



Superfície de implantes dentários tratados com dióxido de titânio e melhorias na osseointegração

Surface of titanium dioxide treated dental implants and improvements in osseointegration

Bruno dos Santos Pavei¹
Antonio Aparecido Celória²

RESUMO

Objetivo: Analisar os estudos que utilizaram o dióxido de titânio na fase anatase em implantes dentários, com foco nas propriedades de molhabilidade e fotocatalise e suas melhorias na osseointegração. **Método:** A estratégia de busca utilizou combinações de palavras-chave: titaniumdioxide and dental implant and osseointegration and anatase and hydrophilicity, nas bases de dados Pubmed, Medline, Cochrane, Scielo, Scopus e Lilacs. **Resultados:** Os melhores resultados foram confirmados por 14 estudos e estão diretamente relacionados ao dióxido de titânio na fase anatase pelo método de anodização eletroquímica, ao ataque ácido e irradiado por luz violeta (UV) e à fotocatalise que promove molhabilidade. **Considerações Finais:** Pôde-se confirmar melhorias e benefícios por tratamento de superfície em implantes dentários com utilização de dióxido de titânio. Analisou-se ângulo de contato, rugosidade e formação óssea (BIC ou BMC) para verificar os fatores para aceleração e melhorias de osseointegração.

Descritores: Implantes dentários. Dióxido de titânio. Osseointegração.

ABSTRACT

Objective: To analyze the studies that used titanium dioxide in the anatase phase in dental implants, focusing on the properties of wettand photocatalysis and its improvements in osseointegration. **Method:** The search strategy used combinations of keywords: titaniumdioxide and dental implant and osseointegration and anatase and hydrophilicity, in the Pubmed, Medline, Cochrane, Scielo, Scopus and Lilacs databases. **Results:** The best results were confirmed by 14 studies and are directly related to titanium dioxide in the anatase phase by the electrochemical anodization method, acid attack and irradiated by violet light (UV) and photocatalysis that promotes wettability. **Final Considerations:** Improvements and benefits were confirmed by surface treatment in dental implants using titanium dioxide. Contact angle, roughness and bone formation (BIC or BMC) were analyzed to verify the factors for acceleration and improvements in osseointegration.

Descriptors: Dental implants. Titanium dioxide. Osseointegration.

¹ Graduado em Odontologia – ULBRA, Esp. em Periodontia - SL MandiC, Mestrado em Implantodontia – SL Mandic.

² Esp. em Ortodontia e Ortopedia Facial - APCD - Presidente Prudente, Me. em Ortodontia e Ortopedia Facial – SL Mandic, Esp. em Harmonização Orofacial – CFO.

Como citar este artigo:

Pavei BS, Celória AA. Superfície de implantes dentários tratados com dióxido de titânio e melhorias na osseointegração. Full Dent. Sci. 2022; 13(51):66-77
DOI: 10.24077/2022;135103126

INTRODUÇÃO

Para melhorar a aceleração na osseointegração, a fim de evitar falhas nos implantes e próteses dentárias, a busca por materiais e técnicas associadas aos implantes dentários tem se tornado cada vez mais presente em pesquisas científicas. Neste sentido, a Odontologia está passando por inovações para fornecer implantes mais confiáveis, melhor estabilidade inicial, longa duração e qualidade de vida aos pacientes¹.

O titânio e suas ligas tem sido largamente utilizado em implantes dentários devido às suas propriedades. A superfície do implante dentário apresenta fundamental importância para o sucesso de aceleração e osseointegração do implante. Para a rugosidade da superfície pode ser utilizado o tratamento de jateamento seguido por ataque ácido e, assim, criando uma alteração de rugosidade por abrasão. Ressalta-se que a superfície rugosa é muito importante para o aumento da formação óssea e o crescimento celular.

Quanto à funcionalidade, durante a análise de formação óssea (BIC), constata-se que a maior diferença e aumento significativo de BIC é encontrado nas 2 primeiras semanas de cicatrização. Portanto, a completa molhabilidade é ativada pela fotocatalise, ou seja, superfície de dióxido de titânio com irradiação por luz UV acelera o processo inicial de osseointegração. O processo de osseointegração ocorre após a inserção de peça de titânio dentro do osso e a migração das células ósseas para a superfície desse metal e, uma fixação estará osseointegrada, se oferecer um suporte estável, sem irregularidades de superfície.

É possível obter-se uma modificação da superfície por meio da fase cristalina anatase. Esta fase do dióxido de titânio é um material que contribui para melhorias de osseointegração para certas aplicações, como por exemplo, atua como um fotocatalisador, que é um semicondutor que proporciona uma forte oxidação na superfície radiada por luz UV. A irradiação por luz UV pode criar um espaço na superfície entre o titânio e átomos de oxigênio, realizando uma união com as moléculas de H₂O para seu redor, formando -OH com domínio sobre as camadas hidrofílicas.

A aceleração da cicatrização e melhoria na formação óssea para osseointegração do implante dentário foi estudado por meio de resultados de ângulo de contato para as amostras tratadas com luz UV, indicando maior molhabilidade do implante dentário, rugosidade, ângulo de contato, e formação óssea, indicando que a irradiação UV contribui para promover a aceleração da cicatrização da osseointegração.

As propriedades como a super-molhabilidade e a fotocatalise estão diretamente relacionadas à utilização de dióxido de titânio na fase anatase e potencializam as melhorias de osseointegração, promovendo melhor ancoragem óssea durante o início do processo de cica-

trização do implante dentário.

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo analisar estudos in vivo em animais que utilizaram o dióxido de titânio na fase anatase em implantes dentários, com foco na formação óssea, ângulo de contato e rugosidade. E esta revisão de literatura respondeu a seguinte pergunta clínica: "A utilização da luz UV sob o dióxido de titânio melhora o processo de osseointegração?"

MÉTODO

Para selecionar os artigos utilizou-se a estratégia de busca, com base nas diretrizes do Prisma Statement Guidelines, adotando-se o idioma inglês, sendo utilizadas palavras-chave, tais como: titaniumdioxide, dental implant, osseointegration, anatase e hydrophilicity, com foco em implantes dentários, fundamentais para a seleção, pois determinaram a direção e a assertividade para atender o objetivo e responder a pergunta clínica. A coleta dos materiais iniciou em maio de 2016 e finalizou em março de 2018.

As bases de dados consultadas foram Pubmed, Medline, Cochrane, Scielo, Scopus e Lilacs, sendo identificados 181 artigos, sendo 156 na Pubmed, 12 na Medline, 4 na Cochrane, 4 na Scielo, 3 na Scopus e 2 na Lilacs, excluindo-se as duplicidades. 172 artigos foram analisados por título e resumo por dois pesquisadores, restando 137. Para elegibilidade foram analisados os artigos que estudaram os dados de formação óssea (BIC ou BMC), ângulo de contato e rugosidade, restando 35 e, destes, 21 foram excluídos com razões objetivas. Assim, apenas 14 estudos in vivo (animais) foram incluídos nesta revisão da literatura.

