

Monograph

Efectos de la Energía Cinética sobre el Trabajo Isocinético Concéntrico y Excéntrico

Brian Boggess¹, Jeff Moffit², Jacobo Morales³ y Tim Anderson³

¹California Department of Corrections Southern Testing Center, Rancho Cucamonga, CA, USA.

²California State University, Bakersfield, Bakersfield, CA, USA.

³California State University, Fresno, Fresno, CA, USA.

RESUMEN

El presente estudio examinó los efectos inerciales del trabajo producido durante contracciones isocinéticas concéntricas en el ejercicio de extensión de rodillas y durante contracciones isocinéticas excéntricas en el ejercicio de flexión de rodillas. El trabajo total (W_{total}) incluyó el trabajo debido a la energía cinética (W_{kin}), con respecto a la gravedad (W_{grav}) y contra el dinamómetro (W_{dyn}). Dieciocho sujetos con experiencia en el entrenamiento de sobrecarga (9 hombres, 9 mujeres) realizaron contracciones voluntarias máximas concéntricas (90, 150, 210 y 270 grados/segundo) y excéntricas (-150, -90 y -30 grados/s) con la pierna dominante. Se evaluaron las diferencias entre los diferentes tipos de trabajo medidos (WMT), i.e., trabajo corregido por la gravedad y W_{total} . El análisis de varianza ANOVA ($2 \text{ WMT} \times 2 \text{ modos} \times 2 \text{ sexos} \times 4 \text{ velocidades}$) reveló efectos principales singificativos ($p < 0.05$) para ambos factores concéntricos pero solo para el WMT excéntrico. Se concluyó que el efecto de la energía cinética durante la realización de extensiones isocinéticas de rodilla puede provocar diferencias en las mediciones donde el error asociado (K_{err}) se incrementa significativamente con el incremento de la velocidad concéntrica y se reduce con el incremento de la velocidad excéntrica.

Palabras Clave: energía cinética, error cinético, tipo de trabajo medido

INTRODUCCION

El trabajo Isocinético se define como el área bajo la curva del torque versus la curva del desplazamiento angular (Kannus, 1992; 1994). Las mediciones del torque isocinético reflejan solo el medido contra la resistencia del dinamómetro (rango de carga) luego de que se ha alcanzado la velocidad preestablecida (Brown et al., 1995, Findley et al., 2006). Se debe utilizar un mayor torque (y por lo tanto se debe realizar más trabajo) para acelerar la extremidad y la palanca del dinamómetro hasta alcanzar la velocidad angular prescrita (e.g., extensión concéntrica de la rodilla) o para controlar la extremidad y la palanca (e.g., flexión excéntrica de la rodilla) contra la gravedad. Por lo tanto, la capacidad del dinamómetro para registrar la dinámica de la cinética muscular durante un esfuerzo isocinético completo es algo limitada (Iossifidou and Balzopoulos, 1998; 2000) debido a su insensibilidad para registrar el torque durante la aceleración, o tasa de desarrollo de velocidad, que ocurre durante el rango inicial de movimiento (ROM).

Para contabilizar los componentes del trabajo no reportados por el dinamómetro, el trabajo total (W_{Total}) debe ser expresado como una función del trabajo necesario para alcanzar la velocidad angular especificada (energía cinética) y el trabajo con

respecto a la gravedad. Esta producción inicial de trabajo contra las propiedades inerciales de la extremidad y del brazo de palanca es más evidente a mayores velocidades concéntricas y con frecuencia está caracterizado por un retraso en la aplicación de torque contra la resistencia del dinamómetro (Winter et al., 1981; Olmo and Castilla, 2005; Findley et al., 2006).

Cuando se comparan los requerimientos inerciales para acelerar (contracción concéntrica) o controlar (acción excéntrica) el sistema a una velocidad específica, el W_{total} difiere entre estas condiciones. La energía cinética durante la realización de acciones isocinéticas excéntricas no es un factor a vencer por el esfuerzo muscular; sino que la gravedad y el movimiento provisto por el dinamómetro serán los responsables de alcanzar la energía cinética (Iossifidou and Baltzopoulos, 1996). La actividad muscular es necesaria para asegurar que la extremidad descienda a la velocidad especificada, ya que el dinamómetro no es sensible a las mediciones del torque o al trabajo necesario para este control.

Además, el efecto de confusión que la gravedad tiene sobre las mediciones del torque isocinético ha sido tradicionalmente tratado adicionando el torque debido a la gravedad a un sistema en donde el desplazamiento requiere de un movimiento contra la gravedad, y sustrayendo el torque debido a la gravedad a un sistema en donde la gravedad asiste al desplazamiento (Nelson and Duncan, 1983). Los dinamómetros modernos cuentan con programas que tienen la opción de corregir el efecto de la gravedad; sin embargo, la corrección estándar solo considera el efecto de la gravedad sobre el torque debido a la posición de la extremidad y del brazo de palanca y es insensible a la cantidad de trabajo que debe generarse contra las propiedades inerciales de la extremidad y de la palanca a diferentes velocidades angulares y en diferentes modos de contracción (Kellis and Baltzopoulos, 1996).

