

COMPORTAMENTO BIOLÓGICO DE FIOS DE AÇO INOXIDÁVEL 316L, COM E SEM DEFORMAÇÃO, APÓS IMPLANTAÇÃO NO TECIDO MUSCULAR DE RATO*

Roberto Henrique BARBEIRO**

Oslei Paes de ALMEIDA***

Antonio Carlos GUASTALDI****

Mario Francisco Real GABRIELLI**

Alberto Cury NASSOUR*****

Luis MARINO*****

- **RESUMO:** As deformações mecânicas a frio, tal como a torção do fio de aço inoxidável 316L, necessárias para a realização da osteossíntese, podem favorecer, no meio biológico, a instalação de processo corrosivo do metal, comprometendo a reparação óssea das fraturas fixadas por meio de fios de aço. Após implantação de fios de aço inoxidável 316L, livres de deformação (reto) e torcidos, no tecido muscular de rato, os achados histológicos revelaram cápsula fibrosa bem organizada sobre o fio reto, comprovando sua biocompatibilidade. O fio torcido mostrou nos períodos iniciais atraso na formação da cápsula fibrosa.
- **PALAVRAS-CHAVE:** Fios ortopédicos; corrosão; materiais biocompatíveis.

Introdução

Os biomateriais vêm sendo amplamente utilizados em Medicina e Odontologia, e desde o início do século vários trabalhos têm demonstrado interesse no desenvolvimento de materiais mais biocompatíveis.¹² Na traumatologia bucomaxilofacial e nas cirurgias ortognáticas, o fio de aço inoxidável 316L tem grande utilização, tanto na fixação intermaxilar como na redução de fraturas, sendo comprovadamente biocompatível.¹⁶ Durante sua utilização, os fios de aço são submetidos a deformações a frio,

* Resumo de Dissertação de Mestrado - parte I.

** Departamento de Diagnóstico e Cirurgia - Faculdade de Odontologia - UNESP - 14801-903 - Araraquara - SP.

*** Departamento de Patologia Oral - Faculdade de Odontologia - UNICAMP - 13414-900 - Piracicaba - SP.

**** Departamento de Físico-Química - Instituto de Química - UNESP - 14800-230 - Araraquara - SP.

***** Departamento de Materiais - Faculdade de Engenharia - USP - 13560-250 - São Carlos - SP.

tais como torção e flexão. Essas deformações a frio e as ranhuras provocadas pelos instrumentos cirúrgicos introduzem alterações permanentes na estrutura interna do metal e podem comprometer a integridade da camada apassivadora.⁷ Essas alterações facilitam a instalação de processo corrosivo do metal no meio biológico^{3,4,5,8,17} e podem retardar a consolidação óssea, provocar reações inflamatórias, reações alérgicas ou mesmo abscesso.^{14,15} Essas reações adversas podem comprometer o tratamento e indicam a necessidade da remoção dos fios após a consolidação óssea, o que caracteriza uma desvantagem da utilização de implantes metálicos.¹

Neste trabalho foi analisada histologicamente a reação do tecido muscular de rato após implantação do fio de aço inoxidável 316L livre de deformação (reto) e torcido.

Material e método

O fio de aço inoxidável 316L n.1 foi obtido no comércio especializado (Cirumédica S/A).^{*} Foi cortado com auxílio de instrumentos cirúrgicos, em pedaços de 1 cm e 6 cm de comprimento. Os de 6 cm foram dobrados ao meio e torcidos com auxílio de pinças de fio, com 50 torções, simulando a osteossíntese. A parte torcida do fio foi cortada em fragmentos de 1 cm de comprimento. Os fragmentos de fio livre de deformação (reto) e torcido foram implantados em tecido muscular de ratos durante os períodos de 3, 7, 14, 21, 35, 60, 90 e 120 dias.

