

Original

Comportamiento mecánico de 3 tipos de anudados quirúrgicos usando monofilamentos de 4/0[☆]

Luis Gil Santos ^{a,b,*}, Jorge Más-Estellés ^a, Manuel Salmerón Sánchez ^a y Carlos Barrios ^b

^a Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España

^b Instituto de Investigación en Enfermedades Músculo-Esqueléticas, Facultad de Medicina, Universidad Católica de Valencia, Valencia, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 23 de diciembre de 2011

Aceptado el 15 de febrero de 2012

On-line el 10 de abril de 2012

Palabras clave:

Ensayo mecánico

Suturas quirúrgicas

Polipropileno

Nilon

RESUMEN

Objetivo: Estudiar experimentalmente mediante ensayos mecánicos el comportamiento de 4 tipos de monofilamento con 3 diseños de nudo, muy frecuentemente utilizados en cirugía.

Material y métodos: Se eligieron 4 monofilamentos de 4/0, dos de nailon y otros dos de polipropileno. Sobre cada hilo se realizaron 3 diseños de nudo. Un primer diseño (D-S-S) consistía en un seminudo doble (D) seguido de uno simple (S) en dirección contraria y un tercer S a su vez en dirección contraria. La configuración del segundo diseño fue D-S-D, y la del tercero, S-S-D. Se realizó un ensayo mecánico de rotura por estiramiento del hilo a una velocidad de 4 N/s, registrándose la fuerza y la deformación en intervalos de 100 ms.

Resultados: En los ensayos sobre hilos con nudos, existía una disminución de la fuerza y deformación de rotura con relación a los hilos sin nudos. En todos los casos, la rotura del hilo se producía en la zona del nudo, presumiblemente debido a daños causados al hilo durante el proceso de anudado. El nudo D-S-D fue el que mayor resistencia presentó con hilos de polipropileno, y el S-S-D el que mayor resistencia proporcionó con hilos de nailon.

Conclusiones: Los hilos de polipropileno, con nudos D-S-D, estarían más indicados para suturar tejidos que debieran soportar grandes fuerzas y con poca deformación de la sutura (por ejemplo, tendones). Los hilos de nailon, con nudos S-S-D, estarían mejor indicados para tejidos que tuvieran que soportar fuerzas más pequeñas y que precisaran de mayor elasticidad (por ejemplo, piel).

© 2011 AEC. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Mechanical behaviour of three types of surgical knots using 4/0 monofilament

ABSTRACT

Objective: To experimentally study the behaviour of 4 types of monofilament with 3 knotting techniques, very often used in surgery, employing mechanical tests.

Keywords:

Mechanical test

[☆] La información que incluye este trabajo ha sido presentada de modo parcial únicamente en el V Congreso Nacional INVESCOT (Asociación Española de Investigación en Cirugía Ortopédica y Traumatología) celebrado en la Universidad de Salamanca del 28 al 29 de enero de 2005.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: LU.GILS@telefonica.net (L. Gil Santos).
0009-739X/\$ – see front matter © 2011 AEC. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.
doi:10.1016/j.ciresp.2012.02.001

Surgical sutures
Polypropylene
Nylon

Material and methods: Four 4/0 monofilaments were chosen, two of nylon, and the other two of polypropylene. Three types of knot designs were made with each thread. The first design (D-S-S) consisted of a double half-knot (D) followed by one single (S) in the opposite direction, a third S in turn in the opposite direction. The configuration of the second design was D-S-D, and the third, S-S-D. A mechanical fracture test was performed by stretching the thread at a rate of 4 N/s, the force and deformation being recorded at intervals of 100 ms. **Results:** There was a decrease in the force and deformation in the tests on threads with knots compared to threads without knots. In all cases the rupture of the thread occurred in the knot area, presumably due to damage caused to the thread during the knotting process. The D-S-D knot had the greatest resistance with polypropylene threads, and S-S-D provided the greatest resistance with nylon threads. **Conclusions:** Polypropylene threads, with D-S-D knots, should be more indicated to suture tissues that have to support great forces and with little deformation of the suture (e.g., tendons). Nylon threads, with S-S-D knots, would be better indicated for tissues that have to support smaller forces and that require greater elasticity (e.g., skin).