Debido a que la simple corrección por la gravedad puede ser inadecuada, una descripción más completa del esfuerzo muscular durante una contracción isocinética debería incluir la energía cinética (KE). Cuando se aplica a las condiciones de la dinamometría isocinética, el cálculo de la KE debe incluir los valores de la inercia tanto de la extremidad como del brazo de palanca y de la velocidad angular a la cual el sistema será acelerado. Por lo tanto, la inclusión de los componentes de la KE permitirá la valoración del trabajo adicional requerido durante la realización de acciones isocinéticas.

Por lo tanto, el propósito de esta investigación fue valorar el trabajo total producido (W_{Total}) durante acciones isocinéticas concéntricas y excéntricas de los extensores de la rodilla, considerando el trabajo requerido para superar la inercia y el peso del sistema extremidad - brazo de palanca. Además, el W_{total} estimado fue comparado con el trabajo cinético (W_{kin}) para determinar el grado de error cinético (K_{err}) relacionado con el tipo de movimiento, la velocidad de contracción y el sexo.

MÉTODOS

Todas las mediciones del torque isocinético y del trabajo producido fueron llevadas a cabo en un dinamómetro Biodex System 2 (Biodex Corp., Shirley, NY), el cual ha mostrado ser un dispositivo isocinético confiable (Brown et al., 1993; 2005). Los participantes incluyeron 9 hombres (edad: 25.4 ± 5.3 años, talla: 1.77 ± 0.06 metros, masa corporal: 85.9 ± 15.1 kg) y 9 mujeres (edad: 22.8 ± 5.3 años, talla: 1.69 ± 0.09 metros, masa corporal: 65.4 ± 10.0 kg). Ninguno de los participantes tenía historia de lesiones musculoesqueléticas o patologías en la articulación de la rodilla. Todos los sujetos tenían al menos 6 meses de experiencia en entrenamiento con sobrecarga y todos estaban realizando un programa de entrenamiento de la fuerza al momento del estudio. Todos los sujetos dieron su consentimiento informado por escrito de acuerdo con las exigencias del Comité para la Protección de Sujetos Humanos de la Universidad Estatal de California, Fresno.

La familiarización con el dinamómetro Biodex y el registro de las mediciones antropométricas se llevaron a cabo durante la primera visita al laboratorio. En la subsiguiente visita, se llevó a cabo la recolección de los datos de la fuerza isocinética máxima incluidos en los análisis estadísticos. Los sujetos (sin calzado) se sentaron en el dinamómetro y fueron sujetos utilizando correas suministradas por el fabricante a la vez que se alineaba el eje del dinamómetro con los epicóndilos femorales. La longitud del brazo de palanca fue ajustada con una precisión de media pulgada de manera que la almohadilla que hacía contacto con la tibia y la correa hicieran contacto lo más próximo al maléolo medial, pero con una suficiente distancia como para permitir el mantenimiento de una posición neutral del tobillo.

Las mediciones de las propiedades físicas del brazo de palanca del dinamómetro Biodex separada de la cabeza de potencia incluyeron la medición de la masa mediante una balanza de brazos (*W.M. Welch Manufacturing, Chicago, IL*) y la medición del período de oscilación mediante la utilización de un sensor fotoeléctrico (Pasco Scientific Model ME-9215A, Roseville, CA). El dispositivo Biodex también sirvió como el instrumento para la medición del momento del brazo de palanca. Para estimar el momento de inercia segmental se midió la longitud y la circunferencia de la pantorrilla y del pie (Yeadon and Morlock, 1989; Plagenhoef et al., 1983).

Las velocidades utilizadas durante la evaluación incluyeron, velocidades de contracción concéntrica de 90, 150, 210 y 270 grados/s y velocidades de contracción excéntrica de -150, -90, y -30 grados/s. A partir de los resultados de un estudio piloto se determinó que los participantes podrían exceder el torque excéntrico límite. Por lo tanto, las velocidades de contracción excéntrica en las cuales los participantes del presente estudio fueron capaces de alcanzar su torque límite no fueron influidas en los análisis de los datos debido a que no se ajustan a la condición de isocinético. La amortiguación de la aceleración al final del rango de movimiento fue colocada en la posición “duro” (cero) para maximizar la porción de movimiento que continúa siendo isocinética (Iossifidou and Baltzopoulos, 1996).

