

INTERPRETACIÓN FÍSICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA INTERFASE DE UNIÓN EN BRACKETS ADHERIDOS MEDIANTE RESINA A ESMALTE TRATADO CON LASER ND-YAG Y GRABADO ÁCIDO

AUTORES

Dr. Luis Corpas Pastor. *Práctica Privada de Ortodoncia y Odontopediatría (Málaga)*

Dr. Juan Villalba Moreno. *Departamento de Radiología y Medicina Física (Universidad de Granada)*

Dr. Juan de Dios López-González Garrido. *Departamento de Radiología y Medicina Física (Universidad de Granada)*

Rafael Zambrana Moral. *Departamento de Dermatología (Universidad de Málaga)*

ABSTRACT

Based on a previous research on tensile strength of brackets adhered to Nd-YAG "lased" and acid etched bovine enamel, the purpose of this study is to investigate the reason why the bonding strength is higher in acid etched enamel than lased enamel.

Forty brackets ("Ultratrim" Dentaurum) were resin adhered to acid etched and lased bovine enamel. An Instron Machine (Instron Corp. Canton, Mass) was used to detach the bonded brackets in both groups. Load curves of resin until the point of failure were obtained for evaluation from the computer of the Instron Machine. An optical evaluation of the detached brackets bases was performed with an Optiphot Optic Microscope (Nikon Co, Japan).

Results show that cohesive failure of the resin between bracket base and enamel surface is the most typical failure mode for acid method and adhesive failure mode at enamel-resin interface seems to be the most typical failure mode for lased group. The X^2 test for consistency confirmed that both samples are originated from two populations with different distribution ($X^2 = 40.71$, [$X_3^2(0.05) = 7.81$]). Typical load curve in both groups were compared using a mathematical formula of the straight part in both curves that suggests that both curves represent a similar behavior of the resin in both situations for a prior moment, with low forces and an early failure mode for lased group with low forces.

Thus, it can be stated that the adhesive behavior of the resin in both situations is the same. But in lased enamel, the alteration of surface energy is not important enough to promote a strong bonding, able to support high stress and this could be the reason of the higher bonding strength in acid etched enamel than lased enamel.

This investigation was funded, in part, in United States National Institutes of Health, Research Centers in Minority Institutions award, RR-03051.

KEY WORDS

Laser irradiation, adhesion, brackets, orthodontics.

RESUMEN

Basado en una investigación previa de la fuerza de unión de brackets adheridos a esmalte bovino mediante irradiación con láser de Neodimio-YAG o grabado ácido, el propósito de este trabajo ha sido investigar la razón por la cual la fuerza de unión es mayor en el grupo de grabado ácido que en el grupo irradiado con láser.

Cuarenta brackets ("Ultratrim" Dentaurum) se adhirieron a esmalte bovino mediante dos métodos: grabado ácido e irradiación con láser de Nd-YAG. Se utilizó una máquina "Instron" (Instron Co. Canton, Mass) para desprender los brackets de ambos grupos. La curva de carga de la resina hasta el punto de fallo se obtuvo gracias al ordenador de la máquina Instron. Se realizó una evaluación óptica de las bases de los brackets desprendidos con un microscopio óptico "Optiphot" (Nikon Co, Japan), a 40 aumentos.

Los resultados muestran que el modo más típico de fallo de la unión entre el bracket y el esmalte para el grupo de grabado ácido, es el fallo cohesivo de la resina de la interfase entre ambas superficies; y para el grupo irradiado con láser, el modo de fallo adhesivo es el más frecuente. El test X^2 de consistencia confirmó que ambas muestras se originan de dos poblaciones con distribuciones diferentes ($X^2 = 40.71$, [$X_3^2(0.05) = 7.81$]). Por otra parte, la comparación matemática del segmento inicial de las curvas típicas de carga para cada grupo sugiere que ambas curvas representan un comportamiento similar de la resina en ambas situaciones durante un primer momento como respuesta a la aplicación de fuerzas ligeras y un fallo de unión temprano para el grupo irradiado con láser.

