Barodontalgias.

Estudio experimental en perros

García-Rebollar,
Rafael

Barodontalgies. Experimental study in dogs

García-Rebollar, Rafael*

Vega del Barrio, José María**

Lorenzo-Bueno, José Carlos***

*Comandante Odontólogo. Médico. Doctor en Odontología. Director del Departamento de Odontología de la Escuela Militar de Sanidad

** Médico Especialista en Estomatología. Doctor en Medicina y Cirugía. Profesor Titular de Materiales Odontológicos del Departamento de Odontología Conservadora de la U.C.M.

*** Comandante Odontólogo. Jefe del Servicio de Odontología de la Base de Manises (Valencia)

Resumen: *Introducción:* las barodontalgias son entidades clínico-nosológicas muy características del medio militar, cuya fisiopatología y tratamiento son todavía hoy día muy controvertidos. *Objetivos:* Describir la respuesta dentino-pulpar del diente sano de perro Beagle con y sin obturaciones de amalgama y resinas compuestas en medio ambiente hipobárico. *Material y método:* Se estudian 308 dientes de perro Beagle divididos en tres grupos: sin obturaciones, con obturaciones de amalgama y con obturaciones de resinas compuestas, sometidos a un cambio hipobárico en cámara de baja presión ETC/APTF10M, siguiendo un perfil de vuelo militar simulado estándar (OTAN STANAG 3114) frente a un grupo control que no vuela, para valoración histológica en dos periodos de tiempo (tres horas y 21 días) siguiendo las normas ISO/TR7405. *Resultados:* En el estudio microscópico efectuado de forma inmediata (tres horas) tras el barotrauma, los cambios hipobáricos que genera el vuelo ocasionan respuesta histológicas pulpares significativas ($p < 0,05$); pero no existen diferencias entre muestras sin obturar u obturadas con distintos materiales. Además los cambios observados, desaparecen cuando el estudio histológico se efectúa tras un periodo de latencia de 21 días. *Conclusiones:* Existen diferencias histológicas en la respuesta dentino-pulpar de dientes de perro que vuelan respecto a un grupo control que no vuela, pero la respuesta es similar estén o no obturados con amalgama o resinas compuestas. Todos los cambios observados son reversibles con el tiempo.

Palabras clave: Barodontalgias, Respuesta dentino-pulpar, Medio hipobárico.

Abstract: *Introduction:* The different types of barodontalgia are clinical-nosological entities which are highly characteristic of the military environment whose physiopathology and treatment are at present still very controversial. *Objectives:* To describe the dentin-pulp response of the healthy tooth in a Beagle dog model with or without amalgam and composite resin restorations in a hypobaric environment. *Material and methods:* The study was performed on 308 Beagle dog teeth, which were divided in 3 groups (absence of restorations, amalgam restorations and composite resin restorations) and subjected to a hypobaric change in a low pressure ETC/APTF10M chamber, applying military simulated standard flight features (OTAN STANAG 3114) and comparing the results to those of a non-flying control group. A histological evaluation was performed after two time periods (3 hours and 21 days) following the ISO/TR7405 guidelines. *Results:* According to the microscopic study carried out immediately (3 hour) after baro-trauma, the hypobaric changes produced during the simulated flight induced significant ($p < 0,05$) histological pulp responses; however, there were no differences between the teeth restored with different material and the unrestored ones. Also, the observed changes disappeared when the histological evaluation was carried out after a latency period of 21 days. *Conclusions:* There are histological differences in the dentin-pulp response of dog teeth after a simulated flight with regard to a non-flying control group, but the response is similar whether they are restored with amalgam or composite resins or not. All the morphological changes observed are reversible with time.

Key words: Barodontalgia, Dentin-pulp response, Hypobaric environment.

Correspondencia

Rafael García Rebollar
Escuela Militar de Sanidad
Departamento de Odontología
Camino de los Ingenieros, 6
28047 - Madrid

BIBLID [1138-123X (2006)11:2; marzo-abril 141-294]

García-Rebollar R, Vega del Barrio JM, Lorenzo-Bueno JC. Barodontalgias. Estudio experimental en perros. RCOE 2006;11(2):161-173.

Introducción

Los barotraumas dentales de los pilotos aparecen desde el comienzo de la aviación. Ya en 1932 Garsaux y Strhol¹ mencionaron cuadros clínicos de «aerodontalgia» y Dreyfos y Amstrong introdujeron el término de «aerodoncia» para nominar los violentos y muy incapacitantes dolores dentales que aparecían durante el vuelo en algunos pilotos y eran reproducibles experimentalmente en cámara de descompresión.

El término actual de barodontalgia (B) que define estos trastornos, fue introducido por Adler² en 1964 haciendo referencia a la posibilidad de aparición de estos cuadros tanto en ambiente hiperbárico como hipobárico (subacuático y aeronáutico).

A pesar de que la clínica, semiología y pautas diagnósticas de las B están muy bien descritas y determinadas, la etiopatogenia y fisiopatología de estas alteraciones no han pasado aún hoy día del estado de hipótesis sin confirmar^{3*}, siendo el diente la única víscera no hueca que sufre barotraumas dentro del organismo. La tendencia al aumento de la frecuencia de barotraumas dentales, es más netamente perceptible en el medio militar, dados los avances crecientes de los aparatos de combate con condiciones de vuelo cada vez más al límite de la fisiología humana. Pero además, hay cada vez mayor número de personas que en sus viajes, actividades deportivas, profesionales y tratamientos médicos (oxigenoterapia hiperbárica) se someten a cambios en la presión barométrica, debiéndose por ello considerar a las B como afecciones con consecuencias muy

peligrosas, en especial para la seguridad de vuelo^{4*}.

Los estudios clínicos y trabajos experimentales que han aparecido sobre esta temática en las últimas décadas son en su mayor parte estudios observacionales, con una muy detallada recopilación de datos semiológicos pero sin adentrarse en buscar las necesarias confirmaciones histopatológicas que pudieran dar luz a esta patología^{3*,4*}.

