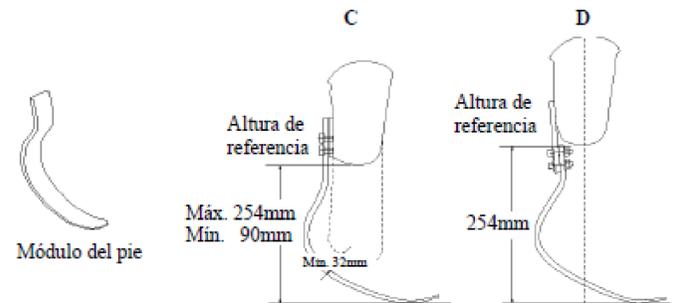


EVALUACIÓN BIOMECÁNICA DE PRÓTESIS DEPORTIVAS

Villar, Juan I.; Sánchez, Valentina



Objetivo.

El precepto de diseño se basa en un análisis de similitud en desempeño entre la pierna sana la cual es tomada como referencia y la que debe alcanzar la prótesis, midiendo en primera instancia las discrepancias en fuerzas transmitidas al piso (GRF-Ground Reaction Force) y retorno energético entre las prótesis elementales de uso diario no aptas para la práctica deportiva y la pierna sana como modelo a alcanzar.

Las principales características que se pretende lograr de una prótesis tipo 'Flex-Foot' son la respuesta elástica lineal, tamaño y proporción apropiada, que deba soportar la carga dinámica y fatiga proporcionada por el corredor transmitiendo al piso igual fuerza y un orden de magnitud de energía similar a la pierna sana.

Intro

En el contexto del "programa Ñandú", trabajamos para el desarrollo de prótesis deportivas en materiales compuestos para atletas amputados transtibiales unilaterales, en la iniciación deportiva y alto rendimiento deportivo en atletismo.

El trabajo abarca diseño y validación de modelos de prótesis, comparación con publicaciones existentes y modelos comerciales, así como la fabricación de piezas protésicas dedicadas adaptadas a los requerimientos de los usuarios en virtud de las evaluaciones antropométricas y biomecánicas efectuadas.

Respuesta elástica

Resorte lineal.
GRF

Mecanismos:

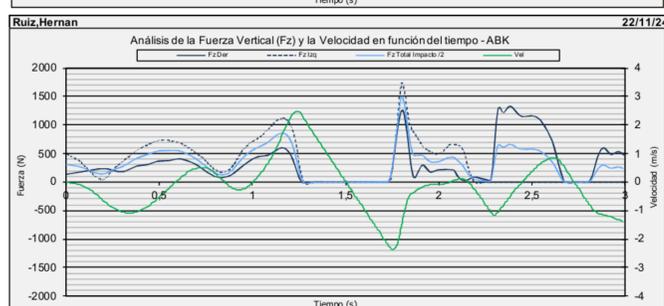
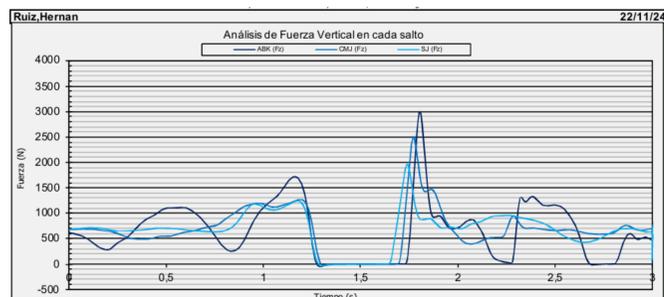
Progresión tibial activa
Energía acumulada de deformación

Modelo de "resorte lineal simplificado" con progresión tibial activa, que lanza la hacia adelante el atleta durante la carrera inherente a la forma de la misma. Al mismo tiempo que el trabajo producido por las fuerzas verticales aplicadas durante la toma de contacto compresión, en la que se almacena energía elástica de deformación, traducirlas en energía cinética de corredor, simultáneamente actúa como resorte torsional debido a su particular forma y responderá de forma equivalente al conjunto de cadena cinemática motriz análoga a la pierna /tobillo de un pierna sana favoreciendo el avance de la tibia (progresión tibial activa) rotando alrededor del punto de apoyo.

Metodología: análisis de similitud en desempeño entre la pierna sana la cual es tomada como referencia y la que debe alcanzar la prótesis.



La evaluación de los candidatos consiste en un protocolo de una batería de saltos sobre una plataforma de fuerzas que censa con una frecuencia de 1000 muestras por segundo y mide en los tres ejes espaciales las magnitudes de desplazamiento, fuerzas, velocidades, potencia y momentos, se registra la actividad del usuario en cada uno de los saltos. De esta manera se busca la fuerza máxima que es capaz de ejercer. El estudio en la plataforma de fuerza no emula el paso de la carrera propiamente dicha y se la considera una estimación inicial. Las dos componentes de fuerzas principales: vertical y de avance, se obtienen de los saltos denominados "Avalakov" y "longitudinal con impulso de brazos".