© 2011 AEC. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

La elección del material de sutura y su adecuado anudado continúa siendo un problema controvertido¹⁻³. Algunos cirujanos efectúan suturas de manera empírica, o de modo artesanal rutinario, sin cuestionarse el porqué hacer un nudo u otro. El conocimiento de las prestaciones de distintos hilos y anudados (usos y formas) es clave para elegir el material más adecuado, el tipo de nudo y el procedimiento específico de anudado.

En cirugía, conviene utilizar hilos con escasa memoria (capacidad de recuperar su forma original tras efectuar el nudo) que los haga más manejables y más flexibles. Esta memoria está en relación inversa al diámetro del hilo: a mayor diámetro menor flexibilidad^{4,5}. Los hilos de sutura deben tener un grosor definido (a ser posible el menor diámetro con la mayor resistencia tensil) y estar concebidos para soportar tensiones hasta que se complete la cicatrización del tejido suturado^{6,7}.

Los monofilamentos tienen la ventaja de ser menos traumáticos para los tejidos por su bajo coeficiente de fricción, pero esa misma característica hace que los nudos sean menos seguros. Con estos materiales hay que hacer mayor cantidad de nudos para prevenir que estos se deslicen. Además, la menor adherencia bacteriana por su menor y más lisa superficie y su menor efecto de capilaridad, favorece el uso de monofilamentos⁸.

La mayor superficie de contacto y la mayor fricción entre los hilos aportan una mayor seguridad a los nudos. De hecho, los materiales poliméricos tienen tendencia a soltarse tras haber ajustado el nudo, debido a su rigidez. Para conseguir nudos más seguros, se aconseja el diseño D-S-S que consiste en realizar una primera lazada o seminudo doble (D), una segunda lazada simple (S) en sentido contrario, conformando un rizo con la anterior (lo que evitará que se deshaga el nudo). La mayoría de los cirujanos añade una tercera lazada simple (S) en sentido contrario a la segunda, como medida de seguridad.

Mientras la ingeniería química persigue la obtención de nuevos polímeros que satisfagan las exigencias de la sutura

de distintos tejidos^{4,5}, los cirujanos solamente pretenden encontrar un método de anudado adecuado con los polímeros existentes. Entre los principales factores ligados a la obtención de un buen resultado a la hora de suturar un tejido están las propiedades de los hilos y/o los diseños de anudados⁴.

Objetivo

El objetivo de este trabajo se centra en el análisis de las propiedades mecánicas de diversos hilos de sutura y anudados. Para ello, se realiza un ensayo mecánico de 4 monofilamentos con 3 diseños diferentes de nudo. El propósito central de la investigación fue constatar cuál de los 3 diseños de anudado que se ensayan se comporta con menor debilitamiento del hilo. Se trata, en definitiva, de un estudio mecánico experimental que intenta aclarar qué materiales y qué anudados elegir en función de las características intrínsecas de los hilos y anudados más frecuentemente empleados en cirugía.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio experimental del comportamiento mecánico de 4 tipos de monofilamentos de 4/0 (con un diámetro de 0,19 mm en todos los casos). Dos hilos estaban compuestos de nailon (Ny-1, Ny-2) y otros dos de polipropileno (Ppl-1, Ppl-2).

Los distintos tipos de nudo ensayados se realizaron siempre con 3 seminudos, que es el número generalmente aceptado para asegurar la estabilidad del nudo⁹. Se utilizaron 3 de los diseños de nudo más frecuentemente empleados en la clínica diaria (fig. 1).

Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos sobre los distintos hilos se llevaron a cabo en una máquina hidráulica de ensayos tensión-deformación Microtest (Madrid, 2001) con una resolución menor de 10 µm en medidas de posición, y 0,1 N en medidas de fuerza. La máquina es capaz de controlar el ensayo tanto por fuerza

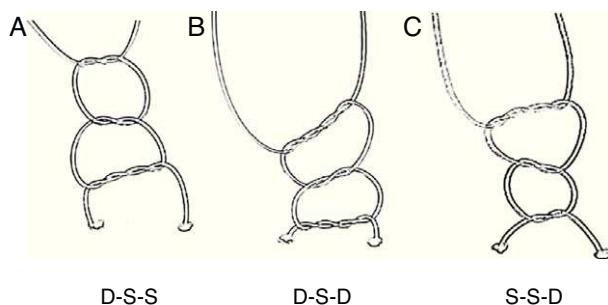


Figura 1 – Tipos de nudos ensayados. a) Un primer diseño de nudos (D-S-S) consistía en dos seminudos simples (doble [D]) en la misma dirección, seguido de otro seminudo simple (S) en dirección contraria, conformando con los anteriores un nudo de rizo, más un tercer seminudo S en dirección contraria; b) un segundo diseño (D-S-D) lo formaban dos seminudos simples (D) en la misma dirección, seguido de otro seminudo S en dirección contraria, más un tercer seminudo D de seguridad en dirección contraria; c) el tercer diseño (S-S-D) se realizaba con un seminudo S, seguido de otro seminudo S en dirección contraria, más un tercer seminudo D en dirección contraria.

como por deformación, siendo el rango de funcionamiento de ± 50 mm en deformación, y ± 400 N en fuerza. Dispone de varios juegos distintos de mordazas según las características de la muestra. La mordaza superior es fija, mientras que la mordaza inferior se desplaza mediante un pistón hidráulico conectado a un ordenador que, mediante el software apropiado, realiza la adquisición de los datos del ensayo, tanto de fuerza como de desplazamiento. Se realizaron dos tipos distintos de ensayos:

Ensayos de rotura de los hilos sin ningún tipo de nudo

Con estos ensayos se pretendía estimar las propiedades mecánicas de los distintos tipos de hilos. Para ello se utilizaron mordazas sin ninguna arista que provocara tensiones internas en el material (fig. 2a). Dos poleas permitían el deslizamiento del hilo con escasa fricción, de modo que la deformación producida se repartía homogéneamente en todo el hilo.

Los ensayos consistieron en un estiramiento del hilo a una velocidad de 4 N/s hasta conseguir la rotura del mismo, registrándose la fuerza y la posición de la mordaza móvil en intervalos de 100 ms (10 medidas/s). Se sometieron a prueba los 4 tipos distintos de hilo, de sección (S) $0,028$ mm 2 , realizándose 3 medidas de cada uno de ellos (en total, 12 ensayos). A partir de las fuerzas (F) y desplazamientos medidos, se calcularon, para cada instante, la tensión soportada por el hilo (σ) y la deformación unitaria (ε), según las ecuaciones¹⁰:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Para estos cálculos se descontó, de la fuerza medida, la mostrada inicialmente por la máquina, correspondiente al peso de las mordazas, y se tomó como longitud inicial (l_0) la

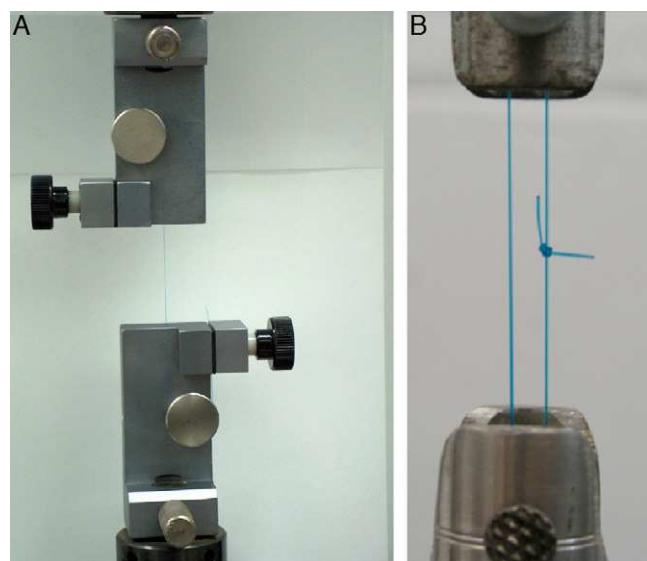


Figura 2 – a) Mordaza para el ensayo de hilos sin nudos; un almohadillado donde se sujetaba el hilo permitía un amordazamiento firme, al tiempo que no se producía ningún daño aparente en el material (creación de fisuras o microgrietas); **b)** mordazas para ensayos de hilos anudados.

correspondiente al instante en el que la fuerza soportada por el hilo comenzaba a aumentar, longitud que en todos los casos era próxima a 210 mm.

