

Estudio comparativo del módulo de elasticidad que presenta la fibra de carbono en comparación al PEEK (polieteretercetona) como materiales para la confección de subestructuras implanto soportadas

Comparative study of the modulus of elasticity presented by carbon fiber compared to PEEK (polyetheretherketone) as materials for the manufacture of implant-supported substructures

Estudo comparativo do módulo de elasticidade apresentado pela fibra de carbono em relação ao PEEK (polieteretercetona) como materiais para a fabricação de subestruturas implantossuportadas

David Alejandro Regalado Berrú¹
Katya Sofía Alvarado Rosero²

¹ daregaladob@estudiantes.uhemisfeiros.edu.ec

² ksalvador@estudiantes.uhemisfeiros.edu.ec

Endereço para correspondência:

David Alejandro Regalado Berrú
Universidad de los Hemisferios. Facultad de Odontología
Paseo de la Universidad n. 300 y Juan Díaz
Urbanización Iñaquito Alto
Quito - Ecuador
E-mail: daregaladob@estudiantes.uhemisfeiros.edu.ec

Recebido: 21.08.2020

Modificado: 25.08.2020

Aceito: 08.09.2020

RESUMEN

Evaluar mediante pruebas de flexión el módulo de elasticidad de la fibra de carbono y el PEEK a 2 mm y 1.5 mm de espesor. 20 cuerpos de prueba obtenidos a partir de 1 disco de fibra de carbono (CarbonCad 3D, DEI Itália) y de 1 disco de PEEK (TecnoMed Mineral 95H12, Zirkonzahn) de 2 mm y 1.5 mm de espesor, fueron subdivididos en 4 grupos (n: 5) y evaluados mediante un ensayo de flexión a tres puntos para determinar el módulo de elasticidad de cada material, los valores obtenidos fueron expresados en Gpa y analizados mediante un T de Student, ANOVA y Tukey. La estadística descriptiva determinó que el grupo 2 presenta una media de 19.11 Gpa, y el grupo 3 una media de 5.31 Gpa concernientes al módulo elástico. Los análisis ejecutados consideran las variables largo, ancho, espesor y tipo de material determinó una diferencia significativa entre las medias del módulo de elasticidad de la fibra de carbono a 1.5 mm muestra una diferencia significativa con los otros grupos ($p = 0.02$). La fibra de carbono presenta un módulo de elasticidad mayor al PEEK, donde a un espesor de 1.5 mm demostró los mejores resultados.

PALABRAS CLAVE: Fibra de carbono. Módulo de elasticidad. Polímeros.

ABSTRACT

Evaluate by flexural tests the modulus of elasticity of carbon fiber and PEEK at 2 mm and 1.5 mm of thickness. 20 test bodies obtained from 1 carbon fiber disc (CarbonCad 3D, DEI Itália) and 1 PEEK disc (TecnoMed Mineral 95H12, Zirkonzahn) of 2 mm and 1.5 mm thickness, were subdivided into 4 groups (n: 5) and evaluated by means of a three-point bending test to determine the modulus of elasticity of each material, the values obtained were expressed in Gpa and analyzed using a T student, ANOVA and Tukey. The descriptive statistic determined that group 2 presents a mean of 19.11 Gpa, and group 3 an average of 5.31 Gpa concerning the elastic modulus. The analyzes carried out consider the variables length, width, thickness and type of material determined a significant difference between the average of the modulus of elasticity of the carbon fiber at 1.5 mm shows a significant difference with the other groups ($p = 0.02$). Carbon fiber has a higher modulus of elasticity than PEEK, where at a thickness of 1.5 mm it showed the best results.

KEYWORDS: Carbon fiber. Elastic modulus. Polymers.