Referencias

- [1] Grabowski, McGowan, McDermott, Beale. 2009 'Running-specific prostheses limit ground-force during sprinting'.
- [2] Weyand, Bundle, McGowan, Grabowski, 2009. 'The fastest runner on artificial legs: different limbs, similar function?'
- [3] Dyer B1 'An Investigation Into the Measurement and Prediction of Mechanical Stiffness of Lower Limb Prostheses Used for Running', Sewell P, Noroozi S, 2014.
- [4] Hobara H1, Potthast W, Müller R, Kobayashi Y, Heldoorn TA, Mochimaru M 2015. 'Normative Spatiotemporal Parameters During 100-m Sprints in Amputee Sprinters Using Running-Specific Prostheses'.
- [5] Dyer B1 'Sprint prostheses used at the Paralympics: a proposal for an assessment method to maintain fairness', Sewell P, Noroozi S, Redwood S, Broomfield S, Callaway A 2012.
- [6] Dyer B1 'Sprinting with an amputation: Some race-based lower-limb step observations', Noroozi S2, Sewell P2, 2015.
- [7] McGowan CP1, Grabowski AM, McDermott WJ, Herr HM, Kram R, 2012. 'Leg stiffness of sprinters using running-specific prostheses'.

S	P	FASE PRE-VUELO			SALTO			FASE POST-VUELO					
		Fuerza Máxima (N)	Tiempo Aplicación Fuerza Máxima (s)	Deficit Lateral Fuerza Máxima (%)	Índice Condy Elastic.	Tiempo Vuelo (s)	Altura (m)	Fuerza Máxima (N)	Tiempo Aplicación Fuerza Máxima (s)	Deficit Lateral Fuerza Máxima (%)			
ABK	DER	604,7	-0,105	1721,3	84,64	0,29	0,467	0,267	1331,7	0,648	3070,8	30,59	---
	IZQ	1116,6	-0,115	---	---								
CMJ	DER	499,4	-0,369	1356,3	71,58	0,13	0,411	0,208	774,7	0,061	2543,2	128,29	---
	IZQ	856,9	-0,100	---	---								
SJ	DER	578,3	-0,325	1395,1	41,25	---	0,387	0,184	395,9	1,119	1990,6	302,81	---
	IZQ	816,8	-0,099	---	---								

Halladas las fuerzas puestas en juego, definida la respuesta de la prótesis, GRF, energía acumulada y potencia así como fase de vuelo y velocidad, pueden observarse la gran discrepancia existente entre la pierna sana aquella que ofrece los mayores valores pico así como un doble lóbulo en las respuestas producto de la asimetría y compensaciones que aparecen visibles en las curvas de fuerza relevadas en la cual no solo la pierna sana supera ampliamente a la pierna con prótesis deportiva comercial sino que llega en algún tipo de salto hasta doblar su valor pico cuestionando el presupuesto de la similitud entre ambos miembros.

Durante un carrera de sprint solo una de las piernas las piernas toman contacto con el piso a frecuencias regulares alternadas por fases de vuelo aéreas.

Resultados y Discusión :

Es esperable que el atleta durante la caída se sienta más seguro al confiar su peso sobre mayormente en la pierna sana que sobre la prótesis.

Esta sutil diferencia es la que originalmente pudo haber establecido un valor diferencial de fuerza entre piernas distinto al necesario, que redundó originalmente en una prótesis demasiado flexible.

• Alternativa a las pruebas de campo

Buscando recuperar la respuesta de la prótesis sin un sesgo evidente por parte del atleta al confiar en su pie sano ensayamos una nueva batería de saltos desde plataforma son caída a distintas alturas para ver la respuesta de la prótesis y su comparación con los valores establecidos para los protocolos previos, y la linealidad de la respuesta con la altura



Cambio de protocolo y comparación con valores previos: lo obtenido para el salto desde plataforma muestra que en las fuerzas, tiene no solo un mismo orden de magnitud, sino valores comparables para fuerza exhibida por la prótesis y la pierna sana.

Salto	ΔE (%)	E acu der(J)	E acu izq(J)2	Fzder_max(N)	Fzizq_max(N)
ABK	87,36	23,45	185,51	1739	1332
CMJ	38,93	54,91	89,90	1768	775
SJ	43,63	42,59	75,56	1594	578
RJ	-24,18	199,14	160,37	1787	1681
30cm	-	199,14	160,37	1787	1681
40cm	-	468,05	82,62	1357	1188

Como se observa el comportamiento en el ensayo es lineal lo cual permite calcular la rigidez del conjunto y así contar con un parámetro de diseño posterior.

La energía absorbida por la pieza, (E) que se obtiene mediante la integración temporal de la potencia dada por el producto de la velocidad y las fuerzas nos permite estimar, la rigidez de la pieza a fabricar, habiendo hallado previamente la deformación mediante un análisis de video.

La E energía elástica almacenada a nivel macroscópico, $F_n =$ Fuerza aplicada, y $\delta =$ desplazamiento queda: $E = \int F_n * d\delta = \frac{1}{2} K_n \delta^2$, donde $K_n = \frac{F_n}{\delta}$

K_n contante elástica en dirección de aplicación de la carga para la pieza La energía interna acumulada por el mismo efecto dada por la relación:

$$U = \frac{1}{2} \epsilon \cdot C \epsilon \approx \frac{1}{2} K_n \delta^2$$

Conclusiones.

- ✓ El protocolo original si bien es basado en la similitud estableció un valor diferencial de fuerza entre piernas distinto al necesario, redundando en una prótesis demasiado flexible (Cota inferior).
- ✓ En la carrera de sprint existe una toma alternativa de contacto no ofrece otra posibilidad que la de confiarse a la prótesis en una toma individual de contacto con el suelo y es válido pensar que para la mecánica de carrera hay un alto grado de similitud entre el miembro no afectado y la prótesis deportiva.
- ✓ El cambio de protocolo recupera valores mas reales y similares a las pruebas de campo.