Como critério de inclusão foram analisadas as informações de títulos e resumos dos artigos que respondessem a pergunta clínica e, de exclusão, foram descartados os estudos que utilizaram o dióxido de titânio em implantes dentários, mas que os resultados foram baseados em análises voltadas para engenharia de materiais e, aqueles que não relacionaram a propriedade de molhabilidade para melhoria da osseointegração ou fase anatase. Descartou-se o risco de viés em função dos estudos selecionados; de publicação; de tempo (acompanhamento semanal dos casos); de múltipla publicação; de localização; de linguagem (idioma); e de desfecho (resultados com melhorias de osseointegração).

RESULTADOS

Dos 14 estudos selecionados que foram realizados em animais, 6 atendem o objetivo e a pergunta clínica deste artigo e 8 são complementares ao tema em questão, pois as pesquisas ocorreram na área de interesse (Tabela 1).

Tabela 1 – Tipo de estudo, tratamento e luz UV.

Autor/Ano	Estudo em animais	Tipo de tratamento	Luz UV
Hirakawa et al. (2013) ²	Cachorro	Implantação método Ion Plasma	Sim
Sawase et al. (2008) ³	Coelho	Implantação método Ion Plasma	Sim
Jimbo et al. (2011) ⁴	Coelho	Anodização + tratamento ácido NH4F-HF2	Sim
Gehrke et al. (2014) ⁵	Coelho	Jateamento+ataque ácido	Não
Lin et al. (2012) ⁶	Coelho	Ti Padrão/Jateamento+ácido/Jateamento+anodização	Não
Hayashi et al. (2014) ⁷	Coelho	Filme-TiO2-pó (80% Anatase e 20% Ruble)	Sim
Yun et al. (2009) ⁸	Coelho	Polimento/Jateamento/Anodização/Jateamento+Anodização	Não
Park et al. (2013) ⁹	Coelho	Anodização	Sim
Lee et al. (2015) ¹⁰	Coelho	Ti Padrão/Jateamento+Ácido/Anodização/Anodização+rhBPM-2 (Proteína)	Não
Guo et al. (2009) ¹¹	Coelho	Laser + anodização	Não
Sollazzo et al. (2007) ¹²	Coelho	Solução e film TiO2 na fase anatase	Não
Gehrke et al. (2016) ¹³	Coelho	Ataque ácido	Não
Sawase et al. (2007) ¹⁴	Coelho	Anodização	Sim
Seo et al. (2014) ¹⁵	Coelho	Anodização+plasma pressão atmosférica/nitrogênio	Não

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Desfechos

Os desfechos analisados foram: Formação Óssea (BIC ou BMC), Ângulo de Contato e Rugosidade, conforme mostram as Tabelas 2 e 3, a seguir.

Tabela 2 – Formação Óssea (BIC ou BMC).

Autor/Ano	BIC ou BMC (%) – Formação óssea						Implante Disco	Tipo
	Amostra controle	Amostra teste	Período	Amostra teste	Amostra controle	Período		
Hirakawa et al. (2013) ²	29.1	43.5	2 sem	31.3	39.3	4 sem	Implante	BIC
Sawase et al. (2008) ³	17.97	28.2	2 sem	NA	NA	NA	Implante	BMC
Jimbo et al. (2011) ⁴	30.1	50.3	2 sem	30.1	47.6	6 sem	Implante	BMC
Gehrke et al. (2014) ⁵	*	34,00%	4 sem	*	29.00%	8 sem	Implante	NA
Lin et al. (2012) ⁶	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Implante	NA
Hayashi et al. (2014) ⁷	NA	NA	NA	37.99	39.35	12 sem	Implante	BIC
Yun et al. (2009) ⁸	54.8	61.00	3 sem	NA	NA	NA	Implante	BIC
Park et al. (2013) ⁹	42.92	55.11	4 sem	55.81	57.78	12 sem	Implante	BIC
Lee et al. (2015) ¹⁰	NA	NA	NA	66.9	3.7/67.2/77.3##	8 sem	Implante	BIC
Guo et al. (2009) ¹¹	24.54	62.75	2 sem	34.67	59.2	4 sem	Implante	NA
Sollazzo et al. (2007) ¹²	31.8	55.5	4 sem	NA	NA	NA	Implante	NA
Gehrke et al. (2016) ¹³	NA	Na	4 sem	65.6	66.6	8 sem	Implante	BIC
Sawase et al. (2007) ¹⁴	NA	NA	NA	47.3	41.3	4 sem	Implante	BMC
Seo et al. (2014) ¹⁵	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Implante	NA

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Tabela 3 – Ângulo de Contato e Rugosidade

Ângulo contato (*)	Ângulo contato (*)	Ângulo contato (*)	Ângulo contato (*)	Rugosidade ((SDµm)		Rugosidade (SDµm)		
Implante	Disco	Implante	Disco	Implante		Disco		
Autor/Ano	Amostra controle	Amostra teste	Amostra controle	Amostra teste	Amostra controle	Amostra teste	Amostra controle	Amostra teste
Hirakawa et al. (2013) ²	54	< 1	64	< 1	0.6	0.6	1.11	1.16
Sawase et al. (2008) ³	NA	NA	45 e 43.5*	0.5**	1.22	1.19	0.5 e 0.83*	0.91**
Jimbo et al. (2011) ⁴	NA	NA	36.6	4.4	1.84	1.52	NA	NA
Gehrke et al. (2014) ⁵	NA	NA	#	27,30%	NA	Na	0.159	0.699
Lin et al. (2012) ⁶	NA	NA	95.6	32.72/45.49###	0.035/1.24####	1.02	NA	NA
Hayashi et al. (2014) ⁷	NA	NA	NA	NA	NA	Na	NA	NA
Yun et al. (2009) ⁸	NA	NA	0.3/33.6/27.6/18.9	NA	NA	Na	NA	NA
Park et al. (2013) ⁹	NA	NA	22.69	77.43	NA	Na	0.83	0.85
Lee et al. (2015) ¹⁰	NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA
Guo et al. (2009) ¹¹	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Sollazzo et al. (2007) ¹²	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Gehrke et al. (2016) ¹³	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Sawase et al. (2007) ¹⁴	NA	NA	77 e 44**	11****	NA	NA	NA	NA
Seo et al. (2014) ¹⁵	NA	NA	46.4	0	NA	Na	NA	NA

Legenda: * Disco de Ti / Disco de Ti sem luz; ** Disco teste tratado com luz; *** Ti padrão e implante TiUnite sem luz; ****Implante TiUnite com luz; # Resultado somente comparação. Amostra teste apresentou um maior % de molhabilidade do que a amostra controle; ## Resultados comparativos para cada tipo de tratamento de superfície = 55,3 - Polimento/33,6 - Jateamento - 27,6-Anodização e 18,9 - Jateamento+anodização; ###Ti Padrão/Jateamento + Ataque ácido / Anodização/Anodização+rhBMP-2; #### Resultado para Jateamento+ácido e Jateamento+ácido+anodização. NA - resultado não informado; BIC – Bone Implant Contact ou integração osso e implante e BMC - Bone mineral contentou conteúdo ósseo mineral. Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

DISCUSSÃO

Dióxido de Titânio na Fase Anatase: Osseointegração

Os resultados de topografia da superfície e ângulo de contato demonstraram que o dióxido de titânio irradiado por luz UV apresentou a característica de super molhabilidade, os quais condizem com os relatos de estudos referentes à osseointegração e aceleração do processo de cicatrização². Neste estudo foi depositado dióxido de titânio pelo método de implantação íons plasma sobre a superfície de discos e implantes dentários. Esse método pode aumentar a camada

superficial com dióxido de titânio e, posteriormente, com iluminação ultravioleta, é ativada a fotocatalise.