La posición inicial para los tests de contracción concéntrica fue seleccionada como el punto en que la extremidad y la palanca estuvieran en reposo con la musculatura del muslo y la pierna relajados, formando un punto en el cual no se producía torque neto sobre el sistema. No se controló el ángulo articular y por lo tanto no fue medido, aunque este se aproximó a los 90 grados. El rango final de movimiento concéntrico para cada participante fue definido como el punto en el cual la rodilla se aproximaba la extensión completa. El desplazamiento angular medio del brazo de palanca registrado por el dispositivo Biodex durante los tests de contracción concéntrica fue de 70.7 (\pm 4.2) grados. Para facilitar el retorno de la extremidad a la posición inicial, se estableció que la velocidad en la dirección opuesta (flexión) fuera de 180 grados/s. El desplazamiento angular del brazo de palanca durante los tests de contracción excéntrica fue estandarizado a 60 grados para todos los participantes. Este ROM fue elegido conjuntamente con una posición inicial deliberadamente corta de extensión (cero grados de flexión) debido a que el dispositivo Biodex requiere del esfuerzo voluntario (torque de activación) para inicial el desplazamiento en el modo excéntrico.

Durante la preparación para cada diferente velocidad de evaluación concéntrica y excéntrica, cada participante realizó dos esfuerzos submáximos, para los cuales se utilizó una intensidad del 80% y 90% del esfuerzo voluntario máximo. Se realizó una pausa de 30 segundos entre las contracciones de preparación y el inicio de las tres pruebas secuenciales de esfuerzo máximo. Para cada velocidad de evaluación, se registró el mayor valor del trabajo realizado en una repetición (entre las tres repeticiones), el cual fue utilizado en los análisis de los datos. Para minimizar los efectos de la fatiga, el orden de las velocidades fue aleatorio y se realizó una pausa de un minuto entre el final de una prueba y el comienzo de la siguiente (and Tesch, 1989; Griffin et al., 1993). Debido a que los esfuerzos excéntricos podrían afectar la realización subsiguiente de contracciones concéntricas máximas, las evaluaciones concéntricas precedieron a las evaluaciones excéntricas (Koutedakis et al., 1995; Mohtadi et al., 1990; Poulin et al., 1992; Rizzardo et al., 1988).

El movimiento de la extremidad fue estimado a partir de los parámetros propuestos por Plagnhoef et al (1983). La masa del brazo de palanca (2.69 kg) fue determinada utilizando una balanza de brazos. El centro de masa del brazo de palanca fue determinado haciéndolo balancear sobre una cuña a cada una de las longitudes utilizadas en las sesiones de recolección de datos. La posición de equilibrio en relación al eje de rotación fue registrada para cada longitud. Para cada participante, se calculó el trabajo del sistema extremidad-palanca con respecto a la gravedad utilizando la siguiente ecuación:

$$W_{\text{grav}} = mgr_T (1 - \cos\Theta) \quad (1)$$

Donde m es la masa del sistema (pantorrilla, pie y brazo de palanca), g es la aceleración debida a la gravedad, r_T es la distancia desde el eje de rotación al centro de masa del sistema (i.e., el radio total de rotación del sistema), y Θ es el ángulo de desplazamiento desde la vertical (donde el torque neto es igual a cero).

El radio de rotación del sistema (r_T) fue determinado construyendo un modelo geométrico de acuerdo con la posición de cada componente (pantorrilla, pie y brazo de palanca) en el plano de movimiento. Se consideró que los centros de masa del brazo de palanca se encontraban en la misma línea dentro del plano de movimiento, debido a que los ejes de cada uno estaban casi paralelos cuando la pierna era asegurada a la almohadilla distal con la correa.

La determinación de la energía cinética asociada con el sistema extremidad-palanca depende del momento de inercia total del sistema (la suma de los momentos de la pantorrilla, pie y palanca) y del cuadrado de la velocidad isocinética preestablecida: $KE = \frac{1}{2}I\omega^2$. Los valores de I para los segmentos de la extremidad fueron estimados; mientras que, los valores de I del brazo de palanca fueron determinados experimentalmente. Debido a que el momento de inercia de un cuerpo en rotación depende de la distribución de la masa y de su distancia al eje de rotación, la determinación del momento de inercia (I) para un objeto complejo implica la suma del producto de porciones diferentes de la masa total en relación con el cuadrado de la distancia al eje de rotación (Sternheim and Kane, 1991). Debido a que cada incremento en la masa (m) se produce a una cierta distancia (r) del eje, entonces el momento de inercia se determinó mediante la integral:

$$I = \int r^2 dm$$

Se utilizó un método alternativo para determinar el momento de inercia de un cuerpo rígido, midiendo su momento y el período de oscilación: $I = T^2M / 4\pi^2$ (Tipler, 1991) donde T es el período de oscilación y M es el momento. Para cada longitud del brazo de palanca utilizado en el presente estudio, el período de oscilación fue determinado con un cronómetro

fotoeléctrico y el momento fue determinado con el dinamómetro Biodéx en modo "Isométrico" y con el brazo de palanca en posición horizontal.