Existen además importantes discrepancias con respecto a técnicas y materiales a utilizar en el tratamiento conservador de los dientes que sufren barotraumas, basadas en estudios epidemiológicos retrospectivos y con terapéuticas trasnochadas de hace varias décadas.

Justificación y objetivos

La falta total y absoluta de estudios histopatológicos sobre respuesta pulpar de dientes sometidos a cambios hipobáricos en condiciones estándar, nos ha llevado a realizar este trabajo de experimentación animal en cámara de baja presión (CBA) con los siguientes objetivos.

1. Determinar experimentalmente la respuesta inmediata del complejo dentino-pulpar frente a un estímulo hipobárico en dientes de perro obturados con materiales de uso habitual en clínica como son la amalgama y las resinas compuestas junto a su adhesivo dentinario.

2. Comparar, tras realizar un cambio hipobárico, los hallazgos anatómopatológicos encontrados de forma

inmediata, con aquellos hallazgos que aparecen después de un periodo de latencia estándar (21 días), tanto en dientes obturados como en dientes libres de tratamiento.

Material y método

La metodología del estudio ha estado basada en todo momento en un diseño estándar, perfectamente reproducible y aceptado por la comunidad científica como son las normas ISO 7405 facilitadas por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) y que hacen referencia a los estudios de respuesta del complejo dentino-pulpar frente a agentes extremos y materiales de obturación⁵.

La realización del trabajo experimental fue aprobada por los Comités de Ensayos Clínicos y Experimentación animal del HMC de la Defensa, La Escuela Militar de Sanidad y el Centro de Instrucción en Medicina Aeroespacial del MINISDEF.

Se utilizaron 12 perros de raza «Beagle» del Bioterio del Servicio de Medicina y Cirugía Experimental del HMC de la Defensa «Gómez Ulla» de peso comprendido entre 7-11 Kg y 1-2 años de edad sin patología orodental ni sistémica, adecuadamente desparasitados.

Dada la condición de partida de salud de los animales y la naturaleza de la intervención, los animales se consideran Clase ASA I, por lo que se practicó una evaluación preanestésica y un protocolo anestésico convencional inhalatorio mediante intubación endotraqueal.

Los dientes a utilizar fueron los caninos, premolares y molares superiores e inferiores, aprovechando 26 dientes por animal y 308 muestras en total.

Se realizaron cavidades en la superficie vestibular con fresa nueva de diamante de cono invertido con turbina de aire KAVO «Super Torque» modelo 640 Multiflex. A 300.000 rpm y presión 2,2 bares. Se refrigeró con triple spray de H₂O estéril a un volumen de 18-20 ml/min. Para asegurar que la profundidad de la preparación estuviera dentro del tercio medio de dentina remanente, se utilizó el control visual de la parte activa de la fresa y la confirmación con una sonda periodontal, cambiando la fresa por una nueva (nº 557 de Maillefer-Dentsply) cada cuatro cavidades.

La elección del material a utilizar en cada diente se hizo de forma randomizada, mediante el empleo de unas tablas de números aleatorios, de tal forma que resultaron la misma cantidad de dientes sanos, obturados con amalgama y obturados con resinas compuestas. Como resina compuesta se utilizó Spectrum TPH® (DENTSPLY DeTrey) junto a PRIME & BOND® (DENTSPLY DeTrey) y como amalgama se eligió una aleación ternaria de alto contenido en cobre y de partícula no esférica: Inibsalloy® (INIBSA), colocada previa desinfección de la cavidad con CHX, sin barnices ni adhesivos.

Todas las cavidades, fueron obturadas con los materiales seleccionados, siguiendo estrictamente las instrucciones del fabricante y teniendo especial cuidado en evitar el atrapamiento de aire durante la colocación de ambos materiales.

Tras la recuperación anestésica y a las 36 horas de realizadas la obtura-

Figura 1. Perfil del vuelo utilizado (STANAG 3114).

ciones, los animales fueron trasladados en jaulas protegidas desde su bio-terio hasta la cámara de baja presión (CBP) del Centro de Instrucción en Medicina Aeroespacial de Madrid (CIMA). Antes del vuelo en CBP se inyectó a los animales 0,2 mg/Kg de Butorfanol i.m. como medicación ansiolítica suave.

A continuación se efectuó el cambio hipobárico. El tipo de vuelo seleccionado para este estudio, se hizo de acuerdo con los perfiles de vuelo convencionales de una aeronave militar (F-18) con tiempos y dinteles de presurización habituales, siguiendo directrices OTAN de entrenamiento fisiológico para pilotos militares en CBP, STANAG 3114 «Ae-romedical Training of flight personnel» recogidas en la normativa española vigente: OM 74/92, BOD nº 204 de 19 de diciembre de 1999 para pilotos de las Fuerzas Armadas Españolas.

Los puntos más relevantes de los vuelos realizados podemos resumirlos de la siguiente forma:

a) Primera subida a 1.520 m (5.000 pies), realizada para comprobar la buena ecualización de presiones entre cavidades, mediante la observación de no existencia de cambios en el comportamiento de los animales objeto del estudio.

b) Descenso hasta el nivel del suelo.

c) Segunda subida con los siguientes parámetros alcanzados:

Altura máxima alcanzada: 21.200 pies (6.444 m).

Tiempo a máxima altura: 30 minutos.

Velocidad de ascenso: 2.500 pies/minuto (760 m/min).

Velocidad de descenso (hasta los 10.000 pies): 10.000 pies/minuto (3.040 m/min).

Velocidad de descenso (hasta el

nivel suelo) 2.500 pies/minuto (760 m/min).

Tiempo total del vuelo: 43 minutos.

Duración del ascenso: 8 minutos.

Duración del descenso: 1 minuto (hasta los 10.000 pies) (3.040 m). 4 minutos (hasta el nivel suelo) (fig.1).