A adsorção de proteínas de sangue em implantes dentários tem sido um fator de fundamental importância para osseointegração, sendo que a análise de formação óssea (BIC) pode-se constatar que a maior diferença e aumento significativo de BIC é encontrado nas 2 primeiras semanas de cicatrização (29,1% e 43,5%, respectivamente para amostra controle e

amostra teste), após 4 semanas não existe alteração significativa (31,3% e 39,3%, respectivamente para amostra controle e amostra teste)². Portanto, pode-se concluir que a completa-molhabilidade é ativada pela fotocatalise, ou seja, superfície de dióxido de titânio com irradiação por luz UV acelera o processo inicial de osseointegração, contribuindo para o sucesso do tratamento e maior conforto aos pacientes e qualidade de vida. Na Figura 2 é encontrada a micrografia dos implantes inseridos em mandíbulas de cães para análise de formação óssea, após 2 e 4 semanas de cicatrização.

Foi investigado o comportamento inicial de células e a formação óssea com a propriedade de completa molhabilidade na fase anatase do dióxido de titânio

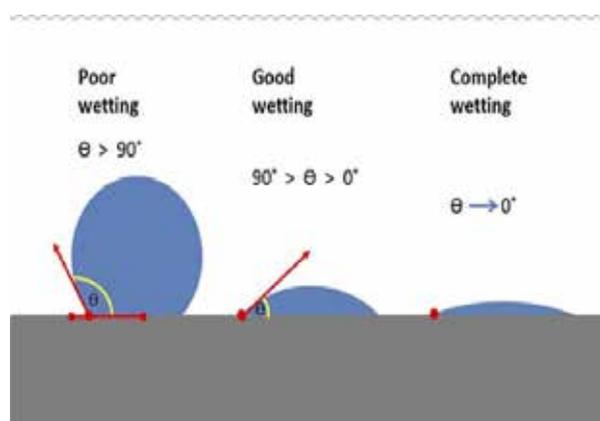


Figura 1 – Imagem representativa de tensão superficial e ângulo de contato¹⁵.

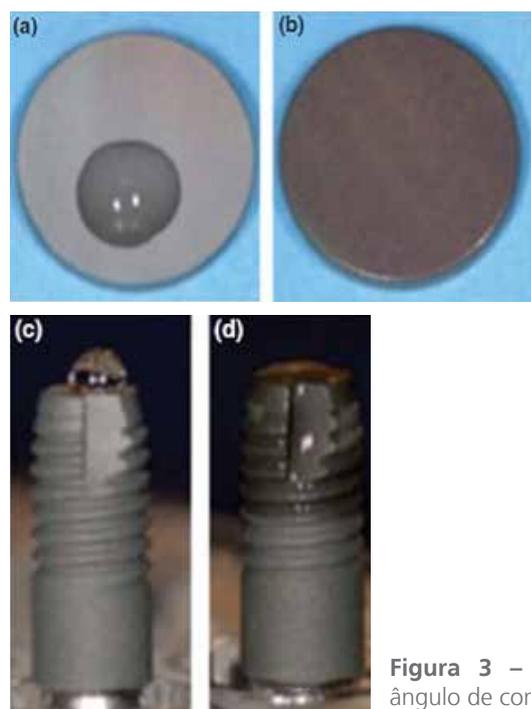


Figura 3 – Testes ângulo de contato⁹.

aplicando-se a fotocatalise. Os resultados de rugosidade tanto nas amostras controle como nos testes não apresentaram resultados com diferenças significativas. Já na verificação do ângulo de contato os resultados das amostras tratadas (testes) apresentaram ângulo de contato de 0,5°, ou seja, apresentam uma completa molhabilidade na superfície. A adesão e proliferação de células, também, foi objeto de estudo no qual os resultados mostraram que o grupo teste que recebeu irradiação por luz UV (D+UV) apresentou um número significativamente maior de adesão do que os discos de controle (DTi) e ainda comparado com os discos tratados com dióxido de titânio (D-UV, esses não receberam luz UV)³. Sendo assim, a fotocatalise por meio da irradiação por luz UV proporciona melhor adesão de células e também maior proliferação. (Figura 4).

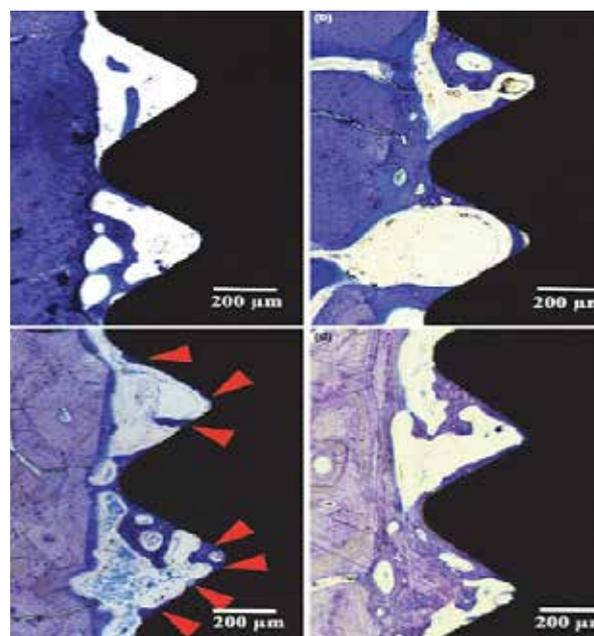


Figura 2 – Análise da micrografia dos implantes dentários inseridos em mandíbula de cães⁹.

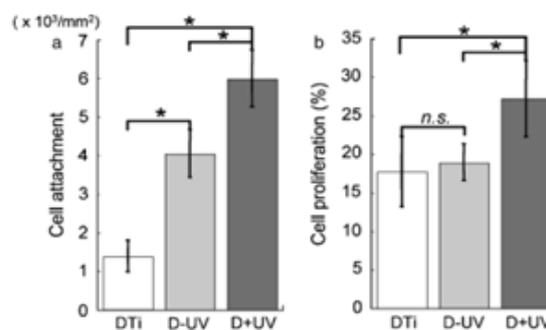


Figura 4 – Análise de adesão e proliferação de células⁵.