RESUMO

Avaliar por meio de testes de flexão o módulo de elasticidade da fibra de carbono e PEEK a 2 mm e 1.5 mm de espessura. 20 corpos de teste obtidos a partir de 1 disco de fibra de carbono (CarbonCad 3D, DEI Itália) e 1 disco PEEK (TecnoMed Mineral 95H12, Zirkonzahn) de 2 mm e 1.5 mm de espessura, foram subdivididos em 4 grupos (n: 5) e avaliados por meio de um teste de flexão de três pontos para determinar o módulo de elasticidade de cada material, os valores obtidos foram expressos em Gpa e analisados por meio de um T student, ANOVA e Tukey. A estatística descritiva determinou que o grupo 2 apresenta uma média de 19.11 Gpa, e o grupo 3 uma média de 5.31 Gpa quanto ao módulo de elasticidade. As análises realizadas consideram as variáveis comprimento, largura, espessura e tipo de material determinado, uma diferença significativa entre a média do módulo de elasticidade da fibra de carbono em 1.5mm mostra uma diferença significativa com os demais grupos ($p = 0.02$). A fibra de carbono possui um módulo de elasticidade superior ao PEEK, onde na espessura de 1.5 mm apresentou os melhores resultados.

PALAVRAS-CHAVE: Fibra de carbono. Módulo de elasticidade. Polímeros.

INTRODUCCIÓN

El edentulismo se caracteriza por ser el resultado final de un proceso multifactorial de enfermedades orales¹⁻² que generalmente es solucionado mediante prótesis híbridas³, para la elaboración de ellas se emplean estructuras metálicas a manera de núcleo, las cuales son implanto soportadas y buscan el proveer de rigidez a la prótesis, reduciendo el riesgo de fractura de la misma⁴⁻⁵, la rigidez es la propiedad encargada de distribuir el estrés de manera más uniforme hacia los implantes⁶⁻⁷.

Las estructuras que sirven de sostén a estas prótesis, regularmente son realizadas con aleaciones metálicas como el Cr-Co (cromo cobalto)⁸⁻⁹ el cual presenta un módulo de elasticidad de 225 Gpa, lo cual representa una discrepancia con el módulo de elasticidad que presenta el tejido óseo equivalente a 18 Gpa, esta diferencia puede causar un blindaje óseo inadecuado al estrés, reabsorción ósea o una fractura del implante¹⁰, otra desventaja de emplear aleaciones metálicas está dada por el desarrollo de hipersensibilidad y alergias¹¹⁻¹².

El creciente desarrollo de nuevas tecnologías en el campo odontológico, tiene como principal enfoque el emplear materiales los cuales presentan propiedades adecuadas, como la resistencia a la fractura, la biocompatibilidad, y el aislamiento térmico¹³, en este contexto compuestos de matriz polimérica como la fibra de carbono y el PEEK (polieteretercetona), se muestran como viables sustitutos de las aleaciones metálicas convencionales^{10,14}.

La fibra de carbono (CF), denominado como un polímero termoplástico reforzado con fibra, donde los refuerzos son fibras de carbono con diámetros entre 5 y 10 μm y una matriz o polímero la cual actúa como medio de unión que generalmente es un epóxico, cuya composición permite a la fibra de carbono ser altamente resistente con un bajo peso en comparación de otros materiales metálicos¹⁵. La fibra de carbono CarbonCad 3D de la marca DEI Itália muestra características similares a las aleaciones de oro, tanto en biocompatibilidad como en capacidad de absorber fuerzas oclusales¹⁶.

Por su parte la polieteretercetona (PEEK) es un polímero termoplástico semicristalino lineal aromático, el cual está formado por cetonas poliaromáticas, mismas que le brindan una excelente estabilidad térmica y una alta resistencia mecánica, siendo estas características lo que lo convierten en candidato idóneo para reemplazar aleaciones metálicas¹⁷⁻¹⁸. Las características mecánicas que presenta el PEEK (TecnoMed Mineral, Zirkozahn), guardan estrecha relación con aquellas que presenta el tejido óseo, lo que representa una ventaja, ya que este material se puede adaptar limitando las complicaciones que representan las fuerzas oclusales excesivas como sería un blindaje óseo inadecuado frente al estrés¹².