Por lo tanto, puede suponerse que el comportamiento adhesivo en ambas situaciones es el mismo; pero en el esmalte irradiado con láser, la alteración de la energía superficial no es suficientemente importante para promover una unión fuerte, capaz de soportar un estrés alto y ésta podría ser la razón de una mayor fuerza de unión en el esmalte grabado con ácido.

PALABRAS CLAVE

Láser, adhesión, brackets, ortodoncia.

INTRODUCCIÓN

La técnica de adhesión directa de brackets de ortodoncia a esmalte dental, por el procedimiento de grabado ácido, para mejorar la retención de resinas composites, ha sido usada durante muchos años desde que fuera propuesta por primera vez para la adhesión de resinas al esmalte (1) y hasta hoy, el grabado ácido del esmalte permanece probablemente como el mejor método para promover la adhesión al esmalte en ortodoncia (2-4). Sin embargo, muy a menudo, la desmineralización y la caries alrededor de los brackets se presenta como complicación del tratamiento de ortodoncia cuando confluyen condiciones de higiene defectuosa.

En los últimos quince años asistimos al estudio del láser como agente físico útil en odontología (5, 6) y parece ser interesante su uso adaptado para prevenir la aparición de caries en el esmalte irradiado (7).

La irradiación con láser de la superficie del esmalte es capaz de reducir el riesgo de inicio de caries (8) debido a una mineralización aumentada del esmalte irradiado (8-10) y a un cambio en la estructura química de sus componentes (11-21) que reduce la solubilidad del esmalte a los ácidos.

Se ha encontrado que la irradiación del esmalte con láser produce una alteración morfológica que semeja en alguna forma al grabado ácido (22, 23). Este agente físico ha sido evaluado recientemente como nuevo método de grabado (24) y enfrentado al método tradicional. Sin embargo, los valores promedios de fuerza de tensión que los brackets soportan antes de desprenderse son más altos en los adheridos mediante grabado ácido que en los del grupo donde se usó el grabado con láser. El propósito de este estudio es investigar la razón por la que la fuerza de unión es mayor en el método de grabado ácido que en el método de "grabado con láser", a través del análisis del tipo de fallo de unión de la resina que se produce bajo fuerzas de tensión en ambas situaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cuarenta brackets "Ultratrim"® de central maxilar con malla de 12 mm² en su base (Dentaurum, Pforzheim, Alemania) se unieron a esmalte bovino mediante grabado ácido (GRUPO A) y laser Nd-YAG (GRUPO B) y cada espécimen en ambos grupos se preparó y se evaluó después de someterlo a la prueba de fuerza con una metodología estandarizada descrita en un trabajo anterior (24).

La carga de tensión se aplicó a cada espécimen (de bracket adherido a esmalte bovino) a 0.1 mm/min de velocidad (25). Se registró en Kg y MPa en la memoria del ordenador que controla la Máquina Instron® el punto de fallo de unión para cada espécimen y se eligieron dos curvas de carga representativas de cada grupo para compararlas.

Cinco pares (X, Y) de valores se eligieron del segmento recto de cada curva. Se calculó la regresión lineal por el método de los mínimos cuadrados la pendiente y el coeficiente de correlación. Una vez calculados los parámetros de regresión, se compararon ambas poblaciones mediante el test t de student de comparación de 2 pendientes para establecer si pertenecían a la misma población de puntos.