Também para a análise da formação óssea foram inseridos implantes em tíbias de coelhos e após 2 semanas analisados os resultados de BMC e nos implantes com tratamentos e irradiado por luz UV (I+UV) o resultado foi de 28,2%, já os implantes tratados com dióxido de titânio, mas sem irradiação por luz UV (I-UV) apresentou valor de BMC de 17,97%, ou seja, o implante tratado com iluminação apresentou valor superior ao implante sem iluminação, na qual se conclui que o dióxido de titânio na fase anatase ativado pela fotocatalise (luz UV) proporciona melhorias significativas para formação óssea promovendo melhor osseointegração. Na Figura 5 verifica-se a micrografia dos implantes após duas semanas, sendo apresentada a resposta de formação óssea para os implantes sem iluminação I-UV (letra "a") e com iluminação I=UV (letra "b"). A letra "c" indica o corte na região óssea e NB as cabeças de setas indicam a nova formação óssea. No entanto a proliferação de células não demonstrou diferenças entre os discos de controle (DTi – disco de titânio comercial na liga pura) e discos tratados com dióxido de titânio, mas sem irradiação por luz UV (D-UV) e os resultados não demonstraram valores diferenciados³. Pode-se concluir que o principal efeito para proliferação celular está relacionada à fotocatalise, pois somente a rugosidade da superfície não proporciona a proliferação celular.

Para a análise de formação óssea o valor médio de BMC em 2 semanas de cicatrização foi de 30,1% para o TiU e 50,3% modTiU, ou seja, implante sem irradiação por luz UV e com irradiação por luz UV, respectivamente. Após 6 semanas também foram realizadas análises e os resultados foram 37,1% e 47,6% para TiU e modTiu, respectivamente⁴. Pôde-se verificar que em ambos os casos os implantes irradiados por luz UV apresentaram valores superiores e significativos para formação óssea, principalmente nas 2 primeiras semanas (Figuras 11 e 12).

Para formação óssea foi realizado um estudo in

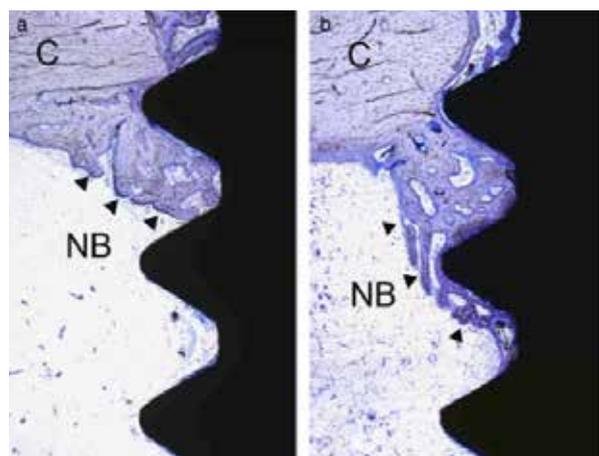


Figura 5 – Análise de micrografia da formação óssea dos implantes I+UV e I-UV⁵.

vivo em 30 dias e em 60 dias para os implantes do grupo controle (CG) e grupo teste (EG)⁽⁵⁾. Nesse estudo a formação óssea não teve um resultado detalhado, pois foi informado somente 0% (zero por cento) de crescimento ósseo entre o grupo controle e testes (SLA). Mesmo assim, o grupo teste apresentou maior formação óssea, ou seja, 34% em 30 dias e 29% em 60 dias (Figuras 14 e 15).

Na análise dos resultados de rugosidade de superfície (Ra) os valores foram 0.159 e 0.699 para os discos padrões e implante SLA, respectivamente. Foi verificado a alteração de superfície por tratamento de jateamento que seguido por ataque ácido proporciona uma superfície mais rugosa. Já com relação ao ângulo de contato o resultado indicou que o grupo de controle apresentou uma redução linear enquanto que o grupo tratado SLA ficou estável⁵. (Figura 13). Neste caso pode-se notar que houve uma melhora na rugosidade, mas não foi alcançada a super-molhabilidade, pois os ângulos de contatos ficaram entre 60° e 90°, aproximadamente.

Um estudo sugeriu que a camada de dióxido de titânio bio ativa, formada por uma superfície tratada SLA, pode apresentar efeitos significativos na adesão celular e proliferação de células⁶.

A grande parte dos estudos para investigação dos efeitos da molhabilidade e fotocatalise ativada pela luz UV foram focados em até 4 semanas ou 6 semanas^{2,3,4}. Foi estudado um período maior para uma análise de resultados em 12 semanas. Para os valores de BIC para o grupo de implantes controle e testes, os resultados foram 37.99% e 39.35%, respectivamente, após 12 semanas. Foram utilizados discos na liga pura de titânio para grupo padrão e para grupo testes a superfície do implante de titânio foi tratada com pó de dióxido de titânio, sendo composto por 80% de fase anatase e 20% de fase rutilo⁷.

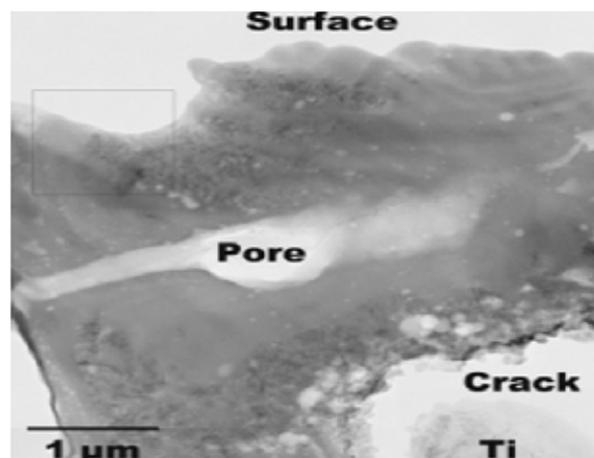


Figura 6 – Análise de micrografia da superfície do implante anodizado TiUnite⁸.

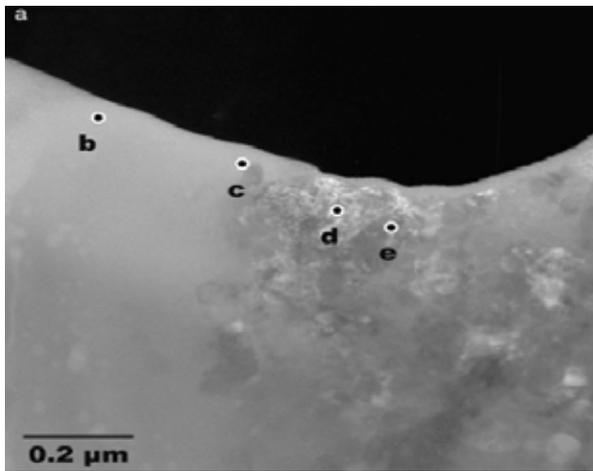


Figura 7 – Depressão e campo escuro da micrografia eletrônico⁸.

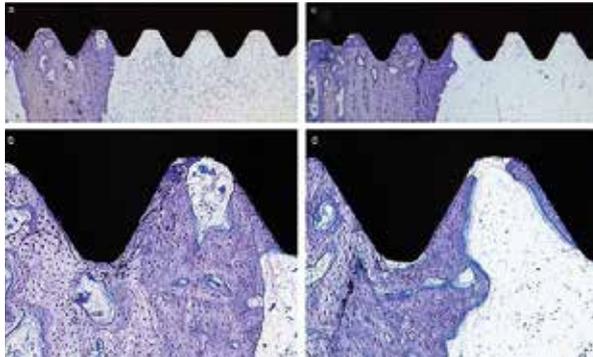


Figura 9 – Formação óssea – micrografia⁸.