En la zona de deformación lineal de la curva fuerza-deformación se calculó la recta de regresión de cada uno de los hilos, cuya pendiente está relacionada con el módulo de elasticidad (E) del material. En cada caso, el valor del módulo se calculó como la media de los 3 ensayos realizados.

Ensayos de hilos con distintos tipos de nudos

También se llevaron a cabo ensayos sobre los mismos hilos anteriores, pero con los distintos diseños de nudos propuestos. Para ello, se tomaron trozos de los hilos y se les hicieron los distintos nudos, abrazando con el hilo un cilindro metálico de 40 mm de diámetro, de modo que el hilo obtenido tenía forma de anillo de longitud 125,6 mm con un nudo. Para ensayar estas muestras se montaron unas mordazas en las que el anillo de hilo quedaba amarrado mediante 2 cilindros sujetos a cada una de las mordazas de la máquina (fig. 2b). Los cilindros eran de diámetro suficiente para no producir en los hilos entalladuras ni grietas aparentes.

Las condiciones de velocidad de estiramiento y registro de fuerza y desplazamiento fueron similares a las de los ensayos anteriormente descritos, para hilos sin nudos. Para cada uno de los 4 hilos analizados, se ensayaron los 3 tipos distintos de nudos descritos, para cada uno de los cuales se realizaron 3 ensayos (en total 36 ensayos).

Como el hilo tenía forma de anillo y por tanto se estaban estirando 2 hilos en cada ensayo, la fuerza realmente soportada por el hilo, una vez descontada la debida al peso de las mordazas, era la mitad de la medida por la máquina, y la deformación de la muestra, el doble del desplazamiento medido.

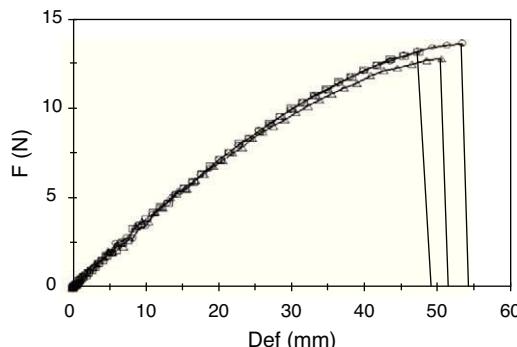


Figura 3 – Ensayo fuerza-deformación para el hilo Ppl-2. Se observa la linealidad del comportamiento del hilo en la zona inicial, hasta que comienza a manifestarse el comportamiento plástico, zona en la que aparecen grandes deformaciones con pequeños incrementos de fuerza.

A partir de la fuerza y desplazamiento medidos, teniendo en cuenta las consideraciones apuntadas y utilizando las ecuaciones de la elasticidad ya utilizadas para los hilos sin nudos¹⁰, se calcularon, para cada instante, las tensiones y deformaciones de las muestras de hilos anudados. Como diferencia entre estas deformaciones de los hilos con nudos y las deformaciones de los hilos sin nudos, se calculó la deformación producida, en cada caso, en el propio nudo.

Ensayos calorimétricos

Para conocer el grado de cristalinidad de los hilos analizados, factor determinante en las propiedades mecánicas, se sometió a los distintos tipos de hilo a ensayos calorimétricos, consistentes en someter a una pequeña cantidad de hilo a un barrido de temperatura, a una velocidad de 10 °C/min desde temperatura ambiente hasta una temperatura superior a la de fusión del material, obtenida de la literatura^{11,12}, con el fin de calcular la entalpía de fusión de la fase cristalina, y a partir de ella, calcular el porcentaje de cristalinidad de la muestra.

