

Degradation of lingual orthodontics archwires

The effect of corrosion and nickel release on their properties

Carlos Suárez Martínez

Directors

Dr. María Teresa Vilar Martínez (UB)
Dr. Francesc Xavier Gil Mur (UPC)

Department of Odontostomatology
PhD Program: Clinical Techniques in Odontostomatology (2003-2005)

Faculty of Dentistry, University of Barcelona
4th of December 2007

- Paréceme, Sancho, que no hay refrán que no sea verdadero, porque todos son sentencias sacadas de la mesma experiencia, madre de las ciencias todas, especialmente aquel que dice: “donde una puerta se cierra, otra se abre”.

Capítulo XXI. El Ingenioso Hidalgo Don Quijote de la Mancha. Miguel de Cervantes.

Agradecimientos

Volviendo la cara atrás al tiempo transcurrido desde el inicio de los estudios universitarios, veo que va a ser difícil dar las gracias a todas las personas que han estado a mi lado y que han influido con sus consejos y su apoyo a que esta tesis doctoral haya podido ser redactada y defendida.

Empiezo recordando al **Dr. Carlos Vicente**, a quien debo la decisión de haber estudiado Odontología. Sus consejos y ayuda han tenido gran repercusión en mi forma de trabajar. Su conocimiento y práctica de la ortodoncia influyeron en la decisión de dedicar mi tesis a esta parcela de la odontología. Me siento en deuda por ello. También soy consciente de no haber podido corresponder tanto como a mí me hubiera gustado y él hubiera merecido en muchas ocasiones.

Recuerdo con especial agradecimiento la ayuda e interés de la **Dra. Silvia Geron**, profesora de ortodoncia lingual en la Universidad de Tel-Aviv y presidenta de la Sociedad de Ortodoncia de Israel. La asistencia al curso de ortodoncia lingual impartido por ella en París en septiembre de 2005 tuvo un papel muy importante en la selección del tema de la tesis doctoral. Gracias por todos los consejos y las dudas que me has resuelto desde Tel-Aviv y por tu opinión sobre varios puntos relacionados con la tesis doctoral.

Es fácil recordar y agradecer la labor docente de todos los profesores de la Facultad de Odontología, la de todos sin excepción alguna. Siempre tendré un grato recuerdo del **Dr. Leonardo Berini**, Decano de la Facultad y Profesor Titular de Anestesia y Patología Quirúrgica Bucal. Agradezco su sincera ayuda durante la formación de pregrado, tanto en las aulas como fuera de ellas, cuando las diferentes tareas en la Junta y Consejo de estudiantes fueron punto de encuentro. Gracias por su tiempo e interés al atender las explicaciones sobre el proyecto de la tesis doctoral y por seguir su evolución. Su interés en el desarrollo de la tesis hizo posible la asistencia al primer congreso de la Sociedad Mundial de Ortodoncia Lingual (WSLO) en New York, en marzo de 2006, para realizar la presentación de un póster. Allí tuve la fortuna de volver a estar con la **Dra. Silvia Geron** y el **Dr. Rafi Romano** y también de conocer a los grandes maestros de la técnica lingual, entre ellos al **Dr. Didier Fillion**. La confianza depositada en el proyecto por parte de la Facultad cristalizó en dos ayudas de investigación. La primera posibilitó la asistencia al congreso y la segunda contribuyó a sufragar los gastos de la fase experimental de la tesis.

El capítulo más importante de la tesis doctoral quedará inédito: la ayuda incondicional de mis directores de tesis. La **Dra. Teresa Vilar** y el **Dr. Javier Gil** han sido los principales pilares de este trabajo de investigación. Su ayuda ha sido realmente generosa en todos los aspectos. Han sido muchas las tardes que hemos pasado revisando los objetivos, la fase experimental, los resultados y la redacción de la tesis. Y todo ello ha sido ganando horas a momentos de la jornada laboral

realmente apretados, momentos que quizá ya estaban reservados para un merecido descanso después del trabajo y que me han regalado generosamente: lo aprecio de veras. Me parece que todo lo realizado hubiera sido imposible sin su ayuda e interés. Gracias además por el buen humor, la simpatía y por la confianza. Gracias por ser tan buenos maestros y amigos.