Implantação no tecido muscular de rato

Foram utilizados 40 ratos (*Rattus Norvegicus*, Albinus, Wistar) machos, pesando de 200 a 230 g, provenientes do Biotério Central da UNICAMP, alimentados com ração Labina (Purina) e água *ad libitum*. Os animais foram divididos em oito grupos de 5 ratos. Após anestesia com éter etílico e tricotomia, os ratos receberam a implantação de um fragmento de fio livre de deformação (reto) no músculo reto femoral¹⁰ da coxa traseira esquerda, e um fragmento torcido no lado direito. Para implantação, o músculo foi fixado por pressão digital, e o fio, com 1 cm de comprimento, inserido totalmente na massa muscular com auxílio de uma pinça de fio, sem incisão da pele. Os animais foram sacrificados depois de 3, 7, 14, 21, 35, 60, 90 e 120 dias. O fio foi localizado e cuidadosamente removido, após o que o tecido muscular foi fixado em formol a 10% por 24 horas, incluído em parafina, cortado transversalmente com 6 µm de espessura e corado com hematoxilina e eosina (H/E), picrossírius e tricrômico de Mallory. As observações e documentação foram realizadas no fotomicroscópio Zeiss.

* Cirumédica S/A, Artigos Médico-Hospitalares, Av. Miguel Frias e Vasconcelos, 811 - Jaguaré - SP.

Resultado

A descrição microscópica foi feita usando-se principalmente os cortes corados com H/E. O material corado com picrosírius e tricrômico de Mallory foi usado para complementar as observações.

3 dias

Em todos os casos, o fio deixou espaço circular de cerca de 0,5 mm, mostrando algumas distorções devidas à remoção do fio e/ou processamento do material. A colocação do fio causou intenso infiltrado inflamatório mononuclear e pequenas áreas hemorrágicas junto do tecido conjuntivo do perimísio. O tecido muscular adjacente ao implante mostrou áreas de necrose. O perimísio exibia extensa rede de fibrina associada à proliferação de fibroblastos, sendo a reação tecidual, nesse período, semelhante para fio reto e torcido.

7 dias

A superfície do tecido em contato com o fio era formada por delgada membrana hialina, e subjacente a esta havia fibrilas de colágeno e células mononucleares. Mais externamente, particularmente no perimísio, havia intensa proliferação fibroblástica, angiogênese, além de áreas hemorrágicas com deposição de hemossiderina. Alguns eosinófilos foram observados nas regiões periféricas.

14 dias

Nesse período, com o fio reto, as fibras de colágeno próximas ao fio estavam mais organizadas e dispostas de modo a envolver o implante, formando uma cápsula. Macrófagos contendo hemossiderina estavam presentes, assim como alguns eosinófilos. Deve-se destacar que na região do perimísio a resposta inflamatória e a proliferação fibroblástica eram mais pronunciadas que nas proximidades das células musculares (Figura 1).

A superfície do tecido próximo ao fio torcido era irregular, formando pequenas projeções em forma de papila. Nessas regiões o infiltrado inflamatório era mais intenso e a quantidade de fibras menor (Figura 2).

21 dias

Esse período exibiu cápsula fibrosa bem definida, com fibras colágenas jovens acompanhando o contorno do fio reto, vários fibroblastos, alguns macrófagos, pigmentação de hemossiderina e alguns eosinófilos. A cápsula apresentava-se em continuidade com o tecido muscular (Figura 3).

A coloração pelo tricrômio de Mallory confirma a organização das fibras e a disposição dos fibroblastos acompanhando o implante. As fibras em contato direto com o implante apresentaram-se mais maduras em relação às mais distantes.

A reação do fio torcido exibiu cápsula não uniforme ao redor do implante, apresentando projeções papilares na região de torção do fio, com atraso na organização das fibras nessas projeções. Grande número de fibroblastos, macrófagos e eosinófilos também estavam presentes (Figura 4).