Los hilos fabricados a base de nailon se calentaron hasta una temperatura de 250 °C, y los fabricados a base de polipropileno, hasta una temperatura de 190 °C. Las muestras analizadas (entre 1,19 y 1,30 mg de hilo) se introdujeron en una

Tabla 1 – Módulo de elasticidad, fuerza de rotura y deformación de rotura de cada uno de los tipos de hilo ensayados

Hilo	E (MPa)	Fuerza de rotura (N)	Deformación (%)
Ny-1	1.480 ± 120	9,6 ± 0,3	33 ± 3
Ny-2	2.470 ± 110	13,5 ± 0,2	26,2 ± 0,2
Ppl-1	2.860 ± 90	14,5 ± 0,1	23,0 ± 0,3
Ppl-2	2.758 ± 8	13,2 ± 0,3	24,3 ± 1,0

cápsula hermética de 30 µl de capacidad, y a continuación fueron sometidas al barrido de temperatura indicado, en un calorímetro de barrido diferencial PerkinElmer Pyris1 TGA (Shelton, EU).

Resultados

Ensayos de rotura de los hilos sin nudos

Los resultados fueron similares en los 4 hilos analizados, siendo muy pequeña la dispersión obtenida. En la **fig. 3** se muestran los resultados correspondientes a la muestra de hilo Ppl-2. No se detectó deslizamiento del hilo en las mordazas en ninguno de los ensayos. Los valores de los módulos de elasticidad (E) de cada hilo se recogen en la **tabla 1**. Se muestran, también, los valores medios de fuerza y deformación de rotura.

Ensayos mecánicos de los hilos con nudos

Las curvas de deformación en los ensayos de los hilos anudados mostraron, todas, un comportamiento similar. En la **figura 4a** se reproduce la correspondiente al hilo de nailon Ny-1 con nudo D-S-D. Tras una primera etapa de ajuste del nudo, en la que toda la deformación es absorbida por este, se observa cómo se alcanza una segunda zona de plateau (incremento de deformación total de la muestra y de la fuerza sin deformación apreciable del nudo) en la que toda la deformación es debida al estiramiento del hilo, tras la cual se produce la rotura en la zona del nudo (**fig. 4b**). En algunas curvas de fuerza frente al tiempo, y de forma más acusada en el caso del hilo Ny-2, se producían zonas de disminución súbita y posterior recuperación de la fuerza, lo que interpretamos como rotura de alguna parte del nudo durante el ensayo y antes del colapso total.

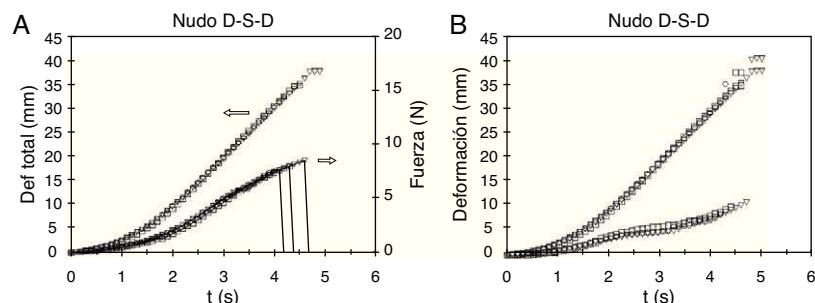


Figura 4 – Ensayo tensión-deformación del hilo Ny-1 con el nudo D-S-D: a) deformación total y fuerza vs tiempo; b) deformación total y deformación del nudo vs tiempo.