Al sustituir las variables de la energía cinética y la energía potencia en la expresión para el W_{Total} el trabajo total en cada condición experimental fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$W_{total} = mgr_T(1-\cos\Theta) \pm \frac{1}{2}[(T^2M / 4\pi^2) + I_{limb}]\omega^2 + W_{dyn} \quad (2)$$

Donde m , r_T y I_{limb} (el momento de inercia estimado para la extremidad) dependieron de las características de los participantes, Θ dependió del modo y posicionamiento del participante; T y M dependieron de la longitud del brazo de palanca; y ω fue preestablecido por el dinamómetro. Dependiendo de si la condición era concéntrica o excéntrica, el W_{kin} (término del medio) fue adicionado o sustraído del W_{grav} (primer término), respectivamente.

Debido a que los parámetros isocinéticos con frecuencia son reportados en relación al factor de corrección para la influencia de la gravedad, el trabajo estándar (W_{std}) se definió como la suma de W_{grav} y el registrado por el dinamómetro (W_{dyn}). El W_{total} fue utilizado en la definición de dos otros parámetros empleados en este estudio: el error cinético (K_{err}) y el tipo de trabajo medido (WMT). El error cinético fue definido como el cociente W_{kin}/W_{total} y representó la proporción del trabajo total sobre o subestimado cuando no se considera el W_{kin} . El W_{total} en combinación con el W_{std} , comprendieron el WMT y fueron comparados para identificar diferencias entre estos dos tipos de medición.

RESULTADOS

El tipo de trabajo medido (ver Tabla 1) expresado como la producción media de los trabajos medidos (W_{Total} , W_{std} y W_{dyn}) a diferentes velocidades en hombres y mujeres se muestra en las Figuras 1 y 2, respectivamente. Si bien los análisis estadísticos del tipo de trabajo incluyeron solo el W_{total} y el W_{std} ; el W_{dyn} aparece en la Figura como referencia a la cantidad de trabajo no corregido del dinamómetro. Se utilizó el análisis de varianza ANOVA de 4 vías (2 WMT \times 2 modos \times 2 sexos \times 4 velocidades) para determinar las interacciones que involucran al modo de contracción y al sexo. Para los tests concéntricos, se hallaron efectos significativos e interacciones significativas ($p < 0.05$) tanto en hombres como en mujeres. Los análisis del trabajo excéntrico revelaron un efecto principal significativo ($p < 0.05$) solo para el WMT y una interacción significativa ($p < 0.05$) para ambos sexos. Se realizó la comparación de las mediciones de los distintos tipos de trabajo en ambos sexos para determinar si el método para reportar el trabajo producido, introducía alguna diferencia significativa entre las mediciones del trabajo a velocidades individuales. El análisis de varianza ANOVA de tres vías (2 WMT \times 2 sexos \times 4 velocidades) mostró diferencias significativas ($p < 0.005$) para todas las mediciones apareadas de los tipos de trabajo a todas las velocidades y para ambos sexos, excepto a las menores velocidades (30 grados/s excéntrico y 90 grados/s concéntrico) entre los sexos ($p > 0.05$). El cambio en la producción de trabajo, el cual fue introducido adicionando W_{kin} al W_{std} , se incrementó con el incremento en la velocidad angular concéntrica. Respecto de las contracciones excéntricas, se observó la tendencia opuesta, donde las diferencias fueron negativas y se redujeron con el incremento en la velocidad.

El error cinético (K_{err}) fue definido como el cociente W_{kin}/W_{Total} . La estadística descriptiva para esta variable, expresada como porcentaje, se muestra en la Tabla 2. El análisis de varianza ANOVA de dos vías (sexo \times velocidad) para los datos de los tests concéntricos y excéntricos mostró que todos los efectos principales y las interacciones fueron significativas ($p < 0.05$). Para los tests concéntricos, el Test de Rangos Múltiples de Duncan indicó que hubo diferencias significativas entre los sexos ($p < 0.05$) solo a las dos velocidades más altas (210 y 270 grados/s). Para los tests excéntricos, se observó una diferencia significativa entre los sexos solo a la mayor velocidad (150 grados/s). Además, las comparaciones *post hoc* mostraron que el K_{err} se incrementó significativamente ($p < 0.05$) con el incremento de la velocidad en ambos sexos.

La magnitud de las diferencias entre las velocidades es notable. Como se muestra en la Tabla 1, las diferencias debido al W_{kin} a las menores velocidades fueron marginales. Sin embargo, a la mayor velocidad de contracción concéntrica (270 grados/s), la diferencia porcentual fue, en promedio, del 6.2% para los hombres y del 9.1% para las mujeres. Esta tendencia es consistente con la presencia de interacciones significativas (WMT por velocidad) dentro de ambos modos de contracción y entre los sexos, ya que las diferencias en las mediciones del trabajo no fueron equivalentes entre las velocidades. La explicación más directa de esta relación, en donde la proporción de W_{kin} comparada con el W_{total} se incrementa con el incremento de la velocidad, se relaciona con: (a) el hecho de que el W_{kin} es proporcional al cuadrado de la velocidad angular y (b) la tendencia del W_{dyn} a ser inversamente proporcional a la velocidad concéntrica.