Pelo tricrômico de Mallory, a cápsula apresentou fibras delgadas, e nas projeções papilares observaram-se fibroblastos em meio a pequena quantidade de fibras colágenas.

35 dias

A cápsula fibrosa estava bem organizada, com fibroblastos seguindo a orientação das fibras de acordo com o contorno do implante. Alguns macrófagos e eosinófilos estavam dispersos pela cápsula. Notou-se a hialinização do perímio, que se apresentava pouco celularizado e sem exsudato.

A análise pelo tricrômico de Mallory revelou cápsula com fibras maduras e regularmente dispostas ao redor do implante.

A partir dos 35 dias não foi mais possível observar a área do implante do fio torcido, provavelmente devido à destruição da região quando da remoção do fio, que trazia aderida grande quantidade de tecido fibroso (Figura 5).

60 dias

A cápsula fibrosa apresentava-se delgada, com poucos fibroblastos, ausência de reação celular e em continuidade com o tecido muscular. No perímio o tecido conjuntivo estava organizado.

Na análise pelo tricrômico de Mallory, a cápsula exibia fibras colágenas bem orientadas envolvendo o implante e poucos fibroblastos distribuídos ordenadamente pela cápsula.

90 dias

A delgada cápsula fibrosa apresentava contorno bem definido. A presença de células inflamatórias era muito pequena, com a cápsula em continuidade com o tecido muscular. O tecido conjuntivo do perímio apresentava vasos sanguíneos calibrosos, vários fibroblastos e deposição de fibras colágenas jovens.

O tricrômico de Mallory evidenciou a presença de fibroblastos e a deposição de fibras colágenas jovens no perímio, além da cápsula fibrosa delgada e bem definida rodeando todo o implante.

120 dias

Nesse período, a cápsula fibrosa era delgada, bem definida e organizada, apresentando-se em continuidade com o tecido muscular adjacente (Figura 6).

Discussão

O fio de aço inoxidável 316L é um material freqüentemente utilizado em traumatologia bucomaxilofacial e nas cirurgias ortognáticas, devido à sua qualidade, seu baixo custo e à técnica simples para sua utilização.

Embora usualmente se considere que os fios de aço inoxidável 316L utilizados para osteossíntese não necessitem ser removidos, permanecendo envolvidos por tecido conjuntivo fibroso, é indicada a remoção do fio numa certa porcentagem dos casos que apresenta reação inflamatória crônica e/ou infecção, com sintomatologia. Esse tipo de reação pode ser devido a diversos fatores, tais como qualidade do fio, movimentação do fio por fratura mal-reduzida, posicionamento superficial do fio ou corrosão do material utilizado. A corrosão do metal, no meio biológico, pode ser responsável por manifestações clínicas tais como dor, formação de abscesso ou osteomielite.⁴ Assim, de acordo com Bos et al.,¹ a maior desvantagem da utilização dos dispositivos metálicos para implantação é a necessidade de sua remoção após a consolidação óssea.

É possível que tais ocorrências sejam mais freqüentes do que se supõe.⁴ Normalmente são limitadas, não envolvem todas as osteossínteses utilizadas no paciente e são resolvidas com a remoção do fio. Talvez por isso, normalmente não são publicadas estatísticas nesse sentido, nem são estudados os fios após sua remoção.

A torção realizada nos fios de aço durante a osteossíntese provoca sulcos e ranhuras na sua superfície, podendo comprometer a integridade da camada apassivadora,¹³ e o metal pode sofrer corrosão localizada,⁶ liberando íons nos tecidos vivos e provocando reações inflamatórias que podem comprometer o tratamento, pelo