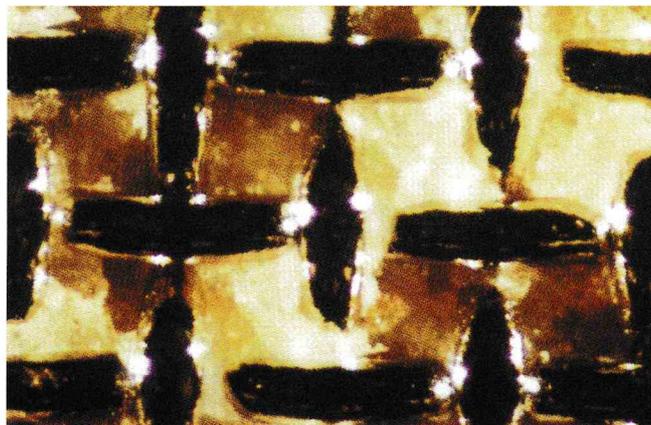


FIGURA 1. Modo de fallo cohesivo

Por otra parte, se usó un microscopio óptico "Optiphot Optic Microscope" (Nikon, Japon) a 40 aumentos para comparar el comportamiento de la resina composite ("Concise" Orthodontic bonding system Kit, 3M, Monrovia, Ca) localizada en las bases de los brackets desprendidos. Se clasificó el tipo de fallo de unión según fuera cohesivo, adhesivo, predominantemente adhesivo y predominantemente cohesivo.

Se definió el fallo cohesivo cuando la resina composite se rompió entre la base del bracket y la superficie del esmalte y el esmalte grabado estaba completamente cubierto por resina fracturada, después del test de fuerza.

El fallo adhesivo se definió cuando la resina composite de la base del bracket desprendido estaba completamente desprendida como una capa en la interfase esmalte-resina, después de la prueba de tensión.

TABLA 1. MODO DE FALLO DE UNIÓN PARA CADA ESPECIMEN EN LOS GRUPOS A (ACIDO) Y B (LASER).

NUMERO DE ESPECIMEN	MODO DE FALLO PARA GRUPO A (ÁCIDO)	MODO DE FALLO PARA GRUPO B (LÁSER)
1	Fallo cohesivo en la resina	Fallo adhesivo en el esmalte
2	Fallo cohesivo en la resina	Fallo adhesivo en el esmalte
3	Fallo cohesivo en la resina	DATOS PERDIDOS
4	Fallo cohesivo en la resina	Fallo adhesivo en el esmalte
5	Fallo cohesivo en la resina	DATOS PERDIDOS
6	Fallo cohesivo en la resina	Fallo adhesivo en el esmalte
7	Fallo cohesivo en la resina	Fallo predominantemente adhesivo
8	F, predominantemente cohesivo	Fallo predominantemente adhesivo
9	F, predominantemente cohesivo	Fallo adhesivo en el esmalte
10	Fallo cohesivo en la resina	Fallo adhesivo en el esmalte
11	F, predominantemente cohesivo	Fallo predominantemente adhesivo
12	Fallo cohesivo en la resina	Fallo adhesivo en el esmalte
13	Fallo cohesivo en la resina	Fallo predominantemente adhesivo
14	Fallo cohesivo en la resina	Fallo predominantemente adhesivo
15	Fallo cohesivo en la resina	Fallo predominantemente adhesivo
16	Fallo cohesivo en la resina	Fallo predominantemente adhesivo
17	Fallo cohesivo en la resina	Fallo predominantemente adhesivo
18	Fallo cohesivo en la resina	Fallo predominantemente adhesivo
19	F, predominantemente cohesivo	Fallo adhesivo en el esmalte
20	DATOS PERDIDOS	DATOS PERDIDOS

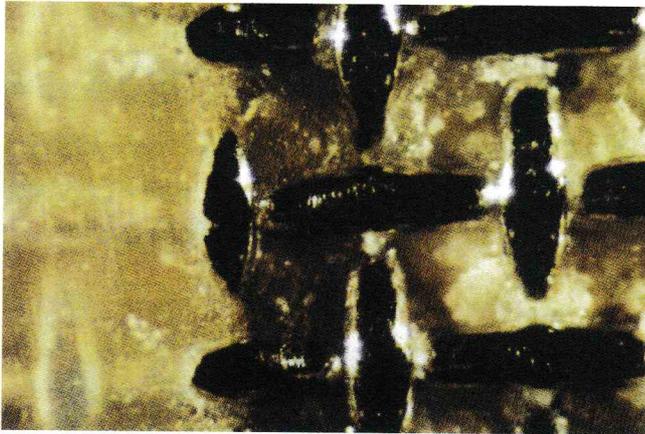


FIGURA 2. Modo de fallo predominantemente cohesivo.

Los tipos de fallo predominantemente cohesivo y predominantemente adhesivo se definen cuando, existiendo una combinación de los anteriores, el otro tipo de fallo está presente en una pequeña parte de la base del bracket.