Durante los 43 minutos del vuelo se anotaron todos aquellos cambios observables en el comportamiento de los animales dentro de su jaula en la CBP.

Finalizado el vuelo fueron de nuevo trasladados los animales al Centro de Medicina y Cirugía Experimental del H.M.C. Gómez Ulla.

Los animales fueron sacrificados en dos periodos de tiempo postoperatorio. Un primer periodo de 3 horas (6 animales de los que se obtendrán un total de 156 muestras) y un segundo periodo de 21 días (otros 6 animales de los que se obtendrán 152 muestras).

Se sacrificaron los animales utilizando 10 ml de pentobarbital sódico (Euta-LenderE) por vía intravenosa rápida que permite un logro del efecto inmediato.

Antes de la obtención de los dientes, se observó el estado de las obturaciones para ver si habían sufrido alguna alteración.

Seccionamos ambos maxilares a nivel retromolar, individualizando posteriormente cada uno de los dientes mediante cortes interproximales. Con ello evitamos fractura de las dientes, que ocurrirían siempre, si intentáramos la exodoncia simple, dada la longitud y curvatura de las raíces de los caninos y las raíces divergentes de premolares y molares, que precisarían odontosecciones y el consecuente deterioro de las muestras.

Figura 2. Sección macroscópica de premolar donde se aprecia la cavidad practicada.

Los bloques obtenidos se introdujeron en botes estériles con formaldehído al 10% para procesado y estudio en el Laboratorio General de Anatomía Patológica (Servicio 1) del Hospital Clínico de San Carlos (Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid) y posteriormente en el Laboratorio del Servicio de Anatomía Patológica del Hospital Central de la Defensa (Inspección General de Sanidad, Ministerio de Defensa).

Tras mantener las muestras en formaldehído al 10% durante 24 horas, se decalcificaron, se cortaron con un microtomo en secciones de 6º buscando conseguir en un mismo corte zona de obturación y tejido pulpar adyacente. Finalmente las muestras

se tiñeron con hematoxilina-eosina y tricromico de Masson para la evaluación celular general con un microscopio óptico NIKON por dos anatomopatologos independientes de los Servicios antes citados (fig. 2).

Para valorar las preparaciones histológicas se siguieron los criterios que a continuación expresamos, basados en las recomendaciones hechas para la evaluación histológica de la respuesta dentino-pulpar frente a agentes externos y materiales (ISO7405), introduciendo el criterio de «respuesta vascular pulpar» para poder valorar estos cambios, tan trascendentes para el estudio de lesiones barotraumáticas, estableciendo así los siguientes parámetros en cada uno de los dos periodos postoperatorios analizados (tres horas, 21 días):

1. Margen oscuro en la dentina del piso o pared cavitarias

Grado 0. No se observa.

Grado 1. Vestigios.

Grado 2. Capa dispersa o discontinua.

Grado 3. Capa continua.

2. Respuesta celular pulpar

Grado 0. No existe respuesta en ninguna capa.

Grado 1. Alteraciones sólo en la capa odontoblástica.

Grado 2. Alteraciones en la capa odontoblástica, capa de Weil y capa celular.

Grado 3. Alteraciones graves en toda la estructura celular pulpar, con necrosis de al menos el tercio coronal pulpar.

3. Respuesta de la capa odontoblástica

Grado 0. No hay cambios en la capa odontoblástica.

Grado 1. Desestructuración mínima de la empalizada odontoblástica y sus prolongaciones y/o aspiración de núcleos.

Grado 2. Degeneración estructural de los citoplasmas odontoblásticos.

Grado 3. Rotura celular, necrosis.

4. Respuesta vascular pulpar

Grado 0. No hay cambios.

Grado 1. Presencia de cambios en el calibre de los vasos y/o edema.

Grado 2. Aparición de aire intra y extravascular sin rotura capilar.

Grado 3. Aire intra y extravascular con rotura capilar y extravasación sanguínea.

5. Depósito de dentina restauradora

Grado 0. No hay aumento adicional ni anormal del espesor de dentina que rodea la pulpa (por debajo de los túbulos cortados).

Grado 1. Vestigios de dentina terciaria bajo la cavidad.

Grado 2. Puente incompleto dentinario o al menos formación de tejido duro difuso por debajo de la cavidad.

Grado 3. Puente completo de alrededor de un milímetro de espesor debajo de los túbulos cortados.

6. Presencia o no de bacterias en las paredes o piso de la cavidad

Grado 0. No hay.

Grado 1. Vestigios.

Grado 2. Capa dispersa.

Grado 3. Capa continua.

7. Grado de inflamación

Grado 0. No aparece.

Grado 1. Ligera. Aparecen algunas células inflamatorias sobre todo linfocitos y células plasmáticas en la vecindad del material.

Grado 2. Moderada. Marcada reacción inflamatoria pulpar adyacente al material con linfocitos, células plasmáticas, neutrófilos, macrófagos y

celulas gigantes multinucleadas junto a alteraciones circulatorias con estasis y trombos.

Grado 3. Grave. Igual al grado 2 pero cubriendo toda la pulpa coronal.

En este trabajo se han definido variables de tipo cualitativo por lo que los resultados descriptivos se expresan mediante frecuencias relativas, es decir, el cociente entre el número de casos que cumplen las características dividido por el número total de muestras estudiadas.

Desde el punto de vista de la estadística analítica, la prueba utilizada será el test de la Chi cuadrado de Pearson y en aquellos casos en los que algún valor expresado de la tabla 2x2 sea menor de cinco se utilizará el test exacto de Fisher. Con estos test estadísticos evaluamos de forma genérica la presencia o ausencia de asociación entre las distintas variables estudiadas.

Además se realizó una inferencia sobre la ODDS RATIO (OR) a partir de una tabla 2x2 como estimador del efecto de las variables.

Se analizaron los datos recogidos en los dos periodos de tiempo estudiados: muestras de tres horas y muestras de 21 días.