La comparación directa entre los modos de contracción concéntrico y excéntrico en el presente estudio no fue apropiada por las siguientes cuatro razones: (a) el rango de velocidades evaluado no fue el mismo, (b) los rangos de movimiento

fueron definidos en forma diferente, (c) las acciones excéntricas requirieron de una fuerza de activación previa al movimiento, y (d) el rol de los cambios en el W_{kin} entre los modos de contracción para la determinación del W_{Total} . La máxima velocidad excéntrica disponible en el dispositivo Biodex y utilizada en el presente estudio fue -150 grados/s. Debido a que tuvimos la intención de explorar velocidades concéntricas más allá de este límite de velocidad excéntrica, las velocidades entre los modos de contracciones no se pudieron aparear entre los espectros de velocidad examinados. Se seleccionaron diferentes rangos de movimiento debido a la forma de operación del Biodex con cada modo de contracción. Además, el requerimiento de una fuerza de activación durante los movimientos excéntricos pudo haber introducido condiciones de evaluación diferentes entre los modos de contracción. Se ha reportado que el torque promedio se incrementa con el incremento de la fuerza de activación conjuntamente con una tendencia a hacia mayores efectos durante acciones excéntricas a altas velocidades (Kramer et al., 1991). En el presente estudio, el efecto combinado del ROM y de la fuerza de activación pudo haber provocado condiciones diferentes para realizar trabajo entre los diferentes modos de contracción. Por lo tanto, el análisis de los modos se realizó en forma diferencial.

	Velocidad Angular (grados/s)						
	Excéntrico			Concéntrico			
	-150	-90	-30	90	150	210	270
Hombres (J)							
Media	-2.30	-0.80	-0.10	0.70	2.50	4.90	8.00
DE	0.21	0.52	0.04	0.15	0.42	0.83	1.37
%	1.0	0.4	0.0	0.5	1.5	3.3	6.2
Mujeres (J)							
Media	-2.00	-0.70	-0.10	0.70	2.00	3.90	6.40
DE	0.55	0.20	0.02	0.19	0.55	1.07	1.77
%	1.5	0.5	0.1	0.6	2.0	4.8	9.1

Tabla 1. Efecto del W_{kin} sobre el W_{total} expresado como la diferencia media entre el W_{total} y el W_{std} y el porcentaje de cambio entre el W_{std} y el W_{Total} .

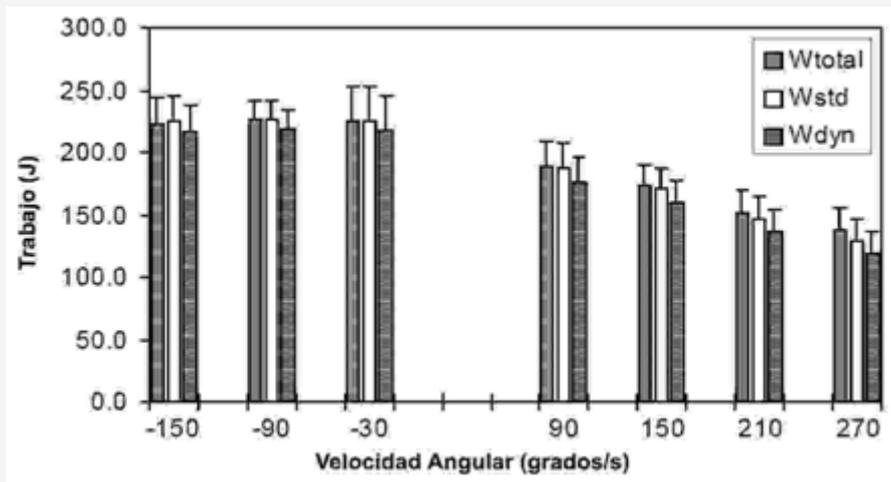


Figura 1. Mediciones medias del trabajo en los hombres.

Debido a la inhabilidad para recolectar datos de contracción excéntrica en todos los participantes varones, los análisis estadísticos relacionados pudieron no tener la robustez de los análisis llevados a cabo con los datos de los tests concéntricos. Esto no estuvo relacionado con ninguna limitación por parte de los participantes. Por el contrario, 3 de los hombres tuvieron la suficiente fuerza como para sobrepasar el torque excéntrico límite del dinamómetro Biodex. Si se hubiera seleccionado otra población con dimensiones antropométricas medias similares pero con una menor fuerza de extensión de rodillas isocinética (no entrenados en la fuerza), la magnitud de la diferencia entre el trabajo isocinético total

y el trabajo isocinético estándar podría haber sido mayor.