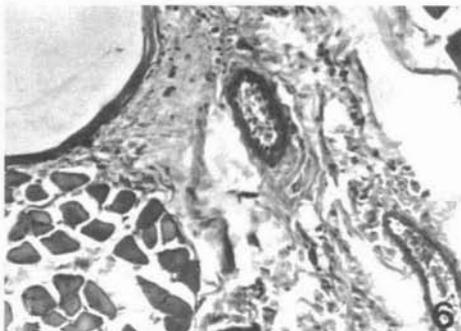
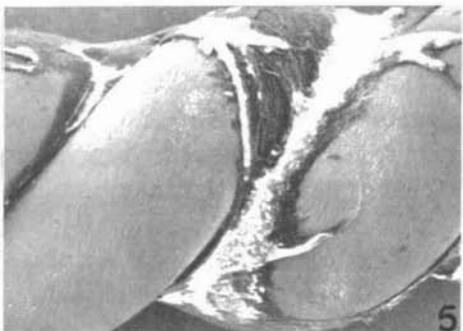
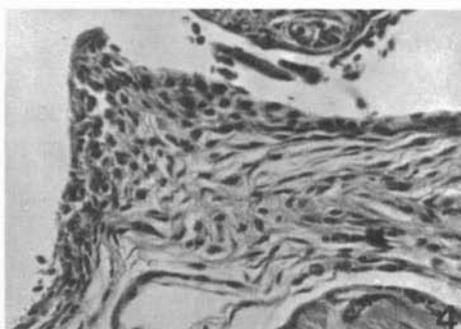
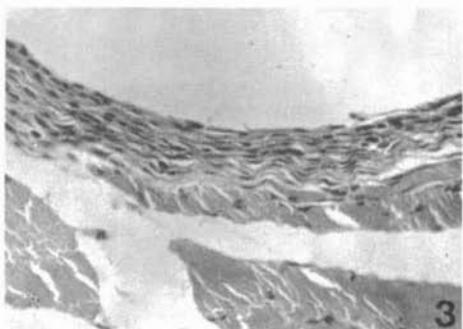
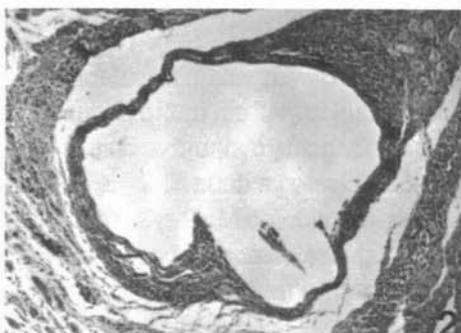
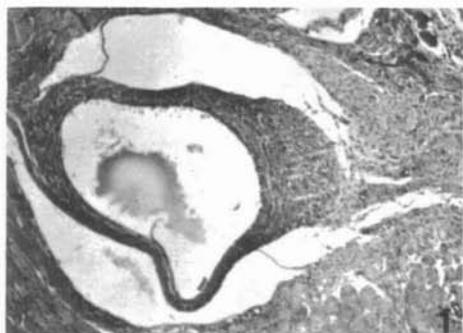


FIGURA 1 - Cápsula fibrosa em evolução, 14 dias após implantação do fio reto, rodeando a porção central ocupada pelo fio e com proliferação fibroblástica no perimísio. HE. 150X.

FIGURA 2 - Cápsula fibrosa em evolução, 14 dias após implantação do fio torcido, rodeando a porção central ocupada pelo fio, com pouca organização das fibras e atraso na formação de fibras na projeção papilar de cápsula. HE. 150X.

FIGURA 3 - Cápsula fibrosa bem organizada, 21 dias após implantação do fio reto, exibindo fibroblastos e deposição de fibras colágenas jovens bem orientadas. HE. 300X

FIGURA 4 - Projeção papilar da cápsula fibrosa, 21 dias após implantação do fio torcido, exibindo atraso na deposição de fibras colágenas e vários fibroblastos. HE. 500X.

FIGURA 5 - Superfície de fio torcido, em microscopia eletrônica de varredura. 35 dias após implantação no tecido muscular de rato. A cápsula fibrosa está aderida no fio. MEV. 75X.