Tabla 2 – Fuerza y deformación de rotura de los 4 tipos de hilo estudiados, sin nudo y con cada uno de los nudos ensayados

Hilo	Sin nudo	Nudo D-S-D	Nudo S-S-D	Nudo D-S-S
Ny-1				
Fuerza rotura (N)	9,6 ± 0,3	8,0 ± 0,3	8,0 ± 0,5	6,8 ± 1,0
Deform. rotura (%)	33 ± 3	27,7 ± 2,2	28,9 ± 1,8	24 ± 4
Ny-2				
Fuerza rotura (N)	13,5 ± 0,2	6,1 ± 0,7	9,6 ± 1,4	6,6 ± 0,9
Deform. rotura (%)	26,2 ± 0,2	20 ± 3	21 ± 4	19,7 ± 0,4
Ppl-1				
Fuerza rotura (N)	14,5 ± 0,1	10,7 ± 0,3 ^a	9,5 ± 1,1	10,0 ± 0,2
Deform. rotura (%)	23,0 ± 0,3	19,2 ± 0,3	16 ± 3	17,8 ± 0,3
Ppl-2				
Fuerza rotura (N)	13,2 ± 0,3	10,3 ± 0,3	9,7 ± 0,3	10,1 ± 0,3
Deform. rotura (%)	24,3 ± 1,0	22,3 ± 1,2	20,5 ± 0,8	22,5 ± 2,0

^a Las diferencias de la fuerza de rotura entre los 3 diseños de nudos fueron estadísticamente significativas ($p = 0,028$, Test Anova).

En cambio, en los hilos fabricados a base de polipropileno, a pesar de ser más rígidos (mayor módulo E y mayor cristalinidad), los nudos parecen ajustar de una manera más gradual al aumentar la fuerza, con una rotura repentina del nudo.

La tabla 2 muestra los resultados de las fuerzas y deformaciones de rotura de los hilos sin anudar y de cada diseño de nudo. En todos ellos se observa como el hecho de hacer nudos en los hilos disminuye tanto la fuerza como la deformación de rotura, aunque en cada hilo este efecto sea diferente. En ambos hilos de polipropileno, el nudo que mejor resistencia presenta es el D-S-D, seguido del D-S-S, y el que peor resiste es el S-S-D. En los hilos de nailon, el diseño de nudo que mayor resistencia tiene es, con diferencia, el S-S-D. La disminución en la resistencia a la rotura es similar en ambos hilos (3-4 N), mostrando el hilo Ppl-2 menores deformaciones de rotura.

Ensayos calorimétricos

Las cristalinidades medidas en cada uno de los hilos mediante los ensayos calorimétricos reflejaron que los hilos de nailon presentaron menor cristalinidad (Ny-1, 36,6%; Ny-2, 32,1%) que los de polipropileno (Ppl-1, 44,6%; Ppl-2, 47%).

Discusión

El requisito fundamental que hemos de pedir a cualquier tipo de nudo es su fiabilidad. En nuestro modelo, la realización de al menos 3 nudos consecutivos (de tipo rizo y hechos en sentido contrario) para los hilos de polipropileno y nailon asegura que antes se rompe el material del hilo que se sueltan los nudos. Los resultados obtenidos sugieren que no es necesario realizar más de 3 nudos; a lo sumo, uno más si queremos aumentar el margen de seguridad cuando utilizamos hilos nailon.

En nuestros ensayos, los 2 hilos de polipropileno estudiados mostraron valores prácticamente coincidentes del módulo elástico en los ensayos sin nudos, pero muy superiores (más del doble) a los valores que se refieren en la literatura para polipropileno sin procesar^{10,11}. La deformación de rotura fue

también prácticamente la misma en ambos hilos, pero muy inferior (al menos la mitad) a la referida en la literatura^{10,12}. La cristalinidad de ambos, en cambio, responde a un valor comúnmente citado, 40-50%¹². Este comportamiento es probablemente debido al proceso de hilado y estirado de la fibra, que incrementa el valor del módulo y disminuye la deformación de rotura, hasta alcanzar valores similares a los medidos experimentalmente¹⁰.

Respecto a los hilos fabricados a base de nailon, existe una discrepancia notable en cuanto al módulo de ambos, probablemente debido a un menor estiramiento sufrido por el hilo Ny-1, que le proporciona un módulo más bajo (1.482 frente a 2.474 MPa), pero una mayor deformación de rotura (33 frente al 26%) que al del Ny-2. Este diferente comportamiento queda patente en la forma de la curva tensión-deformación de ambos; el Ny-1 presenta una zona final de plateau característica de una rotura dúctil, mientras que la curva del Ny-2 es característica de un material más frágil. A pesar de ello, la cristalinidad medida de este último es menor que la del primero (32 frente al 36%), discrepancia que es explicada por algunos autores por la disminución de la densidad de la fase cristalina con el estirado¹³. No obstante, los valores medidos son similares a los encontrados en otros trabajos¹⁴.