El análisis de estos datos se realizó a partir del programa estadístico Statistical Package Social Sciences (SPSS) empleando en todos los casos un nivel de significación estadística del 95% ($\alpha=0,05$)^{6**}.

Resultados

Como hemos referido se efectuó el estudio experimental utilizando 12 animales de experimentación de los que se obtuvieron un total de 308

piezas dentales para dividir en dos periodos de estudio: un periodo inicial de tres horas en el que evaluamos la respuesta inmediata dentino-pulpar frente al vuelo tanto en dientes íntegros como obturados y un segundo periodo estandar de sacrificio a los 21 días para observar los cambios celulares tardíos que permanecen como secuelas del trauma disbárico.

Periodo inicial (sacrificio a las tres horas del vuelo)

Se utilizaron seis animales de experimentación, de los que obtuvieron un total de 156 muestras. Se desecharon un total de 12 dientes, seis de cada grupo (vuelo y control), todos ellos por defectos en la técnica histológica e imposibilidad de una correcta evaluación con microscopio óptico.

Se evaluaron, así para este periodo un total de 144 dientes, divididos en dos grupos:

- 72 dientes sometidos a vuelo (casos)
- 72 dientes no sometidos a vuelo (controles).

En cada grupo existía la siguiente distribución:

- 25 dientes íntegros
- 24 obturados con amalgama
- 23 obturados con resinas compuestas.

Aplicados los criterios histológicos descritos en cada uno de los dientes, estos determinaron siete variables histológicas cualitativas.

Periodo tardío (sacrificio a los 21 días del vuelo)

Se utilizaron un total de 152 muestras obtenidas de otros seis animales de experimentación, desechándose un total de ocho dientes por defectos

Figura 3. Grupo Control. Complejo dentino-pulpar del diente de perro Beagle donde se aprecia la predentina y la característica capa de odontoblastos en «empalizada». Tricómico de Masson x400.

Figura 4. Periodo Inicial. Grupo de Vuelo. Límites cavitarios de distintas preparación con ausencias de bacterias, margen oscuro ni dentina reparadora. Se observan restos de materiales de obturación. Tricrómico de Masson X-200.

Figura 5. Existen diferencias estadísticamente significativas en la respuesta odontoblástica de las piezas dentales de perros que vuelan respecto a los que no vuelan.

Figura 6. Periodo Inicial. Grupo de Vuelo. Predentina, capa de Weil y tejido pulpar característico donde se observa desorganización de la empalizada odontoblástica normal y congestión vascular en capas pulpaes más internas. Todo ello como consecuencia del cambio hipobárico sufrido. Tricrómico de Masson X-200.

en la obtención y preparación de las muestras, evaluándose así para este periodo un total de 144 dientes, con el fin de tener igual número de muestras que en el primer periodo. Se dividieron, al igual que en el periodo inicial, en dos grupos (casos y controles) con la misma distribución de preparaciones (fig. 3). Asimismo se estudiaron las mismas variables, con los mismos criterios.

De toda la evaluación de estadística descriptiva y analítica es destacable de forma general que no existe ninguna respuesta grado dos en ambos periodos de estudios (tres horas y 21 días) y en todas las muestras estudiadas respecto a los criterios histológicos estudiados:

- Margen oscuro.
- Depósito de dentina terciaria.
- Presencia de bacterias.
- Grado de inflamación (fig.4).

Además, respecto al resto de criterios histológicos evaluados con respuesta, cuando ésta ha existido, nunca ha superado un carácter leve (grado uno).

De toda la estadística analítica es destacable en el periodo inicial (tres horas del vuelo), al evaluar como variable la respuesta celular/vuelo, que existen diferencias estadísticamente significativas en la respuesta

Figura 7. Existen diferencias estadísticamente significativas en la respuesta odontoblástica de las piezas dentales de perros que vuelan respecto a los que no vuelan.

Figura 8. Periodo Inicial. Grupo de Vuelo. Sacrificio a las tres horas de haber realizado el vuelo. Se observa vacualización edematosa de la capa odontoblástica con alargamiento de las prolongaciones odontoblásticas como consecuencia del vuelo. Tricrómico de Masson X-400.

celular de piezas dentales de perros que vuelan respecto a los que no vuelan (fig. 5) siendo el riesgo de presentar respuesta celular 40 veces mayor en perros que vuelan respecto a los que no vuelan (fig. 6)

Al valorar la respuesta odontoblástica frente al vuelo, en ese periodo inicial de sacrificio a las tres horas del vuelo, nos encontramos también con diferencias significativas, siendo la posibilidad de presentar respuesta odontoblástica 40 veces mayor en perros que vuelan respecto a los que no vuelan (figs. 7 y 8).

Por lo que respecta a la respuesta vascular frente al vuelo también existen diferencias estadísticamente significativas, siendo el riesgo de presentar respuesta vascular 15 veces mayor en animales sometidos al cambio hipobárico que en aquellos que no entraron en CBP (figs. 9, 10 y 11)

Entrando dentro de las comparaciones intragrupo en el periodo inicial de estudio, al comparar dentro del grupo de animales que volaron, los dientes con obturaciones frente a

los íntegros sin obturaciones, se observó que no existen diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la respuesta celular o la respuesta odontoblástica entre dientes obturados y sin obturar, todos ellos sometidos a un cambio hipobárico (figs. 12,13).

Asimismo dentro de las comparaciones intragrupo, si comparamos dentro solamente de los animales que vuelan, el comportamiento dentino-pulpar de aquellas piezas obturadas con amalgama frente a las obturadas con resinas compuestas, comprobamos que no existen diferencias estadísticamente significativas, aunque en valores absolutos aparece una menor respuesta dentino-pulpar en dientes obturados con resinas compuestas que en los obturados con amalgama (fig. 15).