Frente a lo expuesto, este estudio se propone mediante pruebas mecánicas evaluar el módulo de elasticidad de la fibra de carbono y el PEEK a 2 mm y 1.5 mm de espesor.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se planteó realizar un estudio experimental de tipo in vitro mediante el cual siguiendo la norma ISO 178:2019¹⁹ se emplearon 10 cuerpos de prueba de fibra de carbono y 10 cuerpos de prueba PEEK, las cuales fueron subdivididas en 2 subgrupos tomando en consideración su espesor. El diseño de los cuerpos de prueba fue realizado mediante el software Blender 2.83.2. (Figura 1) y empleado para elaborar un esquema de distribución de fresado en discos de 95mm de diámetro en el software Zirkozahn.nesting V10. (Figura 2). Mediante una fresadora de 5 ejes (M1 Wet, Zirkozahn, Gais, Itália) (Figura 3) equipada con una fresa diamantada de dos hojas semiesféricas \varnothing 3 mm. Para conseguir las dimensiones necesarias tanto en longitud, anchura y grosor, fueron fresadas a partir de 1 disco de fibra de carbono (CarbonCad 3D, DEI Itália) 5 cuerpos de prueba de 24 x 10 x 2 mm y 5 cuerpos de prueba de 24 x 10 x 1.5 mm (Figura 4). A partir de 1 disco de PEEK (TecnoMed Mineral 95H12, Zirkozahn), 5 cuerpos de prueba de 24 x 10 x 2 mm y 5 cuerpos de prueba de 24 x 10 x 1.5 mm (Figura 5). Los cuerpos de prueba fueron medidos con un calibrador y evaluados visualmente mediante un microscopio óptico, descartando aquellos que superen las dimensiones determinadas o presenten evidencia de fractura.

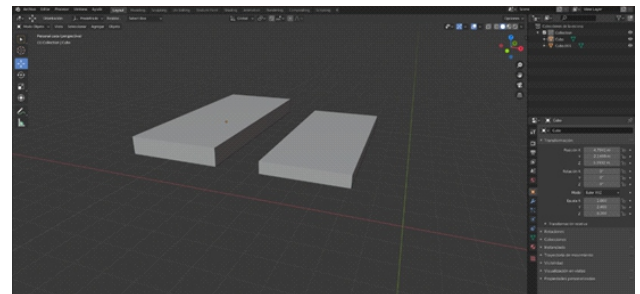


Figura 1 - Diseños digitales de las muestras realizados mediante el software Blender 2.83.2.

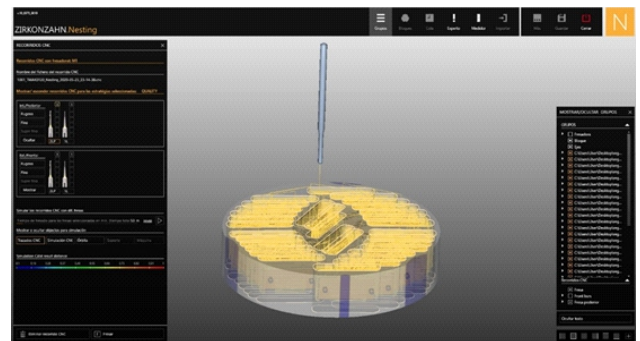


Figura 2 - Esquema de fresado en software Zirkozahn.nesting V10.

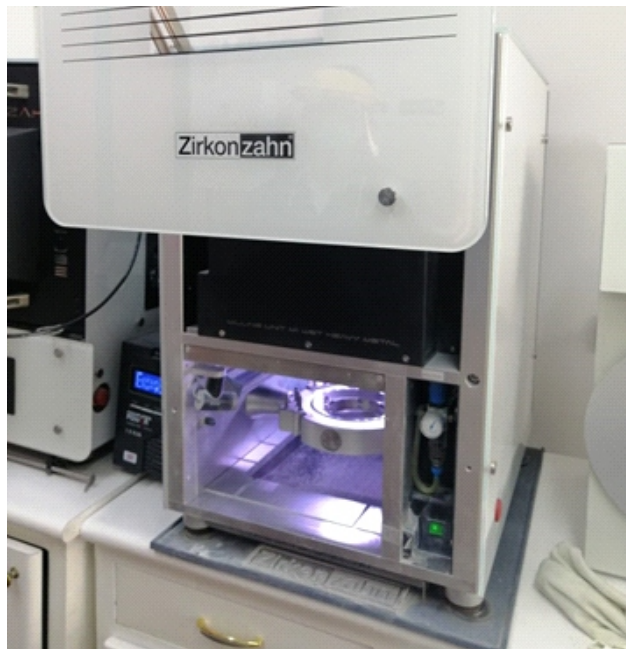


Figura 3 - Fresadora Zirkonzahn M1 Wet.