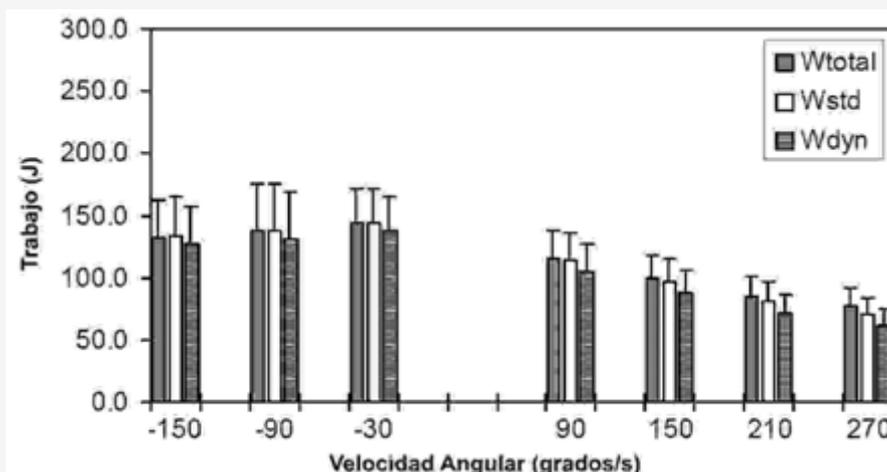


Figura 2. Mediciones medias del trabajo en las mujeres.

	Velocidad Angular (grados/s)						
	Excéntrico			Concéntrico			
	-150	-90	-30	90	150	210	270
Hombres (J)							
Media	1.050	0.370	0.040	0.480	0.440	3.220	5.930
DE	0.130	0.025	0.005	0.104	0.258	0.551	1.327
Mujeres (J)							
Media	1.530	0.550	0.060	0.630	2.010	4.560	8.420
DE	0.380	0.212	0.019	0.159	0.402	0.999	1.761

Tabla 3. Magnitud del error cinético (K_{err}) expresado como porcentaje y calculado como el cociente entre W_{kin}/W_{Total} .

La regla estándar para la corrección por la gravedad durante la realización de contracciones isocinéticas excéntricas es la misma que para la realización de contracciones concéntricas: el efecto de la gravedad se sustrae en donde la gravedad asiste al movimiento y se adiciona en donde la gravedad se opone al movimiento (Kramer et al., 1991; Westing and Seger, 1989). Por lo tanto, para la extensión de rodillas isocinética concéntrica y excéntrica, el exceso de torque (y trabajo) provisto por la aceleración de la gravedad se adiciona al resultado medido por el dinamómetro. Sin embargo, debido a que la energía potencial de la extremidad se transforma en KE en respuesta a la fuerza de gravedad durante la extensión excéntrica de la rodilla (en oposición a ser generada por el sujeto durante la extensión concéntrica de la rodilla), la atribución de todo el trabajo representado por la PE del sistema para realizar la corrección por la gravedad no es una forma precisa de hacerlo. Debido a que la cantidad de trabajo requerido para el descenso excéntrico controlado es la energía potencial, la cual es menor que la energía cinética ($PE - KE$), los movimientos a mayor velocidad requerirán menos trabajo para controlar el sistema (ver Ecuación). Cuando la KE del sistema igual la PE inicial, no se requiere trabajo para controlar el descenso; y en este caso, $W_{total} = W_{dyn}$. La velocidad angular final a la cual ocurre esto, depende del momento del sistema extremidad-palanca y de su energía potencial al inicio del movimiento.

DISCUSION

El aislamiento de la energía cinética (W_{kin}) como un componente distintivo del trabajo total (W_{Total}) durante una evaluación

isocinética es una característica particular del presente estudio. Además, en la presente investigación, se introdujeron dos factores que no han sido tratados previamente durante la valoración del trabajo isocinético: (a) el rol de la energía cinética del sistema durante contracciones isocinéticas excéntricas, y (b) el análisis de los efectos cinéticos sobre las mediciones del trabajo a diferentes velocidades y por diferentes sexos. En el presente estudio se contrastaron el W_{std} y el W_{total} (WMT) medidos durante la realización de tests isocinéticos concéntricos y excéntricos. Además se realizaron comparaciones W_{std} para determinar si la inclusión de la KE en el cálculo del W_{total} cambiaba significativamente el valor del trabajo medio realizado con diferentes velocidades isocinéticas.

Para determinar el error inducido al ignorar el trabajo cinético, se calculó el error cinético (K_{err}) como el cociente W_{kin}/W_{total} (ver Tabla 2). Este error fue significativo a través del rango de velocidades y entre los sexos tanto para las contracciones concéntricas como para las contracciones excéntricas ($p<0.05$). Chen et al (1994) reportaron hallazgos similares en su análisis del trabajo concéntrico. Además, los resultados del presente estudio indicaron que 25 de las 28 comparaciones apareadas de los errores, en el rango de velocidades concéntricas, fueron significativas ($p<0.05$), mientras que en el rango de velocidades excéntricas, 13 de los 15 contrastes fueron significativos ($p<0.05$). Las comparaciones del K_{err} entre los sexos fueron significativas a las mayores velocidades, pero no a las velocidades más bajas, lo cual es consistente con la interacción entre la velocidad y el sexo revelada por el análisis de varianza ANOVA. Dichas comparaciones no fueron reportadas en el estudio de Chen et al (1994).