RESULTADOS

El examen óptico de los brackets desprendidos mostró que el modo de fallo cohesivo parece ser el modo de fallo más típico para el método de grabado ácido (FIGURA 1 y 2) y el modo de fallo adhesivo parece ser el más típico para el grupo tratado con láser (FIGURA 3 y 4).

La TABLA 1 muestra el lugar de fallo de unión en cada espécimen del grupo A y B y la TABLA 2 muestra la distribución de los cuatro tipos de fallos para los grupos A y B, agrupados en la TABLA 3.

El test X^2 de consistencia en una tabla 2 x 4 (distribución de los cuatro tipos de fallo de unión para ambos grupos) confirmó que ambas muestras se originaban de dos poblaciones con diferente distribución (TABLA 2), es decir que

TABLA 2. DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE FALLO DE UNIÓN PARA LOS GRUPOS A (ÁCIDO) Y B (LÁSER).

GRUPO	Fallo Cohesivo	Fallo Adhesivo	Fallo Predominantemente Cohesivo	Fallo Predominantemente Adhesivo	TOTAL
A (Ácido)	15	0	4	0	19
B (LÁser)	0	8	0	9	17
TOTAL	15	8	4	9	36

ambos métodos eran radicalmente diferentes pues en uno dan un tipo de fallo de unión y en el otro el opuesto. La X^2 calculada fue de 40.71 y se rechaza la hipótesis nula (las dos muestras se originan de dos poblaciones con la misma distribución) porque la X^2 calculada excede del valor crítico [$X^2(0.05) = 7.81$].

Para el grupo A (grabado ácido del esmalte) la curva de carga típica (FIGURA 5) comienza como una línea recta, pero gradualmente se curva hasta que un cierto valor (Punto P) es excedido. El límite proporcional es alto y hay una buena deformación elástica hasta el punto P, entonces

la extensión continúa hasta el fallo de la unión (FIGURA 1 y 2). La observación microscópica de dicha ruptura se expresa en las figuras 1 y 2 en la que se aprecia claramente el fallo cohesivo (FIGURA 1) y el predominantemente cohesivo (FIGURA 2), donde se puede observar claramente el composite atrapado en la malla de la base del bracket.

Por otra parte, para el grupo B (esmalte tratado con láser), la curva de carga típica (FIGURA 6) representa una línea recta típica de deformación. Corresponde a una curva para un material con una baja deformación y un bajo límite proporcional traducido en un fallo de unión temprano, como se observa en la FIGURA 3 y 4. La FIGURA 3 muestra un tipo de fallo adhesivo. El composite permite ver a su través el fino entramado de la malla del bracket. La resina se ha desprendido totalmente del esmalte. El grosor de la resina experimental corresponde al de toda la resina aplicada. Las fuerzas de unión resina-esmalte son inferiores a las fuerzas cohesivas (resina-resina). En la FIGURA 4 se ve un fallo de unión predominantemente adhesivo.

La regresión lineal obtenida sobre los puntos experimentales de las dos curvas típicas (FIGURA 5 y 6) arrojó un resultado de una pendiente de 3.43 para el grupo A (grabado ácido) y de 4.44 para el grupo B (láser) obteniendo un coeficiente de correlación superior al 99.9% para ambas curvas (TABLA 4). Estos datos confirman la linealidad del segmento inicial de ambas curvas. El similar valor de la pendiente en ambas curvas podría hacer pensar que se trata de un mismo fenómeno, cuyas diferencias se deban al azar. Para confirmar esta hipótesis, realizamos el test de la t de student de comparación de 2 pendientes. Se obtuvieron una t de student de 1.25 para 6 grados de libertad para varianzas iguales, que confirman que se trata de una misma línea con una probabilidad superior al 95%.