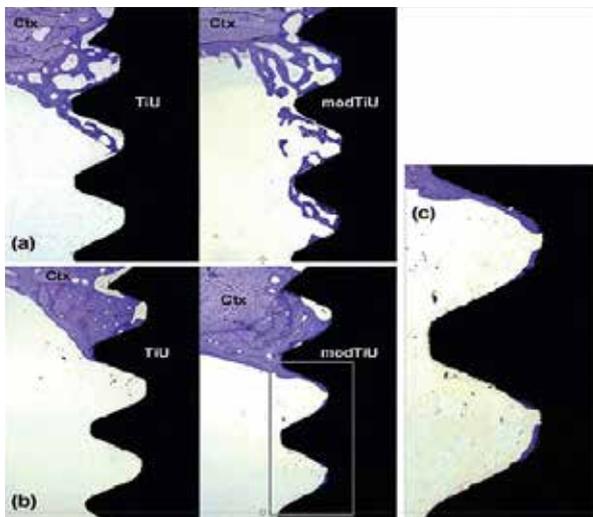


Figura 11 – Micrografia de implantes TiU e modTiU⁴.

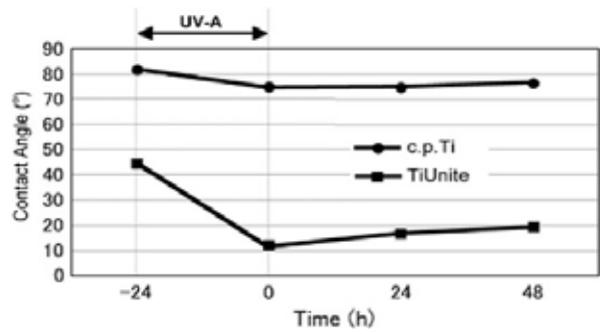


Figura 8 – Análise do ângulo de contato antes e após iluminação⁸.

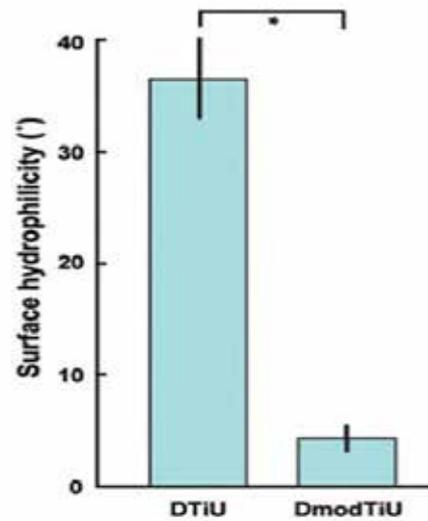


Figura 10 – Ângulo de contato de discos de titânio⁴.

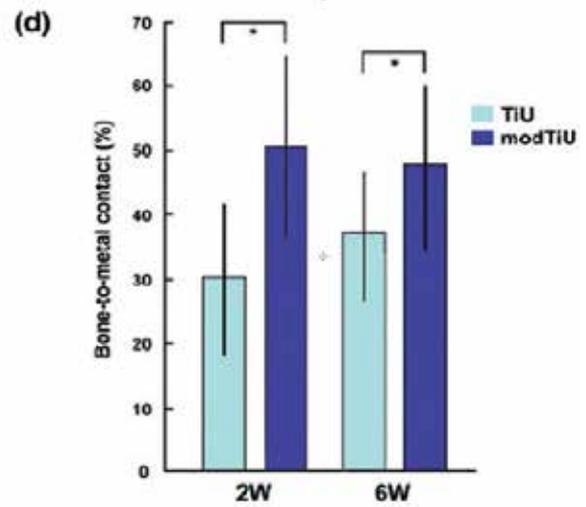


Figura 12 – Contato osso – implante para o TiU e modTiU após 2 e 6 semanas de cicatrização⁴.

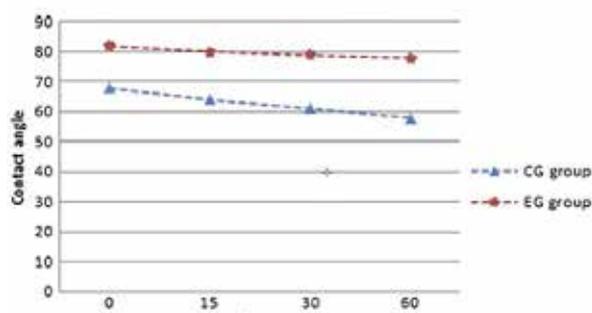


Figura 13 – Comportamento da redução do ângulo 0 (zero) de contato³.

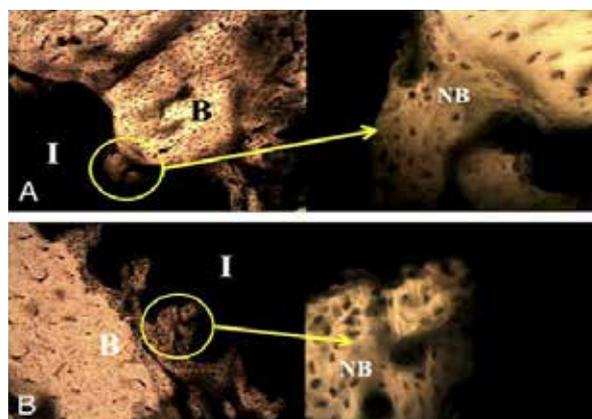


Figura 14 – Imagem histológica de diferente formação óssea, reação celular e organização lamelar³.

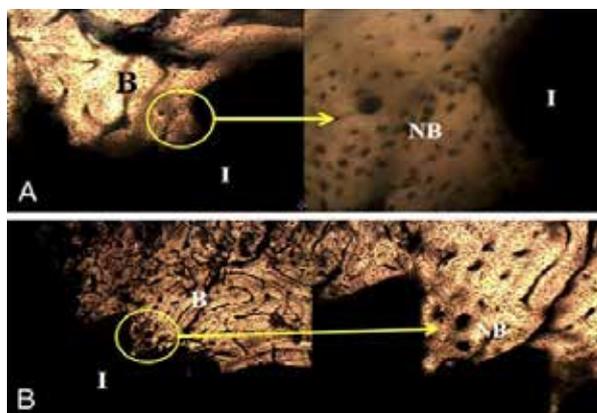


Figura 15 – Imagem histológica de diferente formação óssea, reação celular e organização lamelar³.

Tipo de Tratamentos de Superfície do Implante Dentário

Na oxidação anódica, também chamada de anodização eletroquímica ou simplesmente anodização, ocorre um processo eletroquímico que resulta em uma camada de dióxido de titânio com formação de nano-tubos (poros). Essa fina camada de dióxido de titânio que se forma na superfície do implante dentário reduz a liberação de íons de metais. Os implantes dentários são submersos em uma solução ácida e são aplicadas cargas (voltagem) positiva e negativa que criam um campo elétrico resultando na formação de filme óxido na superfície. O processo de anodização promove melhorias de molhabilidade, aumento da adesão de osteoblastos e, conseqüentemente, resulta em melhor osseointegração. A anodização também é capaz de regular as texturas de superfícies por alteração de diferentes parâmetros de voltagens⁸.