En los ensayos llevados a cabo sobre hilos con nudos, se constata una disminución tanto en la fuerza como en la deformación de rotura para todos los nudos ensayados. En todos los casos, la rotura del hilo se producía en la zona del nudo, presumiblemente debido a los daños causados al hilo durante el proceso de anudado (microgrietas).

La dispersión hallada en las curvas de fuerza-deformación es probablemente debida a que cada nudo modifica de forma diferente el comportamiento del hilo anudado. El hecho de que los nudos más resistentes sean aquellos en los que primero se hace un nudo doble, nos induce a pensar que este es un parámetro crítico en el modo de anudar, ya que es la parte del nudo que soporta mayores esfuerzos.

En conclusión, los hilos fabricados a base de polipropileno, debido a su alto módulo de elasticidad, resistencia a la rotura, y pequeña deformación, estarían más indicados para suturar tejidos que debieran soportar fuerzas grandes y con poca deformación de la sutura (por ejemplo, tendones). Además, la

realización de un nudo doble en primer lugar parece asegurar una resistencia a la rotura mayor. En cambio, los hilos de nailon, al tener módulos más bajos, estarían más indicados para tejidos que tuvieran que soportar fuerzas más pequeñas y que precisaran de una cierta elasticidad (por ejemplo, la piel). En cuanto a los nudos, el tipo más apropiado depende del hilo utilizado: mientras el nudo D-S-D es el que mayor resistencia presenta con los hilos de polipropileno, el S-S-D es el que, con diferencia, mayor resistencia proporciona con los hilos de nailon.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado gracias al Proyecto CTIDIB/2002/117 de la Generalitat Valenciana-Agencia Valenciana de Ciencia y Tecnología.

B I B L I O G R A F Í A

1. Bennett RG. Selection of wound closure materials. *J Am Acad Dermatol.* 1988;18:619-37.
2. Herrmann JB. Tensile strength and knot security of surgical suture materials. *Am Surg.* 1971;37:209-17.
3. Fong ED, Bartlett AS, Malak S, Anderson IA. Tensile strength of surgical knots in abdominal wound closure. *ANZ J Surg.* 2008;78:164-6.
4. Kim JC, Lee YK, Lim BS, Rhee SH, Yang HC. Comparison of tensile and knot security properties of surgical sutures. *J Mater Sci Mater Med.* 2007;18:2363-9.
5. Tajirian AL, Goldberg DJ. A review of sutures and other skin closure materials. *J Cosmet Laser Ther.* 2010;12:296-302.
6. Postlethwait RW, Willigan DA, Ulin AW. Human tissue reaction to sutures. *Ann Surg.* 1975;181:144-50.
7. Swanson NA, Tromovitch TA. Suture materials, 1980: properties, uses, and abuses. *Int J Dermatol.* 1982;21:373-8.
8. Martínez E, Paz J, editores. *Biomateriales en Cirugía.* Oviedo: Servicio de Publicaciones Universidad de Oviedo. 1998.
9. Trail IA, Powell ES, Noble J. An evaluation of suture materials used in tendon surgery. *J Hand Surg [Br].* 1989;14:422-7.
10. Ward IM, Hadley DW, editores. *An Introduction to the mechanical properties of solid polymers.* West Sussex: John Wiley & Sons. 1993.
11. Gee DR, Melia TP. The effect of ionizing radiation on thermal properties of linear high polymers: Part 2. Nylon-6. *Polymer.* 1970;11:192-7.
12. Alger MS, editor. *Polymer Science Dictionary.* Essex: Elsevier Science Publishers Ltd.. 1989.
13. Turi A, editor. *Thermal characterization of polymer materials.* Orlando: Academic Press. 1981.
14. Más Estellés J. *Comportamiento termomecánico de polímeros amorfos reforzados.* Tesis doctoral. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. 1991.