DISCUSIÓN

Está claro que las curvas de carga típicas para cada grupo son diferentes (FIGURA 5 y 6). Sin embargo, ambas curvas representan el comportamiento del mismo material. Gráficamente ambas curvas (generadas por el ordenador de la máquina Instrom) son muy diferentes, pero la comparación matemática del segmento recto en las dos curvas sugiere que ambas representan un comportamiento similar de la resina de unión en un primer momento. Por lo tanto, podemos intuir un comportamiento similar de la resina en un primer momento, con fuerzas pequeñas y un fallo temprano de la unión en el grupo irradiado con láser (segmento recto inicial de la curva). Esto representa un comportamiento elástico de la resina debido a su "estiramiento". El modo de fallo en el grupo B demostró que el fallo de unión

TABLA 3. MODO DE FALLO DE UNIÓN AGRUPADO PARA LOS GRUPOS A (ÁCIDO) Y B (LÁSER).

GRUPO	Fallo Cohesivo y Predominantemente cohesivo	Fallo Adhesivo y Predominantemente adhesivo	TOTAL
A (Ácido)	19	0	19
B (LÁser)	0	17	17
TOTAL	19	17	36

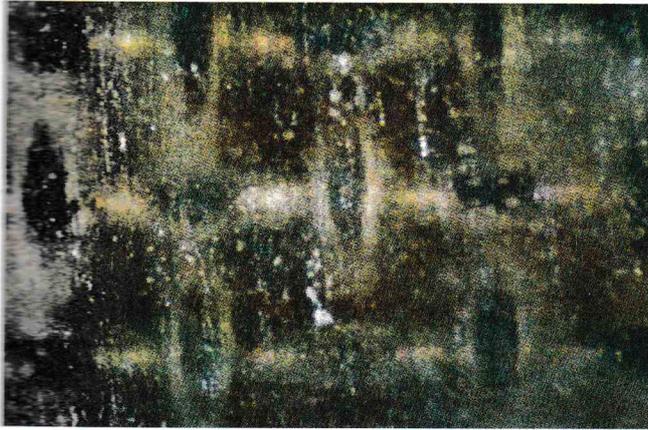


FIGURA 3. Modo de fallo adhesivo

en este grupo es un fallo adhesivo en la interfase esmalte-resina. Todo lo anterior implica que hay un modo diferente de fallo de unión para el método de adhesión con láser y el tradicional de grabado ácido.

Todas estas observaciones pueden unirse para constatar que el comportamiento de la resina en ambas situaciones es el mismo (como no podía ser de otra forma, porque se trata del mismo material en ambos casos). Pero en el esmalte irradiado con láser, la alteración de la energía superficial no es suficientemente importante para promover una unión fuerte, capaz de soportar estrés alto, y ésta podría ser la razón de que se produzca una mayor fuerza de unión en el esmalte grabado con ácido que en el irradiado con láser.

TABLA 4. AJUSTE DE LOS PUNTOS EXPERIMENTALES DEL SEGMENTO INICIAL DE LAS CURVAS DE CARGA A UNA RECTA ($y = ax + b$) MEDIANTE EL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

GRUPO A (GRABADO ÁCIDO)		GRUPO B (TRATADO CON LÁSER)	
a (pendiente)	r (coeficiente de correlación)	a (pendiente)	r (coeficiente de correlación)
0,722	0,990	2,327	0,998
3,796	0,998	2,0049	0,999
1,666	9,990	4,956	0,993
3,286	0,998	3,796	0,997
4,082	0,998	1,848	0,999
5,528	0,990	4,095	0,997
3,485	0,997	4,686	0,990
2,455	0,997	2,181	0,992
5,678	0,999	3,550	0,991
4,736	0,993	2,175	0,998
7,492	0,999	2,419	0,997
5,569	0,995	4,665	0,994
		6,002	0,998
		4,509	0,995
		6,925	0,998

TABLA 4: Parámetros medios de correlación de pendientes:
Grupo A (grabado ácido), media = 4,0415, d.s. = 1,9.
GRUPO B (tratado con láser); media = 3,745, d.s. = 1,565.

La irradiación con láser de Nd-YAG produce una fusión y posterior recristalización del esmalte y el cambio químico y físico se traduce en una reducción del riesgo de inicio de caries (8-21). Las propiedades beneficiosas en cuanto al fortalecimiento de la estructura adamantina frente al ataque ácido bacteriano abren un campo esperanzador a su uso como mecanismo de adhesión en odontología en general y en ortodoncia en particular.