Si bien la definición del W_{kin} en el presente estudio difirió de la definición de trabajo de aceleración establecida en el estudio de Chen et al (1994), ambas definiciones incluyen la medición del trabajo completado fuera de condiciones isocinéticas. Tal como lo presentaron Chen et al (1994), es evidente que el trabajo realizado durante la aceleración del sistema extremidad-palanca hasta alcanzar la velocidad isocinética preestablecida, debe también incluir la porción de trabajo realizado con respecto a la gravedad durante este período. En el presente estudio, no se definió el trabajo de aceleración, sino que en cambio, esta porción de trabajo estuvo representada por el término energía potencial en el cálculo del W_{Total} , el cual incluyó el trabajo contra la gravedad a través de todo el ROM. En el presente estudio se contabilizó el cambio en el momento de inercia mediante el incremento en la longitud del brazo de palanca. El rango total de momento de inercia del brazo de palanca utilizado en este estudio fue de 0.178 a 0.285 $kg \cdot m^2$ (posición del brazo de palanca de 11.5 a 15 pulgadas). Chen et al (1994) reportaron que el momento de inercia del brazo de palanca de un dispositivo Cybex II era de 0.162 $kg \cdot m^2$, el cual fue estimado utilizando un modelo de formas regulares tales como barras rectangulares y cilíndricas. Sin embargo, no se dieron detalles que indicaran si se consideraron los cambios por participante en la longitud del brazo de palanca. Debido a que las dimensiones de estos accesorios varían entre los diferentes fabricantes, las diferencias en los rangos del momento de inercia pueden afectar la cantidad de trabajo necesario para acelerarlos.

Una consideración final en el cálculo del W_{total} es el método utilizado para estimar los parámetros segmentales de la extremidad para determinar el W_{kin} y la energía potencial. En el presente estudio se utilizaron ecuaciones de regresión en base a datos cadavéricos reportados por Yeadon y Morlock (1989), los cuales deberían ser válidos para diferentes poblaciones, siempre que la distribución segmental de la masa sea similar. En contraste, Chen et al (1994) utilizaron lo que denominaron como el momento de inercia centroidal transversal (*transverse centroidal moment of inertia*). Estos centros de masa segmentales también fueron derivados de diferentes fuentes. Mientras que en el presente estudio se utilizaron datos provistos por Plagenhoef et al (1983), en el estudio de Chen et al, se utilizaron datos de otra fuente (Miller and Nelson, 1976). La falta de evidencia publicada referente al error de excluir la energía cinética en el cálculo del trabajo excéntrico total, hace que el conocimiento acerca de este componente de la acción muscular sea incompleto.

En vista de las recientes investigaciones acerca de la tasa de desarrollo de la velocidad, del rango de carga y de la expresión de la potencia, el cálculo del trabajo total en todo el ROM realizado en el presente estudio hace que el mismo sea inédito. El rango de carga ha mostrado reducirse a medida que se incrementa la velocidad de contracción concéntrica en la extensión de rodillas, en tan poco como un 3.9% a 60 grados/s y hasta en un 78% a 450 grados/s, cuando fue medida en hombres (Brown et al., 1995). En el mismo estudio las mujeres exhibieron una reducción en el rango de carga desde el 95.9% a 60 grados/s hasta 0% a 450 grados/s. Taylor et al (1991) hallaron una reducción en el rango de carga desde 64.6% a 240 grados/s hasta el 27% a 400 grados/s durante contracciones concéntricas. Asimismo, Wilk et al (1994) hallaron una reducción en el rango de torque desde el 87% a 180 grados/s hasta el 19% a 450 grados/s durante contracciones concéntricas. Aunque el trabajo concéntrico no fue el foco de ninguna de estas investigaciones, el grado en el cual se redujo el rango de carga, en oposición al grado de incremento en el ROM durante la RVD a las velocidades utilizadas en el presente estudio, ejemplifican el grado potencial en el cual el error cinético podría incrementarse en estas mismas condiciones. La determinación de dicho error de medición durante las fases de aceleración asociadas con una dinamometría isocinética es evidencia adicional de que las mediciones tradicionales del trabajo isocinético son incompletas.

CONCLUSIONES

La contabilización del trabajo con respecto a las propiedades inerciales del sistema extremidad-palanca durante la extensión concéntrica y excéntrica de la rodilla puede introducir diferencias significativas en la medición más allá de los valores del trabajo estándar. La inclusión de la energía cinética en esta investigación introdujo un error de medición (K_{err}) que afectó los cálculos del trabajo total: el W_{total} es menor durante las contracciones excéntricas y mayor durante las acciones concéntricas en comparación con las mediciones del trabajo estándar corregido por la gravedad (W_{std}). Debido a que la relación diferencial entre el trabajo con respecto a la gravedad y la energía cinética ha sido identificada en el presente estudio, los métodos estándar de corrección por la gravedad, aplicados durante la realización de contracciones excéntricas, puede sobreestimar el efecto de la gravedad sobre el sistema extremidad-palanca, especialmente a mayores velocidades angulares.

