\text{m}$ e uma espessura da camada de óxido de titânio for de $6,83 \text{ nm}$, haveria uma melhora no nível da osteogênese. Esta melhora pode acelerar o processo de fixação do implante com o osso, ou seja, da osseointegração. Evidentemente, este processo depende de outras variáveis, porém, a definição das variáveis ótimas maximiza a proliferação celular.

Considerações Finais

Este trabalho propõe uma nova abordagem para estimar o processo de osteogênese em implantes dentários utilizando uma formulação matemática obtida por métodos de similitude e validada por ensaios de cultura de células “*in vitro*”. Utilizando a equação proposta aplicou-se técnicas de otimização utilizando algoritmos genéticos para maximizar os níveis de osteogênese.

A rugosidade superficial e a espessura da camada de óxido de titânio possuem uma grande influência no fenômeno da osseointegração. Verificou-se que o valor ótimo de rugosidade foi de $2,01 \mu\text{m}$ com uma espessura da camada de óxido de titânio for de $6,83 \text{ nm}$.

Encontra-se em andamento um estudo “*in vitro*” completo avaliando outras variáveis de influência em implantes dentários visando comprovar e validar a abordagem matemática para o fenômeno da osteogênese proposta neste trabalho.

Referências bibliográficas

- Amarante, E. S.; Lima, L. A. “Optimização das superfícies dos implantes: plasma de titânio e jateamento com areia condicionado por ácido-estado atual”. Pesquisa Odontológica Brasileira, Vol. 15, pp. 166-173, 2001.
- Carvalho, D. R. “Caracterização e avaliação da biocompatibilidade *in vitro* de titânio grau II e IV com e sem ataque ácido”. Tese de Doutorado - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, 2005.
- Glenn Murphy, C. E. PhD. “Similitude em Engineering”. The Ronald Press Company, New York, 1950.