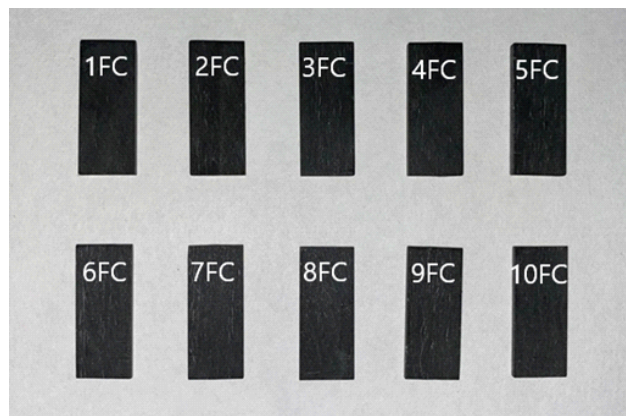


Figura 4 - Muestras de Fibra de carbono obtenidas a partir de un disco CarbonCad 3D de la marca DEI Italia.

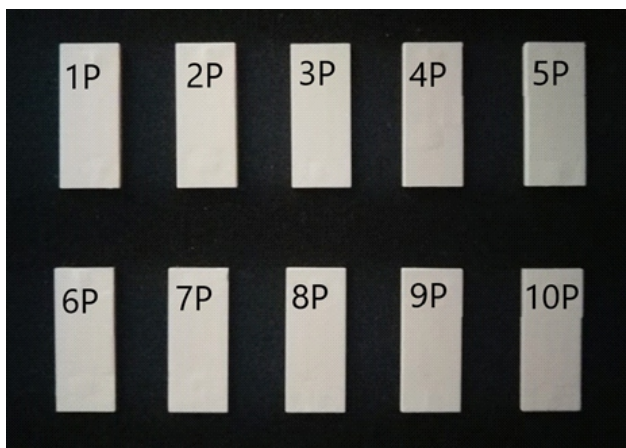


Figura 5 - Muestras de PEEK obtenidas a partir de un disco TecnoMed Mineral 95H12 de la marca Zirkonzahn.

Obtenidos los cuerpos de prueba estos fueron sometidos a un ensayo de flexión a tres puntos mediante una máquina de ensayos universales (SHIMADZU AGX-50Kn, Kioto, Japón) el cual fue realizado en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Según la norma ISO 178: 2020, se estableció una velocidad de ensayo de 1mm/1min para todas las muestras, ya que esta es la velocidad comprendida para muestras con un grosor entre 1 mm y 3.5 mm. Cada una de las muestras fue apoyada en una base de dos soportes a una distancia de 16 mm y flexionada por un elemento de carga (Figura 6) los cuales fueron construidos en acero AISI 1040.

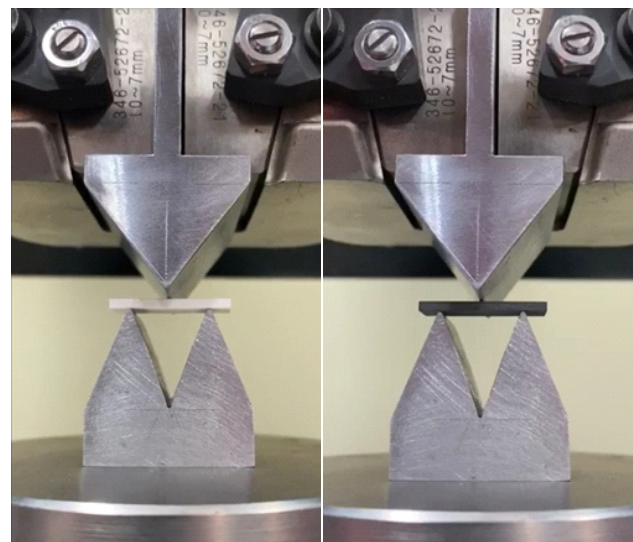


Figura 6 - Cuerpos de prueba apoyados en una base de dos soportes a una distancia de 16 mm y flexionada por un elemento de carga.