FIGURA 6 - Detalhe da cápsula fibrosa, 120 dias após implantação do fio reto, revelando cápsula delgada e reorganização do perimísio. HE. 300X.

menos até que o material seja removido ou totalmente encapsulado por tecido fibroso.⁹ De fato, as alterações introduzidas pela torção do fio não só podem favorecer a instalação de processo corrosivo^{4,17} como também dificultar a resposta tecidual, como mostram os resultados deste trabalho nos períodos de 7, 14 e 21 dias de implantação do fio torcido (Figuras 2 e 4), quando comparados ao resultado obtido com o fio livre de deformação (Figuras 1 e 3). Quando um metal entra em contato com o tecido vivo, o grau de agressão ao tecido depende da intensidade e do tipo de reação entre o metal e o fluido tissular.¹¹ Do ponto de vista biológico, a permanência do fio de aço, a longo prazo, está intimamente relacionada com sua resistência à corrosão.²

O aço inoxidável 316L é reconhecidamente biocompatível,¹⁶ e no presente estudo a formação de cápsula fibrosa ao redor do fio iniciou-se após 7 dias de implantação, havendo reação inflamatória inicial devida ao traumatismo cirúrgico. Após 21 dias a cápsula fibrosa sobre o fio reto estava bem determinada e iniciava sua organização (Figura 3), enquanto para o fio torcido havia áreas com fibras desorganizadas, principalmente nas projeções papilares da cápsula, próximo às dobras do fio torcido (Figura 4).

Desde o período de 7 dias de implantação, a cápsula formada ao redor do fio torcido era irregular e mostrava pouca organização das fibras colágenas, enquanto a cápsula no fio reto era uniforme e bem organizada. As projeções papilares nas dobras do fio torcido apresentavam, nos períodos de 7, 14 e 21 dias, células inflamatórias, atraso na deposição e organização das fibras colágenas (Figuras 2 e 4). Esses resultados podem explicar algumas complicações clínicas citadas anteriormente^{14,15} ou indicar a necessidade de remoção do fio após a consolidação óssea da fratura.¹ Porém, a partir de 21 dias de implantação, devido à aderência da cápsula ao fio torcido (Figura 5), não foram obtidos cortes histológicos que permitissem a análise da reação tecidual.

A organização da cápsula fibrosa ao redor do fio reto completou-se aos 35 dias, apesar de o implante ter sido realizado em área de mobilidade. Aos 120 dias a cápsula fibrosa era delgada, bem organizada e sem reação celular (Figura 6), revelando que mesmo após longo período de implantação se apresentava sem alteração, confirmando a biocompatibilidade do material.

Conclusões

Nas condições experimentais do presente estudo, e com os resultados obtidos, concluímos que:

1. o fio de aço inoxidável 316L livre de deformação (reto) foi bem tolerado pelo tecido muscular, estando totalmente encapsulado após 35 dias de implantação;

2. o fio de aço inoxidável 316L torcido apresentou atraso na formação da cápsula fibrosa até 21 dias após implantação; além desse período ficou prejudicada qualquer conclusão definitiva.

BARBEIRO, R. H. et al. Biological behavior of 316L stainless steel wires, with and without mechanical deformation, after implantation in rat muscle. *Rev. Odontol. UNESP, São Paulo*, v. 23, n. 1, p. 51-59, 1994.