Dentro del periodo de estudio tardío (sacrificio de los animales a los 21 días de haber sido sometidos al cambio hipobárico en CBA) se elaboraron tablas con los mismos grupos de variables que en el periodo inicial,

estudiando los grupos de dientes que volaron con respecto al grupo control que no voló, así como aquellas comparaciones intragrupo de vuelo entre dientes obturados frente a los no obturados o de dientes obturados con amalgama frente a obturados con resinas compuestas frente a todos los criterios histológicos descritos, observándose siempre que en aquellos animales sacrificados tras un periodo de latencia de 21 días tras el vuelo, no existen diferencias estadísticamente significativas en la respuesta dentino pulpar, entre dientes de animales que vuelan respecto a los que no vuelan, estén o no obturados y respecto a todos los criterios histológicos empleados en el estudio^{6**} (figs.16,17).

Discusión

El barotrauma dental ha sido muy poco estudiado a lo largo de la historia. Los estudios sobre el tema, aparte de escasos son, en su mayor parte, antiguos.

Figura 9. Existen diferencias estadísticamente significativas en la respuesta celular de las piezas dentales de perros que vuelan respecto a los que no vuelan.

Figura 11. Periodo Inicial. Grupo de Vuelo. Sacrificio a las 3 horas del vuelo. Se observa congestión vascular sin rotura capilar; Ausencia de aire intra o extravascular; (característico de la enfermedad descompresiva) sin extravasación de hemátides. Ello indica la levedad del trastorno ocasionado en el diente por el disbarismo. Tricrómico de Masson X-400.

Figura 10. Periodo Inmediato. Desorganización odontoblástica con alargamiento de las prolongaciones odontoblásticas «en sacacorchos». Hematoxilina-Eosina X-400.

Sorprendentemente y a pesar de ser una parcela científica, en la que queda «casi todo» por investigar, el interés parece decaer en las últimas

décadas, si lo comparamos con la mucho más abundante bibliografía de los años 1930-1960.

Otra característica que ha dificultado mucho la elección de un método a seguir es la falta absoluta de estandarización de los pocos estudios experimentales realizados, muchos de ellos además, solo incluidos en documentos publicados en revistas o folletos de difusión muy limitada, como lo son las publicaciones militares, no incluidas en el Index of Dental Literature. Por ello, hemos aplicado en nuestro trabajo, las normas ISO/TR 7405, con el fin de utilizar una metodología estandar, aceptada por toda la comunidad científica, respecto a estudios de respuesta pulpar⁷.

Todos los trabajos experimentales sobre biocompatibilidad de materiales se dan en medio ambiente de presión atmosférica estándar (una atmósfera) mientras que en nuestro estudio hemos tratado fundamentalmente de conocer la respuesta biológica del complejo dentino-pulpar, en un me-

dio hostil: el medio hipobárico. Todo ello en dientes sanos y obturados, con los materiales de utilización habitual en la clínica, como son la amalgama y las resinas compuestas.

Para todo ello se ha utilizado la cámara hipobárica ETC, APTF 10M como medio físico de experimentación que permite reproducir fielmente las variaciones barométricas de cualquier perfil de vuelo convencional.

Entre los factores que intervienen en el daño pulpar, durante la preparación de cavidades están, a parte de la profundidad, la velocidad rotacional, el tamaño, la forma y composición de la fresa, la magnitud y dirección de la presión sobre el instrumento de corte, el grado de humedad en el campo operatorio, la dirección y tipo de refrigeración usados y el tiempo de contacto entre el instrumento y el tejido⁸.

Así pues, aunque realizamos el tallado cavitario con suficiente spray de agua dirigido hacia la parte activa de la fresa, se evaluó la existencia o no de un margen oscuro en la dentina

Figura 12. No existen diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la respuesta dentino-pulpar, entre piezas sin obturación y piezas obturadas tras un cambio hipobárico.

Figura 13. Periodo Inicial, Grupo de Vuelo, Sacrificio a las tres horas de vuelo. Aspiración de núcleos de odontoblastos en predentina por efecto del barotraumatismo. Única imagen de aspiración obtenida de todas las muestras estudiadas. En cualquier caso tiene un carácter leve según las normas ISO estudiadas. Hematoxilina-Eosina X-400.

Figura 14. Aunque no existan diferencias significativas, en valores absolutos aparece una menor respuesta dentino-pulpar en dientes obturados con resinas compuestas que en los obturados con amalgama tras un cambio hipobárico.

Figura 15. En aquellos animales sacrificados tras un periodo de lactancia de 21 días, no existen diferencias estadísticamente significativas en la respuesta dentino-pulpar, de aquellos dientes de animales que vuelan respecto a los que no vuelan, estén o no obturados y respecto a todos los criterios histológicos empleados en el estudio.

del piso y paredes cavitarias que aparece en casos de sobrecalentamiento de la misma. En nuestro estudio no apareció ninguna muestra con grado uno de margen oscuro, lo que indica una buena refrigeración durante la preparación cavitaria.

Por lo que respecta a los datos consultados sobre terapéutica con-

servadora en casos de barotraumas dentales (que como hemos descrito están relacionados en más de un 80% con caries u obturaciones recientes en dientes posteriores), casi todos los autores, se decantan por la utilización de obturaciones de amalgama bien condensadas, algunos utilizando bases de hidróxido de calcio u óxido de

zinc-eugenol. Estos materiales utilizados clásicamente como bases cavitarias, han sido puestos muy en entredicho en la última década.

La Sección Militar de la FDI sigue aconsejando desde 1984 hasta la actualidad no utilizar obturaciones de resinas compuestas ni adhesivos dentinarios para tratamiento de barodon-

Figura 16. Periodo Tardío. Grupo de Vuelo/Grupo Control. Foramen apical con paquete vasculonervioso apical normal. Tricrómico de Masson X-400.