El módulo de elasticidad fue calculado tomando aleatoriamente dos valores de la región lineal de la curva de fuerza y deformación (Figura 7) de cada ensayo realizado, empleando estos valores en la formula (Figura 8) donde, P representa el valor de la carga, L^3 la longitud entre los apoyos elevada a la tercera potencia, 48 es un valor constante, Y_{max} la deflexión en el centro del cuerpo de prueba e I el momento de inercia.

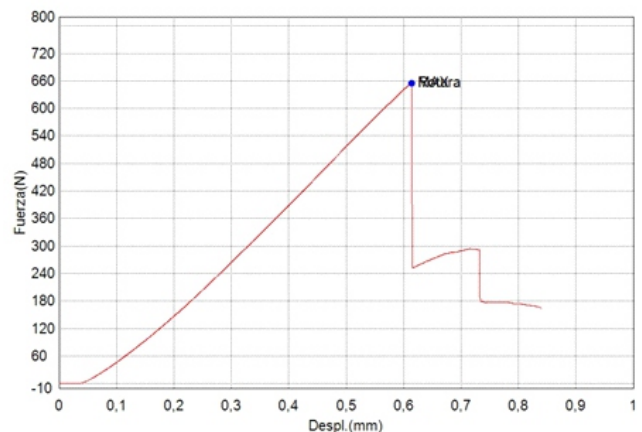


Figura 7 - Región lineal que presenta el cuerpo de prueba 1FC.

$$E = \frac{PL^3}{48y_{max}I}$$

Figura 8 - Formula de determinación del módulo elástico.

El momento de inercia de cada cuerpo de prueba fue obtenido a partir de la formula (Figura 9). Donde $\frac{1}{12}$ es un valor constante, b representa la base de los cuerpos y h^3 la altura o ancho elevada a la tercera potencia.

$$I_{x1} = \frac{1}{12} bh^3$$

Figura 9 - Formula para la obtención del momento de inercia.

Planteándonos así como hipótesis que la fibra de carbono a un espesor de 1.5 y 2 mm presenta un mejor módulo de elasticidad en comparación al PEEK (polieteretercetona).

RESULTADOS

Obtenidos los datos, estos fueron agrupados en 4 grupos, considerando largo, ancho, espesor y módulo de elasticidad de cada cuerpo de prueba (Tabla 1). Empleando la estadística descriptiva, se calculó la media, mediana, moda y la desviación estándar de cada grupo (Tabla 2). El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el programa Microsoft Excel mediante los métodos de estadística descriptiva lo que determinó que el grupo 2 presenta una media de 19.11 Gpa, el grupo 1 una media de 16.02 Gpa, el grupo 4 una media de 6.16 Gpa y el grupo 3 una media de 5.31 Gpa concernientes al módulo elástico.

Tabla 1 - Recolección de datos.

DIMENSIONES DE LAS PROBETAS				COMPUTO		
Material	Dimensiones	Nº de probeta	Dimensiones calibradas			Módulo de elasticidad [GPa]
			Largo [mm]	Ancho [mm]	Espesor [mm]	
Fibra de carbono	Grupo 1 24x10x2	FC	24	9.95	2.00	13.14
		FC2	24	9.96	1.93	15.42
		FC3	24	9.98	1.90	19.84
		FC4	24	9.98	1.89	17.62
		FC5	24	10.00	1.99	14.05
	Grupo 2 24x10x1.5	FC6	24	10.00	1.48	19.17
		FC7	24	10.00	1.44	20.46
		FC8	24	9.97	1.45	20.04
		FC9	24	9.98	1.44	17.37
		FC10	24	9.96	1.45	18.50
Peek	Grupo 3 24x10x2	P1	24	9.90	1.94	5.81
		P2	24	9.90	1.95	5.44
		P3	24	9.91	2.00	4.73
		P4	24	9.90	1.96	4.85
		P5	24	9.89	1.92	5.73
	Grupo 4 24x10x1.5	P6	24	9.92	1.41	6.34
		P7	24	9.91	1.45	6.16
		P8	24	9.88	1.43	6.12
		P9	24	9.88	1.44	6.34
		P10	24	9.91	1.45	5.83