Foram estudados os efeitos da irradiação UV para implantes anodizados em relação à ação bacte-

ricida. Primeiramente foram preparadas as amostras teste e controle pelo processo de anodização. Então as amostras testes foram anodizadas seguidas de irradiação por luz UV por 24 horas. Para os valores de rugosidade não se obteve diferenças significativas nos resultados com e sem irradiação por luz UV (Ra 0.83 e Ra 0.85, respectivamente). Já para o ângulo de contato as amostras com irradiação por luz UV apresentaram maior molhabilidade do que as amostras controle (sem luz UV) e os resultados foram 22.69° e 77.43°, respectivamente⁹ (Figuras 16 e 17).

Foram comparados 4 grupos com tratamentos de superfície: a) superfície polida mecanicamente; b) jateamento com partículas de alumina; c) anodização; e d) jateamento seguido de anodização, sendo realizadas as medições de ângulo de contato. Estes tratamentos incluem rugosidade de superfície por jateamento ou jateamento seguido por ataque ácido que se forma na superfície chamada SLA. O jateamento ocorre pela inclusão de partículas de dióxido de titânio (TiO₂) na superfície do implante dentário, criando uma alteração de rugosidade por abrasão⁸. Esse tratamento pode ser seguido de ataque ácido utilizando uma solução de ácido clorídico/sulfúrico (HCL/H₂SO₄)^{5,10}. Os resultados indicam que as superfícies tratadas pelo processo de anodização por meio da formação de nano-tubos apresentam maior molhabilidade.

O polimento produz uma superfície muito densa e lisa e tratamentos por jateamento (sandblasting), uma superfície relativamente mais rugosa e densa e a anodização desenvolve uma superfície nano-tubular⁸. Nesse estudo foi demonstrado a resposta do titânio por meio de anodização apresentando excelente molhabilidade resultando em aceleração da osseointegração. Na formação óssea os valores de BIC foram 54,8% e 61% para os grupos anodizado e jateamento/anodizado, respectivamente (Figura 20).

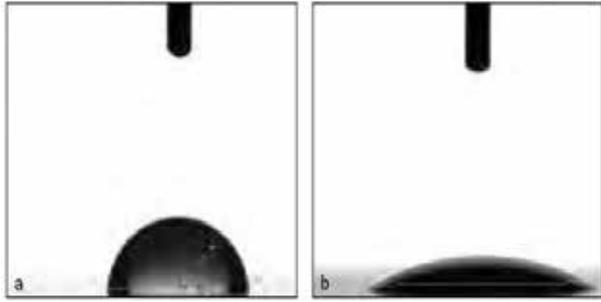


Figura 16 – Ilustração gota de água – ângulo de contato¹².

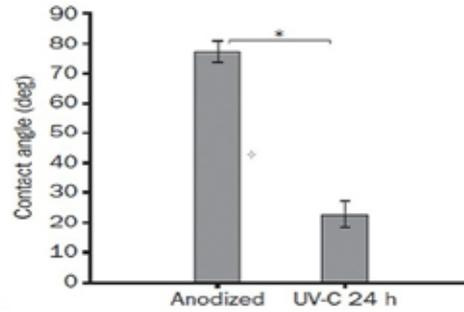


Figura 17 – Gráfico com resultados de ângulo de contato para amostra controle (anodized) e amostra teste (UV-C 24h)¹².

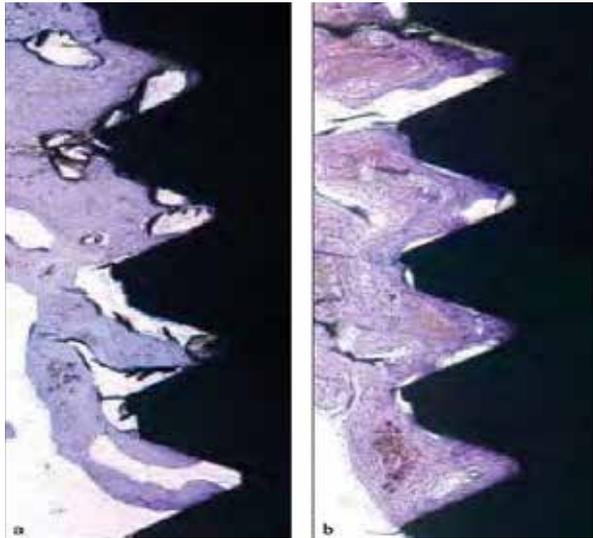


Figura 18 – Imagem formação óssea em 4 semanas¹².

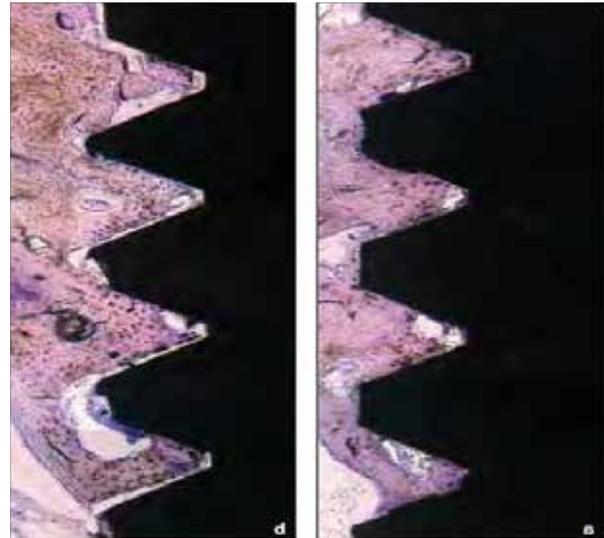


Figura 19 – Imagem formação óssea em 12 semanas¹².

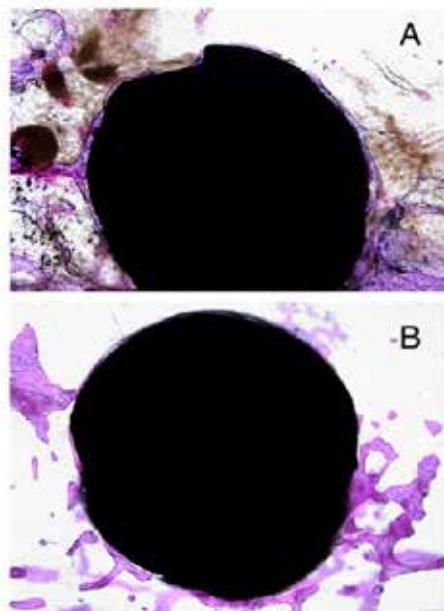


Figura 20 – Formação óssea pelo processo de anodização¹⁴.

Outro estudo focou na análise da resposta de aderência de células osteoblásticas pelo processo de anodização. Foi investigado o comportamento de amostras padrão de titânio, amostras tratadas por jateamento seguido de ataque ácido e amostras anodizadas após o processo de tratamento (SLA)⁶. Nesse estudo os resultados demonstram que para osseointegração o processo de anodização e tratamento por jateamento e ácidos em conjunto têm um alto potencial para a melhoria deste processo, pois indicam superfícies mais rugosas e menores ângulos de contato.