Figura 17. Periodo Tardío. Grupo de Vuelo/Grupo Control. En la dentina, predentina y capa odontoblástica no se observa ningún cambio histológico con respecto al control que no ha sufrido disbarismo lo que demuestra la reversibilidad de los cambios histológicos generados por el vuelo, con el paso del tiempo (muestras observadas a los 21 días). Comparar con figuras 8,9 y 10. Tricrómico de Masson X-400.

talgias por sus múltiples inconvenientes, en especial la contracción y la microfiltración consiguiente, la presencia de aire en su composición aunque sea en pequeña cantidad y el más fácil atrapamiento del mismo durante la colocación del material compuesto, con respecto a las amalgamas.

Sin embargo curiosamente autores como Sangal, ya en 1967 obtenía mejores resultados con las obturaciones de silicato (no utilizadas desde hace décadas) que con las de amalgama para tratar barodontalgias⁹.

En cualquier caso, la utilización, en nuestro estudio experimental en medio hipobárico, de resinas compuestas además de amalgama, ha estado basada en que como hemos comentado, la práctica clínica diaria utiliza las resinas compuestas en sectores posteriores, cada vez con más frecuencia, y los últimos estudios de respuesta histológica dentino-pulpar frente a distintos materiales de obtu-

ración de uso habitual, no ofrecen diferencias significativas en sus resultados^{7,8,10*}.

Esta práctica es también frecuente en el personal militar, incluido el personal de riesgo que se somete a bruscos cambios de presión ambiente como el piloto de caza o el buceador de combate, a pesar de las recomendaciones de la Sección Militar de la FDI.

La elección de un medio físico de experimentación hipobárico, no ofrece ninguna otra opción, más que la utilización de una cámara de baja presión (CBP).

Con respecto a trabajos con animales, sólo existen algunos trabajos con ratas en cámara hiperbárica^{12,13*} y en cámara hipobárica^{14,15*}. Todos ellos adolecen fundamentalmente de falta de standardización en los perfiles de presión a los que se somete a los animales objeto del experimento.

Por ejemplo, Gersh y Retarsky mantuvieron a los animales durante 25 días

a 25.000 pies, mientras que Pfister y Frank utilizaron varios grupos con experiencias repetidas a muy diversas alturas sobrepasando en todas ellas los límites de hipoxia y de enfermedad descompresiva lo que desvirtúa claramente los resultados histológicos¹⁶.

En nuestro trabajo se ha utilizado un perfil de vuelo estándar convencional que reproduce las condiciones de trabajo habituales de una aeronave militar, siguiendo el patrón estricto de perfil OTAN para entrenamiento fisiológico en CBP.

Las alturas alcanzadas en el experimento, la meseta a máxima altura y la velocidad de ascenso y descenso se eligieron siguiendo los criterios conocidos de ensayos clínicos contrastados con personal de vuelo en CBP, eligiendo aquel perfil en el cual la incidencia de cuadros sintomáticos de barotraumas dentales es mayor (más del 90% de cuadros de B se dan por debajo de los 23.000 pies (7.000 mts) y con

velocidades de ascenso menores de 2.500 pies/minuto (760 mts/minuto)¹¹.

El método elegido de eutanasia es el reconocido y aceptado en la legislación que regula la investigación con modelos animales (R.D. 233/1988) habiendo elegido un bioterio del Centro de Medicina y Cirugía Experimental del H.M.C. Gómez Ulla, que cumple todos los criterios legales obligatorios, con control veterinario especializado, y un protocolo científico aceptado por la comisión de investigación y el comité de experimentación con modelos animales de las Fuerzas Armadas.

Los resultados en el periodo inicial o precoz permiten estudiar la reacción causada por la preparación cavitaria, la técnica de obturación y muy especialmente por el perfil de vuelo elegido en la experimentación sobre la pulpa. Posteriormente estudiamos si las respuestas celulares iniciales aumentan o disminuyen con el tiempo, mediante la observación de las mismas en el periodo tardío.

El primer parámetro que analizamos fue la presencia de un margen oscuro en la superficie dentinaria. En nuestro trabajo, no hemos encontrado ninguna muestra que presente margen oscuro en la superficie cavitaria, lo que nos hace pensar que nuestra técnica de realización de la cavidad, en cuanto a refrigeración y corte se refiere, ha sido hecha de forma correcta y no ha influido en los resultados del estudio con respecto a la respuesta pulpar, tal como refieren las normas ISO.

En segundo lugar analizamos los parámetros relacionados con el daño y capacidad de respuesta de las estructuras celulares pulpares, muy

especialmente la respuesta encontrada en la capa odontoblástica y los vasos subyacentes.

Desde el inicio de los trabajos experimentales sobre barodontalgias, se especuló con la presencia de aire en el tejido pulpar, como el causante de trastornos durante su expansión en altitud. Los estudios en este sentido han sido muy contradictorios¹⁸. Mientras autores como Harvey o Pfister describen algunas bullas gaseosas en el tejido pulpar de ratas sometidas a cambios hipobáricos, en otros trabajos se descarta la aparición de éste fenómeno como el origen de barotraumas dentales, y las justifican, (en el escaso número en que aparecen), como artefactos de la preparación histológica^{13,14,16}.

No cabe duda de que los resultados obtenidos en nuestro trabajo, donde se aprecian alteraciones en la capa odontoblástica con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre el grupo experimental y el grupo control, fueron debidas al fenómeno diabárico que siguiendo la teoría hidrodinámica, produciría contracciones y expansiones del fluido dentinario, originando un movimiento de dicho fluido que como explica Ezquerro²⁶ podría provocar choques del cuerpo celular odontoblástico contra los túbulos, con desorganización celular odontoblástica, edema, etc.¹⁹.

Es muy destacable en nuestro trabajo experimental, la ausencia de diferencias histológicas entre los tres grupos experimentales que volaron (dientes íntegros, obturados con amalgama, obturados con composite), lo que demuestra que la presencia o no de obturación o el tipo de material utilizado no son determinantes en los

cambios celulares pulpares que se observaron en el estudio, ya que aunque la respuesta celular y vascular es mayor en dientes obturados que en dientes íntegros (en términos absolutos) la diferencia no fue estadísticamente significativa entre dientes sanos y dientes obturados. Esto confirmaría el concepto actual del comportamiento del diente íntegro como una membrana filtrante semipermeable desechando las antiguas teorías que consideraban al esmalte, como una barrera rígida e impermeable a todo tipo de sustancias o fluidos²⁰.