Tabla 2 - Estadística descriptiva.

Medidas	Módulo de elasticidad Grupo 1	Módulo de elasticidad Grupo 2	Módulo de elasticidad Grupo 3	Módulo de elasticidad Grupo 4
Media	16.02	19.11	5.31	6.16
Mediana	15.42	19.17	5.44	6.16
Moda	-	-	-	-
Desviación estándar	2.73	1.23	0.50	0.21

Material	Módulo de elasticidad [MPa]
Fibra de carbono	17.562
Peek	5.736

Las variables independientes planteadas en este estudio fueron el largo, ancho y espesor. El módulo de elasticidad fue planteado como variable independiente, determinándose que la variable a medir en este estudio es cuantitativa, continua y dependiente. Mediante el programa SPSS fue ejecutado el Test Kolmogorov-Smirnov para verificar si las variables cuantitativas presentaban una distribución normal para determinar si era necesario realizar un test paramétrico o no.

En todos los grupos, el valor de la tabla (Tabla 3) es mayor al valor calculado. Lo que determina que la variable del módulo de elasticidad en todos los grupos sigue una distribución normal. Esto determina que podemos utilizar pruebas paramétricas para continuar el análisis estadístico, en este caso utilizamos la T de Student, el análisis de varianza ANOVA y la prueba Tukey.

Tabla 3 - Test de Kolmogorov de los 4 grupos de los cuerpos de prueba.

Grupo	Estadístico	GI	Sig
Grupo 1 24x10x2.0	0.08181449	5	0.56328
Grupo 2 24x10x1.5	0.02577132	5	0.56328
Grupo 3 24x10x2.0	0.04151736	5	0.56328
Grupo 4 24x10x1.5	0.04399304	5	0.56328

En la prueba T de Student (Tabla 4), comparando ambas medias, con un nivel de significación en un 5% es decir 0.05. Observamos que el valor de p es menor a 0.05 en ambos casos, por ello, indicándonos diferencias entre

ambos grupos, en relación a la variable de módulo de elasticidad son estadísticamente significativas.

Tabla 4 - Prueba de T Student.

	Variable 1	Variable 2
Media	17.5623076	5.7356
Varianza	6.6325548	0.3256
Observaciones	10.0000000	10.0000
Coefficiente de correlación de Pearson	0.0822564	
Diferencia hipotética de las medias	0.0000000	
Grados de libertad	9.0000000	
Estadístico t	14.4310166	
p(T<=t) una cola	0.0000001	
Valor crítico de t (una cola)	1.8331129	
p(T<=t) dos colas	0.0000002	
Valor crítico de t (dos colas)	2.2621572	

Para determinar el grupo diferente fue ejecutado el análisis de varianza de los grupos (Tabla 5), comparando las medias fijando el nivel de significación en un 5%, es decir 0.05. Determinando que las medias de los grupos analizados son diferentes.

Tabla 5 - Análisis de varianza.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	32299.3274	3	10766.4425	171.950092	2.20956E-12	3.238871517
Dentro de los grupos	1001.82022	16	62.6137638			
Total	33301.1476	19				

Frente a ello, los grupos fueron comparados entre si observando que las medias sobrepasan al valor HSD (Diferencia Honestamente Significativa) (Tabla 6), lo que indica que los grupos tienen medias diferentes; destacándose diferencias entre las medias de los grupos 3 y 4 quienes se muestran con menor valor HSD, pero similares entre sí.

Tabla 6 - Prueba Tukey.