Foi realizada uma pesquisa para investigação da alteração de superfície por laser para modificar a rugosidade de implante dentário. As respostas foram positivas para melhoria de formação óssea em estudos de 2, 4 e 6 semanas de cicatrização. Também foi comparada a formação óssea em implantes de titânio (controle), implantes tratados com laser (alteração de rugosidade) e anodização. Nesse estudo foi confirmada a presença

de fase anatase de dióxido de titânio nos resultados de difração de raios-X e identificado a composição dos materiais em titânio, carbono, oxigênio, cálcio e fósforo. Os implantes de titânio referentes ao grupo controle apresentam superfícies lisas, enquanto os implantes tratados apresentam superfícies rugosas, essas características são muito importantes para o aumento da formação óssea e crescimento celular¹¹.

Com relação à fase anatase do dióxido de titânio para promover osseointegração em implantes, foi realizado um estudo in vivo e puderam constatar que a anatase é a forma mais estável para uso em implantes dentários e que promove a melhoria de osseointegração (resultado de BIC 55,5% de osso novo formado na área de contato do implante). Estudaram o comportamento da fase anatase e melhorias de osseointegração em implantes dentários em estudo in vivo, mostrando que existem três tipos de formas alotrópicas do dióxido de titânio: brookite, rutilo e anatase. A fase cristalina anatase apresenta efeitos biológicos que a torna ideal para utilização em implante dentário^{11,12}. Nesse estudo foi observado o resultado de melhor resposta para osseointegração em implantes dentários tratados com anodização quando comparados com os implantes tradicionais.

Foi realizado um tratamento de superfície por jateamento comparando a alteração de rugosidade de óxido de alumínio (AlO₂, grupo controle) e por partículas de dióxido de titânio (TiO₂, grupo teste) para produzir superfície SLA (jateamento seguido por ataque ácido)¹³. Os estudos comprovaram que as rugosidades alteradas por ambos os óxidos são similares para os efeitos de ancoragem nos implantes dentários. O resultado de BIC é de 65,6% e 66,6% para amostra controle (AlO₂) e teste (TiO₂), respectivamente⁽⁷⁾.

Os estudos referentes à formação de nano-tubos de dióxido de titânio, relacionados à melhoria da osseointegração, foram complementados através de um estudo de proteína morfogênica do osso humano recombinante (rhBMP-2 = recombinanthuman bone morphogeneticprotein – 2), essas células osteoblásticas têm demonstrado melhorias na formação e remodelação óssea. Foram testados 4 grupos de implantes dentários, conforme descrito a seguir: a) implante de titânio comercial; b) implante com superfície SLA; c) implante de dióxido de titânio (nano-tubos pelo processo de anodização); d) implante de dióxido de titânio (nano-tubos pelo processo de anodização) com inclusão de rhBMP-2⁽¹⁰⁾. Nesse estudo, o maior resultado de formação óssea (BIC) encontrado foi de 29,5% para o grupo "d" e para os grupos "c", "b" e "a" os resultados foram 16,3%, 14,7% e 11,1%, respectivamente. O maior valor para BMC foi também para o grupo "d" no valor de 77,3% e os resultados para os grupos "c", "b" e "a" foram 67,2%, 53,7% e 66,9%, respectivamente.

A formação de nano-tubos de dióxido de titânio pelo processo de anodização resulta em maior osseointegração do que os implantes tratados com superfície SLA. A adição de proteína (rhBMP-2) dentro dos nano-tubos de dióxido de titânio apresentou um efeito bioquímico de indução óssea⁸.

Ângulo de Contato / Fotocatálise = Molhabilidade / Formação Óssea

Quando o ângulo de contato é maior ou igual a 90°, indica pouca molhabilidade, se o ângulo for entre 0° (zero grau) e 90° se considera uma média molhabilidade⁵, e quando esse ângulo for igual a 0° (zero grau), resulta em uma completa molhabilidade¹³ (Figura 1). Os resultados de quimiluminescência mostraram que os discos tratados apresentaram significativamente maiores quantidades de adsorção de células e, isso, está diretamente relacionado à superfície com ângulo de contato igual ou menor que 0° (zero grau) e completa molhabilidade, o que proporciona uma rápida osseointegração nos estágios iniciais de cicatrização².

A completa molhabilidade foi comprovada pela medição do ângulo de contato, no qual os implantes tratados e com irradiação por luz UV apresentaram ângulo de contato menor do que 1° (um grau)². A Figura 3 mostra as imagens dos testes referentes ao ângulo de contato nos discos ("a" e "b") e nos implantes ("c" e "d").

Foi estudado o comportamento da superfície cristalina para investigar a atividade fotocatalítica de um implante dentário comercial (TiUnite) criado pelo método de anodização. O estudo realizou uma análise em microscópio da estrutura cristalina do implante em corte de seção do implante dentário (TiUnite) no qual foi identificado a presença da fase anatase e estimada em torno de 10nm¹⁴. Nas Figuras 6 e 7 está ilustrada a análise microscópica do implante TiUnite. Na Figura 6 a parte superior ilustra a superfície do implante e a parte inferior a base do implante dentário. estrutura tem grandes ondulações nesta resolução e uma camada de óxido na espessura de 3-10µm. Uma grande fenda e poros podem ser observados entre a base de titânio e o óxido. Na Figura 7 uma saliência e depressão são evidentes na superfície, ilustradas na parte escura da micrografia. A parte esquerda da micrografia mostra a fase amorfa enquanto a parte direita mostra a fase cristalina. Foram encontrados ainda picos de fósforo que é considerado derivado do processo de anodização a partir do eletrófilo e foi incorporado na camada de óxido e concentrado na fase amorfa.

Para investigar o efeito fotocatalítico foram realizados testes em discos para a medição do ângulo de contato e teste de decomposição pelo azul

de metileno, constatando que os implantes TiUnite com irradiação por luz UV apresentaram poder de decomposição, o que indica a presença da fotocatalise. A decomposição de materiais orgânicos ajuda na eliminação e redução de bactérias¹⁴. Foi realizada a medida do ângulo de contato e o resultado para os implantes TiUnite com iluminação UV reduziram drasticamente o ângulo de contato de 44° para 11° e, essa redução, é relacionada às propriedades fotocatalíticas. Após 4 semanas de cicatrização avaliou-se a formação óssea na qual os implantes TiUnite com luz UV e Ti sem luz UV apresentaram os resultados de 47,3% e 41,3%, respectivamente para BMC (bone mineral content)¹⁴. Na Figura 8 apresentam-se os resultados de ângulo de contato e na Figura 9 ilustra-se a micrografia da formação óssea. Nesse estudo, a redução do ângulo de contato foi 11° e não próximo de 0° (zero grau) e, por esse motivo, especula-se que a fase anatase encontrada no implante comercial TiUnite não seja suficiente para atingir a completa molhabilidade.

Foram utilizados discos e implantes comerciais anodizados chamados DTiU (padrão - sem iluminação) e DmodTiU (teste - com iluminação), o resultado de ângulo de contato foi de 36.6° e 4.4° respectivamente. (Figura 10). Os discos e implantes para grupo teste receberam tratamento de superfície por NH₄F-HF₂ (solução fluoreto de hidróxido de amônio)⁴.