Otro parámetro estudiado, en el que se encontraron resultados con diferencias estadísticamente significativas fue el de respuesta vascular. Aunque las diferencias encontradas en términos absolutos fueron menores que en el caso de la respuesta celular y odontoblástica, se puede apreciar en las figuras 7,9,11,14,16 y 17 como existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en la respuesta vascular, entre los grupos experimentales (sometidos a vuelo) y los grupos control (no volaron).

Es destacable también en las tablas que muestran las respuestas a los distintos tratamientos, la ausencia de diferencias significativas en las respuestas celular, odontoblástica y vascular entre los tres grupos de dientes que vuelan, ya sean dientes íntegros, obturados con amalgama u obturados con composite.

Es de reseñar también que no existe ninguna respuesta vascular en dientes íntegros que vuelan, mientras que siempre existe respuesta vascular en los dientes obturados que vuelan, y ésta es mayor en los dientes obturados con amalgama que en los obtura-

dos con composite, aunque esto último no tenga significación estadística.

La levedad de las respuestas vasculares en nuestro estudio, muy probablemente se puedan achacar a la realización de cavidades poco profundas (en 1/3 medio de dentina) frente a la mayor parte de estudios que implican grupos experimentales con exposiciones pulpares yatrogénicas.

Además, como ya se ha comentado, en la mayor parte de los trabajos consultados, los cambios de presión ambiente aplicados son muy importantes, lo que conlleva un grado de hipoxia y narcosis nitrogenada que tiene su traducción automática siempre en la respuesta de la microcirculación pulpar y que incluso se utiliza para el sacrificio del animal de experimentación en muchos de los estudios. Todo ello, a nuestro entender, desvirtúa los resultados de un estudio experimental sobre disbarismos y permite explicar como en nuestro estudio (en el que se utilizó un perfil de vuelo estándar que no implica grados de hipoxia valorables, ni se sobrepasa el umbral para enfermedad descompresiva), no aparezcan respuestas vasculares graves, rotura vascular, ni burbujas de aire intra y/o extracelular.

Dentro de nuestro trabajo, otro de los criterios a valorar fue el grado de inflamación como respuesta del tejido pulpar frente a la agresión externa. En los resultados de nuestro trabajo, se puede apreciar presencia de edema en todas las muestras procedentes de dientes que volaron, obturadas o no. Dicho edema se valora dentro del criterio de respuesta vascular en el grado uno junto al aumento de permeabilidad circulatoria. Respecto a este factor del edema, existen diferencias

estadísticamente significativas entre los grupos experimentales (vuelo) y los grupos control (no vuelo). Sin embargo no apareció en ninguna muestra, ningún grado de celularidad inflamatoria, tanto de grupos de estudio como control.

Un factor a tener en cuenta para explicar esta ausencia de respuesta inflamatoria es la poca profundidad de las preparaciones cavitarias (tercio medio dentinario), sin exposiciones pulpares ni agresiones yatrogénicas directas en pulpa ni dentina profunda, lo que siempre conlleva una menor respuesta celular inflamatoria.

En el periodo final (21 días) de nuestro estudio no se encontró tampoco ninguna muestra con células inflamatorias crónicas lo que está en consonancia con la falta de pulpitis aguda y celularidad inflamatoria aguda en el periodo inicial.

Otro parámetro a valorar fue la presencia o no de bacterias en el piso o paredes cavitarias y su posible influencia en la respuesta del tejido pulpar. En nuestro estudio no se ha encontrado ninguna muestra con bacterias teñidas en ninguno de los grupos experimentales, en ambos periodos de estudio. La explicación a ello la podemos encontrar, en haber utilizado animales de un bioterio con dientes perfectamente sanos, sin caries y limpios antes de iniciar las cavidades junto a un procedimiento experimental meticuloso, evitando en todo momento la contaminación externa.

Además la extracción y preparación de las muestras para el estudio histológico fue muy rápida (menos de 40 horas desde que se efectuaron las obturaciones), lo que dificultó la microfiltración de bacterias por micro-

defectos de adaptación del material de obturación a las cavidades, que ocurre con el paso del tiempo.

Hay autores que asocian poder antibacteriano a los modernos sistemas adhesivos para explicar la ausencia de bacterias teñidas en sus estudios de respuesta pulpar y otros que achacan la ausencia de dichas bacterias a que pueden perderse durante las distintas fases de procesamiento, corte y tinción de las muestras^{7,21}.

En cualquier caso los resultados de nuestro estudio, con ausencia de bacterias en la totalidad de las muestras están en consonancia con la falta de células inflamatorias de aparición aguda y/o crónica, en todas las muestras, como comentábamos anteriormente, lo que confirma la íntima relación existente entre inflamación pulpar y microfiltración bacteriana en odontología conservadora.

El último criterio a valorar es el depósito de dentina terciaria que como sabemos se desarrolla como respuesta a la agresión o irritación de agentes externos a la pulpa. En el estudio realizado, no aparece ninguna muestra con formación de tejido duro en el periodo inicial, y muy pocas muestras con algún vestigio de dentina terciaria en el periodo tardío. Esto es lógico, en el periodo inicial (3-4 horas), ya que no ha dado tiempo suficiente para que comience la formación de dentina reparativa, por lo que no es observable su presencia.

Se tarda aproximadamente 20 días en conseguir la diferenciación de los odontoblastos, y por lo tanto, este es el tiempo mínimo para que se empiece a formar dentina reparativa o terciaria. De hecho se necesitan aproximadamente 60 días para poder obte-

ner una capa dentinaria detectable radiológicamente (60 días x1,5 micras = 90 micras de espesor)22.