- **ABSTRACT:** *Mechanical deformation, as torsion of stainless steel 316L wire, necessary for osteosynthesis, may favor in the biological environment the corrosion of the alloy, interfering in bone repair of fractures fixed with wires. After implantation in rat muscle of straight stainless steel 316L wires (not submitted to mechanical deformation) and wire deformed by torsion, the results showed a well organized capsule formed over the straight wire, showing its biocompatibility. The mechanically deformed wire presented an initial delay in the fibrous capsule organization.*
- **KEYWORDS:** *Bone wires; corrosion; biocompatible materials.*

Referências bibliográficas

1. BOS, R. R. M. et al. Bio absorbable plates and screws for internal fixation of mandibular fractures. *J. Oral Maxillofac. Surg.*, v. 18, p. 365-9, 1989.
2. BUCHANAN, R. A., RIGNEY JUNIOR., E. D., WILLIAMS, J. M. Wear-accelerated corrosion of Ti-6Al-4V and nitrogen-ion-implanted Ti-6Al-4V; mechanisms and influence of fixed-stress magnitude. *J. Biomed. Mater. Res.*, v. 21, p. 367-77, 1987.
3. BUNDY, K. J., VOGELBAUN, M. A., DESAI, V. H. The influence of static stress on the corrosion behavior of 316L stainless steel in Ringer's solution. *J. Biomed. Mater. Res.*, v. 20, p. 493-505, 1986.
4. BYRNE, J. E., LOVASKO, J. H., LASKIN, D. M. Corrosion of metal fracture fixation appliances. *J. Oral Surg.*, v. 31, p. 639-45, 1973.
5. CAHOON, J. R., PAXTON, H. W. A metallurgical survey of current orthopedic implants. *J. Biomed. Mater. Res.*, v. 4, p. 223-44, 1970.
6. CIGADA, A. et al. Duplex stainless steels for osteosynthesis devices. *J. Biomed. Mater. Res.*, v. 23, p. 1087-95, 1989.
7. COLANGELO, V. J., GREENE, N. D. Corrosion and fracture of type 316 SMO orthopedic implants. *J. Biomed. Mater. Res.*, v. 3, p. 247-65, 1969.
8. CRIMMINS, D. S. The selection and use of materials for surgical implants. *J. Metals*, p. 38-42, jan., 1969.
9. GABRIELLI, M. F. R. et al. Reação do tecido subcutâneo do rato ao implante de uma liga binária do sistema cobre-alumínio. Avaliação dos níveis séricos de cobre. *Rev. Paul. Odontol.*, v. 9, n. 1, p. 49-62, 1987.

10. GREENE, E. C. Gross anatomy. In: FARRIS, E. J., GRIFFITH JR., J. Q. (Eds.) *The rat in laboratory investigation*, 2. ed. New York: Hafner, 1949. p. 49.
11. KAWAHARA, H. Cellular responses to implant materials: biological, physical and chemical factors. *Int. Dent. J.*, v. 33, p. 350-75, 1983.
12. LAING, P. G. Problems in the use of metals as surgical implants. *J. Dent. Res.*, v. 45, p. 1660-1, 1966.
13. LEMONS, J. E. Dental implant interfaces as influenced by biomaterial and biomechanical properties. In: SYMPOSIUM ON THE DENTAL IMPLANT-TISSUE INTERFACE, 1983, Chicago. Littleton, Mass.: PSG Publ. Co., 1985. p. 143-57.
14. SCHRIVER, W. R. et al. Allergic response to stainless steel wire. *J. Oral Surg.*, v. 42, p. 578-81, 1976.
15. STEINER, M., von FRAUNHOFER, J. A., MASCARO, J. The possible role of corrosion in inhibiting the healing of a mandibular fracture: report of case. *J. Oral Surg.*, v. 39, p. 140-3, 1981.
16. SYRETT, B. C., DAVIS, E. E. *In vivo* evaluation of a high-strength, high-ductility stainless steel for use in surgical implants. *J. Biomed. Mater. Res.*, v. 13, p. 543-56, 1979.
17. VAN ORDEN, A. C. Corrosive response of the interface tissue to 316L stainless steel, Titanium-based alloys, and Cobalt-based alloys. In: SYMPOSIUM ON THE DENTAL IMPLANT-TISSUE INTERFACE, 1983, Chicago. Littleton, Mass.: PSG Publ. Co., 1985. p. 1-24.

Recebido em 18.3.1993.