Para os valores de ângulo de contato o grupo controle apresentou valor de 46.4° enquanto que os grupos tratados com nitrogênio em 2 minutos e em 10 minutos apresentaram ângulo de contato igual à zero, ou seja, apresentaram super molhabilidade. Os grupos testados com tratamento de ar em 2 e 10 minutos apresentaram valores de 26.38° e 33.81°, respectivamente¹⁵.

Na análise de formação óssea foram realizadas avaliações de BIC em 4 e 12 semanas, após inserção de implantes em tíbias de coelhos⁹. Nesse estudo, os resultados indicaram maior formação óssea para o grupo teste (com luz UV) nas 4 primeiras semanas comparado com o grupo teste (55,11% e 42,92% para valores de BIC, respectivamente) e, em 12 semanas, não houve alteração significativa (55,81% e 57,78%, amostra padrão e amostra teste, respectivamente) (Figuras 18 e 19).

Um estudo empregou a proposta bactericida com emissão de radiação UC-C (com máxima intensidade de luz de 253.7nm). Entre os componentes químicos de anodização do titânio, o carbono foi notoriamente reduzido após a irradiação ultravioleta o que sugeriu a redução de contaminação da superfície do implante dentário. Os resultados de ângulo de contato para as amostras irradiadas por luz UV indicam maior molhabilidade do implante dentário⁹.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na análise dos estudos selecionados que realizaram pesquisas em animais, pode-se responder a pergunta clínica ao confirmar que:

- a formação de nano-tubos do dióxido de titânio na fase anatase é o principal diferencial para obter baixo ângulo de contato e adquirir uma super-molhabilidade, ou seja, ou seja, quanto mais próximo de 0° (zero grau) o ângulo de contato atinge melhores resultados de aceleração no estágio inicial de formação óssea;
- a fotocatalise é uma propriedade que contribui para os resultados que utilizaram a luz UV;
- os resultados de ângulo de contato e formação óssea indicam que a irradiação por luz UV contribui na aceleração da cicatrização e da osseointegração;
- os métodos de jateamento e ácido atuam na alteração de rugosidade da superfície dos implantes, mas os resultados são inferiores quando comparados com anodização;
- o método anodização e ácido, apresenta valores superiores para nova formação óssea no estágio inicial da cicatrização e sugere o melhor tipo de tratamento;
- os implantes dentários que receberam tratamento de superfície resultaram em melhorias na osseointegração no estágio inicial de cicatrização;
- o método anodização e ácido apresenta valores superiores para nova formação óssea no início da cicatrização, sugerindo o melhor tipo de tratamento;
- os melhores resultados estão diretamente relacionados ao dióxido de titânio na fase anatase pelo método de anodização eletroquímica seguido de ataque ácido e irradiado por luz UV.
- a formação de nano-tubos de dióxido de titânio em amostras de implantes dentários pelo processo de anodização contribui para o aumento de resposta celular e promove aceleração e maior mineralização na neoformação óssea do estágio inicial de cicatrização;
- os implantes dentários que receberam tratamento de superfície resultaram em melhorias, contribuindo para uma melhor osseointegração no estágio inicial de cicatrização em 2, 4, 6 e 8 semanas.

Entretanto, a utilização de dióxido de titânio em implantes dentários ainda é um assunto que necessita de continuidade nas pesquisas, pois se observou o potencial da sua aplicação na biomedicina. É preciso novos estudos para viabilizar melhorias e inovações das técnicas.

REFERÊNCIAS

1. Ribeiro AR, Gemini-Piperni S, Travassos R, Lemgruber L, Silva RC, A. Rossi L. Trojan-like internalization of anatase titanium dioxide nanoparticles by human osteoblast cells. *Scientific Report*. 2016; mar 1-11.
2. Hirakawa Y, Jimbo R, Shibata Y, Watanabe I, Wennerberg A, Sawase T. Accelerated bone formation on photo-induced hydrophilic titanium implants: an experimental study in the dog mandible. *Clinical Oral Implant Research*. 2013; 24 Suppl. A100:139-44.
3. Sawase T, Jimbo R, Baba K, Shibata Y, Ikeda T, Mitsuru Atsuda M. Photo-induced hydrophilicity enhances initial cell behavior and early bone apposition. *Clinical Oral Implant Research*. 2008; (19):491-96.
4. Jimbo R, Ono D, Hirakawa Y, Odatsu T, Tanaka T, Sawase T. Accelerated photo-induced hydrophilicity promotes osseointegration: an animal study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2011; 13(1):79-85.
5. Gehrke SA, Zizzari VL, Iaculli F, Mortellaro C, Tetè S, Piatelli A. Relationship between the surface energy and the histologic results of different titanium surfaces. *The Journal of Craniofacial Surgery*. 2014; may 25(3):863-67.
6. Lin, YH, Peng PW, Ou KL. The effect of titanium with electrochemical anodization on the response of the adherent osteoblast-like cell. *Implant Dentistry*. 2012; 21(4): 344-49.
7. Hayashi M, Jimbo R, Xue Y, Mustafa K, Andersson M, Wennerberg A. Photocatalytically induced hydrophilicity influences bone remodelling at longer healing periods: a rabbit study. *Clinical Oral Implant Research*. 2014; (25):749-754.
8. Yun KD, Yang Y, Lim, H-P, Oh GJ, Koh J-T, Bae I-H et al. Effect of nanotubular-micro-roughened titanium surface on cell response in vitro and osseointegration in vivo. *Materials science and engineering*. Elsevier. 2009; aug (C30):27-33.
9. Park KH, Koak JY, Kim SK, Han CH, Heo SJ. The effect of ultraviolet-C irradiation via a bactericidal ultraviolet sterilizer on an anodized titanium implant: a study in rabbits. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2013; 28(1):57-66.
10. Lee JK, Choi DS, Jang I, Choi WY. Improved osseointegration of dental titanium implants by TiO₂ nanotube arrays with recombinant human bone morphogenetic protein-2: a pilot in vivo study. *International Journal of Nanomedicine*. 2015; (10):1145-54.
11. Guo Z, Zhou L, Rong M, Zhu A, Geng H. Bone response to a pure titanium implant surface modified by laser etching and microarc oxidation. *The international Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2009; 24(6):130-36.
12. Sollazzo V, Pezzetti F, Scarano A, Piattelli A, Massari L, Brunelli G, et al. Anatase coating improves implant osseointegration in vivo. *The Journal of Craniofacial Surgery*. 2007; jul (18):806-10.
13. Gehrke SA, Ramirez-Fernandez MP, Marin JMG, Salles MB, Fabbro MD, Guirado. A comparative evaluation between aluminium and titanium dioxide microparticles for blasting the surface titanium dental implants: an experimental study in rabbits. *Clinical Oral Implants Research*. 2016; (0):1-6.
14. Sawase T, Jimbo R, Wennerberg A, Suketa N, Tanaka Y, Atsuta M. A novel characteristic of porous titanium oxide implants. *Clinical Oral Implant Research*. 2007; (18):680-85.
15. Seo HY, Kwon JS, Choi YR, Kim KM, Choi EH, Kim KN. Cellular attachment and differentiation on titania nanotubes exposed to air - or nitrogen-based non-thermal atmospheric pressure plasma. *Plos One*. 2014; nov. 1-14.