Gran parte de la fase experimental de la tesis se realizó en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). La acogida por parte de los responsables del laboratorio de biomateriales durante este tiempo ha sido excelente. Ello se debe especialmente a **Pablo Sevilla**. Él me enseñó a utilizar los equipos del laboratorio y a poder funcionar con cierta autonomía, aunque siempre al final he necesitado su ayuda, para ajustar los instrumentos, analizar los resultados y realizar las pruebas cuya complejidad superaba mi capacidad. Estoy muy agradecido por la prontitud y accesibilidad en atenderme, sé que alguna vez me hecho pesado. Estoy en deuda también con el **Dr. José María Manero**, a quien debo la obtención de imágenes de microscopía electrónica. Gracias por la paciencia y por aguantar con buena cara la conocida frase de ‘esta será la última que necesito, de verdad’

En la fase experimental de la tesis también he de agradecer el trabajo de **Fernando Villar**. Su ayuda en las pruebas de imagen y sus consejos para la interpretación no tienen precio. Acogió con paciencia mis peticiones: sé que eran difíciles y que además se excedió en lo que podía y debía hacer. Tu buen humor siempre llegaba en los mejores momentos. También en mi memoria aparece el **Dr. Ezequiel Cabaleiro**. Gracias a su generosidad pude redactar gran parte de la tesis con el ordenador que me prestó cuando lo necesitaba. También ha sido una suerte estar acompañado por él con frecuencia a lo largo de la redacción de la tesis. Ha sido en esos momentos en los que he aprendido grandes lecciones sobre las cosas verdaderamente importantes de la vida. Gracias también por la serenidad.

Sería difícil olvidar el interés de **Vicente Contreras** y sus ánimos para que acabara de redactar la tesis, debería ser coautor de ella. Gracias por recordarme que aún he de aprender muchas cosas, entre ellas, saber utilizar bien el reloj. Muy difícilmente olvidaré la ayuda del **Dr. Jaime Armengou**: desde los viajes en “motillo” por la noche para cambiar las muestras en el laboratorio hasta los consejos de “hermano mayor” pasando por los largos ratos que hemos pasado hablando de todo: pienso que hemos llegado a agotar los temas.

He superado los atascos de maquetación gracias a **Chus Rodríguez**: siempre es necesario tener un genio de los ordenadores cerca. Gracias por tu gran paciencia y por resolver mis dudas de niño con una sonrisa.

Agradezco al **Dr. Pablo Echarri** el hecho de que haya plasmado sus conocimientos sobre Ortodoncia Lingual, y los de tantos otros, en su libro de texto de Ortodoncia Lingual. En mi opinión es el mejor manual sobre el tema, espero que siga actualizándolo y que con el tiempo se convierta en un clásico de consulta habitual. Le agradezco también la invitación que me hizo a asistir a las clases de Ortodoncia Lingual impartidas en el Máster de Ortodoncia de la Facultat d'Odontologia de la Universitat de Barcelona.

Agradezco al **Sr. Francisco Bori** la aportación de los materiales necesarios por parte de Ormco® para la realización de la tesis y a **Mr. Nir Danai** de OrthoCAD® su aportación de muestras que facilitó en su día la realización del trabajo de investigación del DEA que fue la puerta que abrió esta tesis doctoral.

Antes de finalizar es inevitable que piense en aquellos que familiarmente son más cercanos. Sé que no os importará que no redacte vuestros nombres, la lista es interminable. Sé que os debo mucho, prácticamente todo. Puedo repasar rápidamente muchos lugares que distan miles de kilómetros entre sí y personas de todo tipo. Gracias a todos.