Por otra la desventaja de la menor resistencia a la tensión de los brackets adheridos mediante el "grabado" con láser puede minimizarse si pensamos en su uso para pacientes de ortodoncia adultos, en los que necesitamos aplicar fuerzas ligeras, ya que éstas sí las resisten sin desprenderse los brackets adheridos a esmalte tratado con láser.



FIGURA 4. Modo de fallo predominantemente adhesivo

Como conclusión, según los resultados de este trabajo, podemos afirmar que, aunque es radicalmente diferente el modo de fallo de unión de brackets cuando se trata el esmalte con láser en lugar de con grabado ácido, la resina de unión se comporta de la misma forma inicialmente en ambas situaciones. Sin embargo, el grabado ácido del esmalte continúa siendo el método de elección para adhesión en ortodoncia cuando sea necesaria una mayor fuerza de unión.

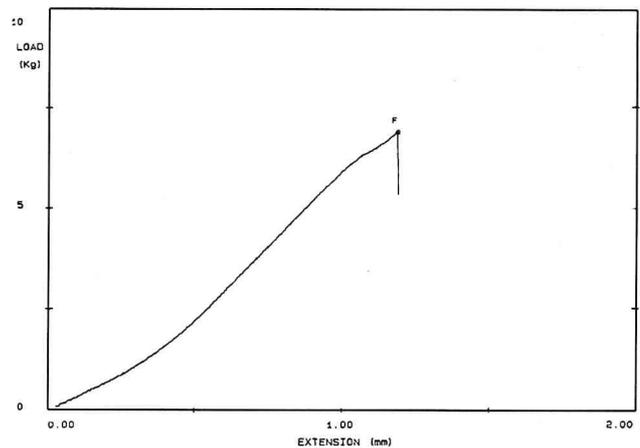


FIGURA 5. Curvas de carga típica para los especímenes del Grupo A (grabado ácido del esmalte)

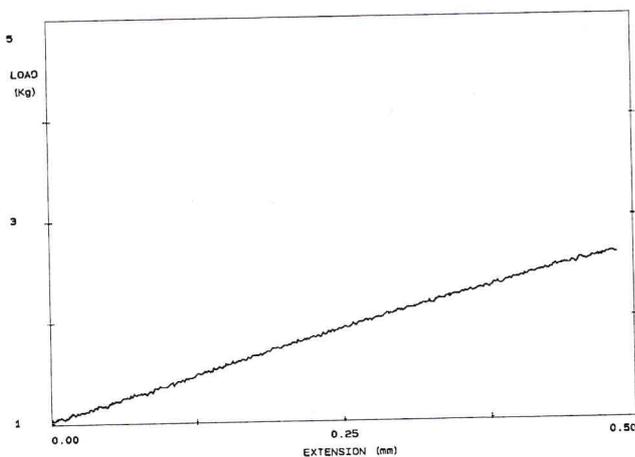


FIGURA 6. Curva de carga típica para los especímenes del Grupo B (irradiado con láser ND-YAG)

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido patrocinado, en parte, por el Instituto Nacional de la Salud (NIH) de EEUU (RR-03051). "Travel award to Indiana University School of Dentistry".

Nuestro agradecimiento a las empresas 3M (Monrovia, Ca, EEUU) y DENTAURUM (Pforzheim, Alemania), por la cesión gratuita de sus productos para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