HSD	Multiplicador	MSe	n
2.75280115	4.05	2.30998755	5

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Grupo 1		3.0914517	10.7018066	9.86020263
Grupo 2			13.7932583	12.9516543
Grupo 3				0.84160397
Grupo 4				

Determinándose una diferencia significativa entre las medias del módulo de elasticidad de la fibra de carbono a 1.5 mm con el resto de grupos ($p=0.02$).

DISCUSIÓN

El módulo de elasticidad de los cuerpos de prueba elaborados a base de fibra de carbono a un espesor de 1.5 y 2 mm presentaron los valores más altos en comparación al resto de los grupos, dándose cumplimiento a la hipótesis planteada al principio del estudio. Los valores del módulo de elasticidad de la fibra de carbono concuerdan con datos obtenidos en otros estudios¹⁶. Es así que la fibra de carbono se perfila como un posible sustituto de materiales comúnmente empleados para la fabricación de subestructuras implanto soportadas, debido a su módulo de elasticidad muy similar al que presenta el tejido óseo.

A diferencia de esto el PEEK presenta un módulo de elasticidad inferior la fibra de carbono y al tejido óseo, lo cual coincide con el valor determinado en literatura preexistente¹⁹. El PEEK posee características biomecánicas similares al tejido óseo, lo que podría disminuir la pérdida ósea marginal y estimular la osteointegración de los implantes sin embargo el problema recae en su baja resistencia al estrés mecánico y su radiolucidez²⁰.

Aquellos materiales que en su capacidad de carga, tienen un módulo de elasticidad similar al tejido óseo (10-18 Gpa), se comportan mecánicamente de la misma manera¹². Frente a esto, el estudio de propiedades mecánicas y biológicas, concluyó que la fibra de carbono puede ser una alternativa a las subestructuras implanto soportadas, debido a que aportan de una buena rigidez estructural a la prótesis, uniforme distribución de cargas hacia los implantes y una biocompatibilidad óptima⁶.

Los cuerpos de prueba de fibra de carbono con un espesor de 1.5 mm presentaron un mayor módulo elástico en comparación a los cuerpos de prueba de fibra de carbono con un espesor de 2 mm, resultado que puede asociarse a las diferentes orientaciones de las fibras de carbono al no ser un material de fibras unidireccionales²¹; sin embargo otras pruebas mecánicas requieren ser ejecutadas para corroborar la eficacia de este material.

La literatura revela la gran discrepancia de módulo de elasticidad que existe con materiales regularmente empleados para la confección de subestructuras implanto soportadas como el Cr-Co y el tejido óseo¹⁰, en el presente estudio hemos determinado que la fibra de carbono presenta un módulo de elasticidad altamente similar al tejido óseo, que lo hace un material el cual puede ser empleado para la confección de dichas estructuras constituyentes de prótesis implanto soportadas.

CONCLUSIÓN

La fibra de carbono presenta un módulo de elasticidad mayor al PEEK, donde a un espesor de 1.5 mm demostró los mejores resultados. Perfilándose la fibra de carbono como una alternativa viable a las subestructuras implanto soportadas tradicionales.