Esto explica la práctica ausencia (tan sólo algún vestigio) de dentina reparativa en todas las muestras de nuestro estudio, incluso en el periodo tardío (21 días) en consonancia con la falta de células inflamatorias y odon-

toblastoides que acompañan a este proceso y que no se encuentran tampoco en ninguna de las muestras.

Para finalizar, es preciso comentar que la utilización de dientes sanos intactos para probar los materiales de restauración dental limita la aplicación clínica de los datos al tipo de dientes probados. Por tanto serían necesarios

ensayos clínicos en pacientes portadores de obturaciones utilizando las técnicas y materiales actuales, con el fin clínico habitual de tratar la caries o las distintas enfermedades y lesiones dentarias, que corroboren estos resultados en la pruebas de altitud o de entrenamiento fisiológico de rutina en CBP.

Bibliografía recomendada

Para profundizar en la lectura de este tema, el/los autor/es considera/an interesantes los artículos que aparecen señalados del siguiente modo: *de interés **de especial interés.

1. Garsaux P, Strhol A. **La vitesse d'ascension et de descense en avion. Les effets sur l'organisme.** Rev Aeronaut Intern. 1932;6:67-475
2. Adler H.F. **Barodontalgia.** Aeromed Rev.1964; 15:1-166.
- 3*. García Rebollar R. **Fisiopatología Clínica de las Barodontalgias.** Tesina de Licenciatura. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Odontología. Madrid, 1992.
Revisión bibliográfica extensa sobre las distintas hipótesis fisiopatológicas que se han barajado hasta la fecha para dar explicación al fenómeno clínico de las barodontalgias.
- 4*. González MM, Martínez-Sauquillo A, Bullón P. **Prevalencia de las Barodontalgias y su relación con el estado bucodental en el personal con responsabilidad en vuelo militar.** Med Oral. 2004;9:92-105.
Serio estudio epidemiológico efectuado recogiendo datos clínicos de importantes series de reconocimientos odontológicos en pilotos militares españoles.
5. AENOR. Norma ISO 7.405. **Odontología, evaluación preclínica de la biocompatibilidad de los productos sanitarios usados en odontología. Métodos de ensayo para materiales dentales.** Enero 1999: 433-55.
- 6**. García Rebollar R. **Respuesta pulpar del diente de perro íntegro y obturado en el medio hipobárico.** Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Odontología. Madrid, 2004.
Trabajo doctoral desarrollado a partir del estudio experimental presentado en este artículo.
7. Kitsano Y, Nakajima M, Pereira PN, et al. **Monkey pulpal response and microtensile strength beneath a one-application resin bonding system in vivo** J Dent. 2000;28:193-8.
8. Akimoto N, Momoi Y, Kohno A, et. al. **Biocompatibility of Clearfil liner Bond 2 an Clearfil AP-X system on nonexposed and exposed primate teeth.** Quintessence Int. 1998;29:177-88.
9. Sangal A, **Aerodontalgia,** J Indian Dent Assoc.1967;49:557-60
- 10*. Mjör IA. **Biología pulpodentinaria en odontología restauradora (II): reacciones iniciales a la preparación de dientes para procedimientos restauradores.** Quintessence (ed. esp.). 2004;16:1-21.
Excelente revisión bibliográfica actual sobre el comportamiento del complejo dentino pulpar, tanto de forma fisiológica como ante las distintas agresiones y patología que puede sufrir, publicado en una serie de siete artículos en la revista Quintessence.
11. Kollmann W. **The incidence and causes of dental pain during simulated high altitude flights.** J Endod. 1993;19:154-9.
- 12*. Carlsson OG, Halverson BA, Tripplett RG. **Dentin permeability under hyperbaria conditions as a possible cause of barodontalgia.** Undersea Biomedical Res.1983;10: 23-8.
Es uno de los pocos trabajos de experimentación animal sobre respuesta pulpar en medio subacuático extremo. A pesar de la antigüedad del estudio, realiza una buena defensa de la teoría de permeabilidad dentinaria como etiopatogenia de las barodontalgias.
13. Seoane JM, Agudado A, Romero MA. **Barodontalgia: Estado actual. Interés odontostomatológico.** Rev Act Odont Esp1990;50:39-43.
14. Harris N, Mefferd R, Restivo S. **Dental changes induced in rats by prolonged exposure to adverse environments.** Amer J Physiol.1960; 198:476-80.
- 15*. Debruge JM, Franck R, Pfister A. **Contribution a l'estude des aerodontalgies dans les conditions actuelles de vol.** Rev Stomatol Chir Maxillofac. 1971;72:738-42
Trabajo de experimentación animal con ratas en medio hipobárico muy agresivo, con resultados histológicos sobre respuesta pulpar que apoyan la teoría aeroembólica y barotraumática de explicación de las barodontalgias.
16. Gersh S, Retarski JJ. **The effects of simulated altitudes upon the incisor of the rat.** Anat Rec. 1944;90:191-5.
17. Blanchard JP. **Aerodontalgia in dental practice.** Rev Odontostomatol Midi Fr.1975;4:236-43.
18. Goodis HE, Marshall GW Jr, White JM. **The effects of storage after extraction of the teeth on human dentine permeability in vitro.** Arch Oral Biol.1991;36:561-6
19. Ezquerro E, Plaza A. **La hipersensibilidad dental.** Noticias odontostomatológicas.1996; 1:1-3.
20. Mjör IA. **La biología de la pulpa-dentina en la odontología. Quinta parte: Manejo clínico y cambios tisulares asociados al desgaste y el traumatismo.** Quintessence (ed. esp.). 2003;16: 144-62.
21. Mjör IA. **Biología pulpodentinaria en odontología restauradora (VII): pulpa expuesta.** Quintessence. 2004;17:83-106.
22. Llamas R, Bonilla V, Pastor C. **Separation of enamel and dentin in non cavitated enamel caries in 96 proximal surfaces of 74 teeth.** RCOE.1998;3:111-26.