1. BUONOCORE M (1955). Simple method of increasing adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res*;50:125.
2. RETIEF DH, DREYER CJ, GAVRON G (1970). The direct bonding of orthodontic attachments to teeth by means of an epoxy resin adhesive. *Am J Orth*;58:21-40.
3. DRIESSENS FCM (1977). Chemical adhesion in dentistry. *Int J Dent*;27:317-23.
4. WANG WN, MENG C (1992). A study of bond strength between light-and self-cured orthodontic resin. *Am J Ortho Dentofac Orthop* 1992;101:350-4.
5. CORPAS PASTOR L, VILLALBA MORENO J (1992). Láser en Odontología (I): marco teórico. *Rev. Andal. Odont. Estomatol.*; 2 (2): 57-62.
6. CORPAS PASTOR L, CEBALLOS SALOBREÑA A (1992). Láser en Odontología (II): marco clínico. *Rev. Andal. Odont. Estomatol.*; 2 (3): 93-100.
7. CORPAS PASTOR L, VILLALBA MORENO J, CEBALLOS SALOBREÑA A, LOPEZ-GONZALEZ GARRIDO J (1995). Fundamentos científicos para el uso del láser en odontología preventiva. *Arch. Odontostomat. Prev. Com.*; 11 (Supl.II): 695-705.
8. SCHEININ A, KANTOLA S (1968). Laser-induced effects on tooth structure. I. Crater production with CO₂ laser. *Acta Odont Scand*; 27:173-9.
9. KANTOLA S (1972). Laser-induced effects on tooth structure. V. Electron probe microanalysis and polarized light microscopy of dental enamel. *Acta Odont Scand*; 30:475-84.
10. KANTOLA S, LAINE E, TARNA T (1973). Laser-induced effects on tooth structure. VI. X-ray diffraction study of dental enamel exposed to a CO₂ laser. *Acta Odont Scand*; 31:369-79.
11. STERN RH, SOGNAES RF (1964). Laser beam effect on dental hard tissues. *J Dent Res*;43:873.
12. STERN RH, SOGNAES RF (1964). Laser beam effect on hard tissues. *J S Calif Dent Ass.*; 23:17-9.
13. SOGNAES RF, STERN RH (1965). Laser effect on resistance of human dental enamel to demineralization in vitro. *J S Calif Dent Ass*; 33:328-9.
14. LOBENE R, FINE S (1966). Interaction of laser radiation with oral hard tissues. *J Prosth Dent*;16:589-97.
15. GORDON TE (1966). Laser fusion of tooth enamel. A preliminary report. *J Florida Dent Soc*; 37:398-402.
16. KURODA S, FOWLER BO (1984). Compositional, structural and phase changes in "in vitro" laser-irradiated human tooth enamel. *Calcif Tissue Int*; 36: 361-9.
17. FOWLER BO, KURODA S (1986). Changes in heated and in laser-irradiated human tooth enamel and their probable effects on solubility. *Calcif Tissue Int*; 38:197-208.
18. NELSON DG, SHARIATI M, GLENA R, SHIELDS CP, FEATHERSTONE J (1986). Effect of pulsed low energy infrared laser irradiation on artificial caries-like formation. *Caries Res*; 20:289-99.
19. NELSON DG, WEFEL JS, JONGEBLOED WL, FEATHERSTONE JD (1987). Morphology, histology and crystallography of human dental enamel treated with pulsed low-energy infrared laser radiation. *Caries Res*; 21:411-26.
20. FEATHERSTONE JD, NELSON DG (1987). Laser effects on dental hard tissues. *Adv. Dent Res*;1:21-6.
21. OHO T, MORIOKA T (1990). A possible mechanism of acquired acid resistance of human dental enamel by laser irradiation. *Caries Res*;24:86-92.
22. HESS JA (1990). Scanning electron microscopic study of laser-induced morphologic changes of a coated enamel surface. *Laser Surg Med*;10:458-62.
23. CORPAS PASTOR L, ELIAS BONETA A, VILLALBA MORENO J (1993). A pilot study of morphological changes in coated Nd-YAG laser enamel (ABSTRACT). *Pediatric Dentistry*; 15 (2): 133.
24. CORPAS PASTOR L, VILLALBA MORENO J, LOPEZ-GONZALEZ GARRIDO J, PEDRAZA MURIEL V, MOORE, K, ELIAS A (1997). Comparing the tensile strength of brackets adhered to laser-etched enamel vs. acid-etched enamel. *JADA*; 128(6): 732-737.
25. COOPER LF, MYERS ML, NELSON DGA, MOWERKY AS (1988). Shear strength of composite bonded to laser-pretreated dentin. *J Prosth Dent*;60:45-9.