REFERENCIAS

1. Felton DA. Complete edentulism and comorbid diseases: an update. *J Prosthodont.* 2016;25(1):5-20.
2. Roberto LL, Crespo TS, Monteiro-Junior RS, Martins AMEBL, Paula AMB, Ferreira EF, et al. Sociodemographic determinants of edentulism in the elderly population: a systematic review and meta-analysis. *Gerodontology.* 2019;36(4):325-37.
3. Unsal GS, Erbasar GNH, Aykent F, Ozyilmaz OY, Ozdogan MS. Evaluation of stress distribution on mandibular implant-supported overdentures with different bone heights and attachment types: a 3D finite element analysis. *J Oral Implantol.* 2019;45(5):363-70.
4. Menini M, Pesce P, Bevilacqua M, Pera F, Tealdo T, Barberis F, et al. Effect of framework in an implant-supported full-arch fixed prosthesis: 3d finite element analysis. *Int J Prosthodont.* 2015;28(6):627-30.
5. Pera F, Pesce P, Solimano F, Tealdo T, Pera P, Menini M. Carbon fibre versus metal framework in full-arch immediate loading rehabilitations of the maxilla – a cohort clinical study. *J Oral Rehabil.* 2017;44(5):392-7.
6. Menini M, Pesce P, Pera F, Barberis F, Lagazzo A, Bertola L, et al. Biological and mechanical characterization of carbon fiber frameworks for dental implant applications. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2017;70(Pt 1):646-55.
7. Martin-Fernandez E, Gonzalez-Gonzalez I, Dellanos-Lanchares H, Mauvezin-Quevedo MA, Brizuela-Velasco A, Alvarez-Arenal A. Mandibular flexure and peri-implant bone stress distribution on an implant-supported fixed full-Arch mandibular prosthesis: 3D finite element analysis. *Biomed Res Int.* 2018 Apr 1.
8. Maló P, de Araújo Nobre M, Moura Guedes C, Almeida R, Silva A, Sereno N, et al. Short-term report of an ongoing prospective cohort study evaluating the outcome of full-arch implant-supported fixed hybrid polyetheretherketone-acrylic resin prostheses and the All-on-Four concept. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2018;20(5):692-702.
9. Mai HN, Kwon TY, Hong MH, Lee DH. Comparative study of the fit accuracy of full-arch bar frameworks fabricated with different presintered cobalt-chromium alloys. *Biomed Res Int.* 2018 Aug 5.
10. Rahmitasari F, Ishida Y, Kurahashi K, Matsuda T, Watanabe M, Ichikawa T. PEEK with reinforced materials and modifications for dental implant applications. *Dent J.* 2017;5(4):35.
11. Zoidis P, Papatthanasiau I, Polyzois G. The use of a modified polyether-ether-ketone (peek) as an alternative framework material for removable dental prostheses. A clinical report. *J Prosthodont.* 2016;25(7):580-4.
12. Cekic-Nagas I, Egilmez F, Ergun G, Vallittu PK, Lassila LVJ. Load-bearing capacity of novel resin-based fixed dental prosthesis materials. *Dent Mater J.* 2018;37(1):49-58.
13. Ouzer A. The evolution and fabrication of implant-supported full-arch hybrid prostheses. from conventional casted metal to an all-ceramic zirconia. *N Y State Dent J.* 2015;81(6):44-9.
14. Araújo Nobre M, Moura Guedes C, Almeida R, Silva A, Sereno N. Hybrid polyetheretherketone (PEEK)-acrylic resin prostheses and the All-on-4 concept: a full-arch implant-supported fixed solution with 3 years of follow-up. *J Clin Med.* 2020;9(7):2187.
15. Smith M. New developments in carbon fiber. *Reinforced Plastics.* 2018;62(5):266-9.
16. Castorina G. Carbon-fiber framework for full-arch implant-supported fixed dental prostheses supporting resin-based composite and lithium disilicate ceramic crowns: case report and description of features. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2019;39(2):175-84.
17. Skirbutis G, Dzingutė A, Masiliūnaitė V, Šulcaitė G, Žilinskas J. PEEK polymer's properties and its use in prosthodontics. A review. *Stomatologija.* 2018;30:54-8.
18. Mishra S, Chowdhary R. PEEK materials as an alternative to titanium in dental implants: a systematic review. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2019;21(1):208-22.
19. Han X, Yang D, Yang C, Spintzyk S, Scheideler L, Li P, et al. Carbon fiber reinforced peek composites based on 3d-printing technology for orthopedic and dental applications. *J Clin Med.* 2019;8(2):240.
20. Panayotov IV, Orti V, Cuisinier F, Yachouh J. Polyetheretherketone (PEEK) for medical applications. *J Mater Sci Mater Med.* 2016;27(7):118.
21. Pesce P, Lagazzo A, Barberis F, Repetto L, Pera F, Baldi D, et al. Mechanical characterisation of multi vs. uni-directional carbon fiber frameworks for dental implant applications. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2019;102:186-91.