Una mención especial la debo a **mis padres**: gracias por haberme dado la vida, y por haberme enseñado a vivirla con sentido y en tres dimensiones. Las cosas más útiles e importantes me las habéis enseñado vosotros. Gracias por haberme dado también a los hermanos maravillosos que tengo: **David** y **Marta**. Gracias **David** por escucharme cuando hay dificultades, por tu apoyo, ayuda e interés, especialmente en los momentos más difíciles. Gracias **Marta** por tu ayuda material en la presentación de la tesis. Gracias por los buenos ratos que pasamos hablando de nuestra profesión, por tu cariño de hermana y por darme la oportunidad de “discutir” de vez en cuando: ¡realmente eres todo un “genio”! Gracias también a **Esther**, por ser ahora como una nueva hermana para mí.

Carlos Suárez Martínez
Pedralbes, una mañana de agosto de 2007

Index

1. Introduction	13
1.1 Lingual orthodontics: a brief history of the beginning	13
1.2 Evolution of the technique	14
1.3 Justification of the thesis	18
1.4 General introduction to corrosion	20
1.5 Corrosion of orthodontic appliances in the oral cavity	22
1.6 Health concerns linked to corrosion: ionic release and host interactions	24
2. Materials and methods	29
2.1 Materials	29
2.1.1 The working electrode	29
2.1.1.1 Stainless steel (SS)	30
2.1.1.1.1 Introduction and history	30
2.1.1.1.2 SS properties	32
2.1.1.1.3 Types of SS	34
2.1.1.1.3.1 Martensitic ss	35
2.1.1.1.3.2 Ferritic ss	37
2.1.1.1.3.3 Austenitic ss	37
2.1.1.1.3.4 Duplex ss	38
2.1.1.1.3.5 Precipitation hardening ss	38
2.1.1.1.4 SS in orthodontics	40
2.1.1.1.5 SS wires of this study	41
2.1.1.1.5.1 Respond®	42
2.1.1.1.5.2 D-Rect®	42
2.1.1.1.5.3 SS 0.016x0.022	42
2.1.1.1.5.4 SS 0.016	43

2.1.1.2 Nickel Titanium (NiTi) and Copper-Nickel-Titanium (CuNiTi)	43
2.1.1.2.1 Introduction and history	43
2.1.1.2.2 NiTi and CuNiTi properties	45
2.1.1.2.2.1 Temperature effect	46
2.1.1.2.2.2 Force effect	51
2.1.1.2.3 NiTi and CuNiTi in orthodontics	55
2.1.1.2.4 NiTi and CuNiTi wires of this study	59
2.1.1.3 Titanium Molybdenum Alloy (TMA)	60
2.1.1.3.1 Introduction, history and properties	60
2.1.1.3.2 TMA in orthodontics	61
2.1.1.3.3 TMA archwire of this study	63
2.1.1.4 Composition of the archwires	64
2.1.2 The electrolyte	66
2.1.3 The reference electrode	68
2.1.4 The auxiliary electrode	69
2.1.5 The potentiostat	69
2.2 The methods	72
2.2.1 Preparation of the specimens	72
2.2.1.1 Specimens for corrosion testing at the potentiostat	72
2.2.1.2 Specimens for Ni ionic release testing	73
2.2.1.3 Specimens for photography, SEM and AFM analysis	74
2.2.1.4 Specimens for calorimetry	74
2.2.2 Open circuit potential	75
2.2.3 Cyclic voltammetry	75
2.2.4 Image study	77

2.2.4.1 Photographs	77
2.2.4.2 SEM	77
2.2.4.3 AFM	78
2.2.5 Nickel leaching	81
2.2.6 Calorimetric analysis	82
3. Results	84
3.1 Open circuit potential	84
3.2 Cyclic voltammetry	93
3.3 Photography	102
3.4 Scanning electronic microscope	111
3.5 Atomic force microscopy	122
3.6 Ni release	139
3.7 Differential scanning calorimetry	141
4. Discussion	149
4.1 Open circuit potential results	149
4.2 Cyclic voltammetry results	153
4.3 Photograph analysis	164
4.4 Scanning electronic microscope results	165
4.5 Atomic force microscopy results	181
4.6 Ni leaching results	187
4.7 Calorimetry results	199
5. Conclusions	209
6. References	215