Puntos Clave

El trabajo isocinético es subestimado por las técnicas estándar de corrección por la gravedad.

La medición del trabajo estándar corregido por la gravedad sobrestima el trabajo isocinético excéntrico total

La sobreestimación del trabajo isocinético excéntrico total se incrementa con el incremento de la velocidad angular.

REFERENCIAS

1. Brown, L.E. and Whitehurst, M (2003). The effect of short-term isokinetic training on force and rate of velocity development. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17, 88-94
2. Brown, L.E., Whitehurst, M., Briant, J.R. and Buchalter, D.N (1993). Reliability of the biodex system 2 isokinetic dynamometer concentric mode. *Isokinetics and Exercise Science* 3(3), 160-164
3. Brown, L.E., Whitehurst, M. and Findley, B.W (2005). Reliability of rate of velocity development and phase measures on an isokinetic device. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19(1), 189-192
4. Brown, L.E., Whitehurst, M., Gilbert, P.R. and Buchalter, D.N (1995). The effect of velocity and gender on load range during knee extension and flexion exercise on an isokinetic device. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 21, 107-112
5. Chen, W., Su, F. and Chou, Y (1994). Significance of acceleration period in a dynamic strength testing study. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 119, 324-330
6. Colliander, E.B. and Tesch, P.A (1989). Bilateral eccentric and concentric torque of quadriceps and hamstring muscles in females and males. *European Journal of Applied Physiology* 59, 227-232
7. Findley, B.D., Brown, L.E., Whitehurst, M., Keating, T., Murray, D. and Gardner, L.M (2006). The influence of body position on load range during isokinetic knee extension/flexion. *Journal of Sports Science and Medicine* 5, 400-406
8. Griffin, J.W., Tooms, R.E., Vander Zwaag, R., Bertorini, T.E. and O'Toole, M.L (1993). Eccentric muscle performance of elbow and knee muscle groups in untrained men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25, 936-944
9. Iossifidou, A.N. and Baltzopoulos, V (1996). Angular velocity in eccentric isokinetic dynamometry. *Isokinetics and Exercise Science* 6, 65-70
10. Iossifidou, A.N. and Baltzopoulos, V (1998). Inertial effects on the assessment of performance in isokinetic dynamometry. *International Journal of Sports Medicine* 19, 567-573
11. Iossifidou, A.N. and Baltzopoulos, V (2000). Inertial effects on moment development during isokinetic concentric knee extension tension. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 30(6), 317-327
12. Kannus, P (1992). Normality, variability and predictability of work, power and torque acceleration energy with respect to peak torque in isokinetic muscle testing. *International Journal of Sports Medicine* 13, 249-256
13. Kannus, P (1994). Isokinetic evaluation of muscular performance: implications for muscle testing and rehabilitation. *International Journal of Sports Medicine* 15 (Suppl. 1), S11-S18
14. Kellis, E. and Baltzopoulos, V (1996). Gravitational moment correction in isokinetic dynamometry using anthropometric data. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28, 900-907
15. Kramer, J.F., Vaz, M.D. and Hakansson, D (1991). Effect of activation force on knee extensor torques. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23, 231-237
16. Miller, K.I. and Nelson, R.C (1976). Biomechanics of sport. *Philadelphia: Lea and Febiger*
17. Mohtadi, N.G.H., Kiefer, G.N., Tedford, K. and Watters, S (1990). Concentric and eccentric quadriceps torque in pre-adolescent males. *Canadian Journal of Sports Science* 15, 240-243
18. Nelson, S.G. and Duncan, P.W (1983). Correction of isokinetic and isometric torque recordings for the effects of gravity. *Physical Therapy* 63, 674-676
19. Olmo, J. and Castilla, N (2005). Explosive strength-related isokinetic parameters in high-level sprinters and long-distance runners: The relative power index. *Journal of Isokinetics and Exercise Science* 13, 243-249
20. Plagenhoef, S., Evans, F.G. and Abdelnour, T (1983). Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for*

21. Poulin, M.J., Vandervoort, A.A., Paterson, D.H., Kramer, J.F. and Cunningham, D.A (1992). Eccentric and concentric torques of knee and elbow extension in young and older men. *Canadian Journal of Sports Science* 117, 3-7
22. Rizzardo, M., Wessel, J., and Bay, G (1988). Eccentric and concentric torque and power of the knee extensors of females. *Canadian Journal of Sports Science* 113, 166-169
23. Sternheim, M.M., and Kane, J.W (1991). General physics. 2nd edition. *New York: John Wiley*
24. Taylor, N.A.S., Sanders, R.H., Howick, E.I. and Stanley, S.N (1991). Static and dynamic assessment of the Biodex dynamometer. *European Journal of Applied Physiology* 62, 180-188
25. Tipler, P.A (1991). Physics for scientists and engineers. 3rd edition. *Volume 1. New York: Worth*
26. Westing, S.H. and Seger, J.Y (1989). Eccentric and concentric torque-velocity characteristics, torque output comparisons, and gravity effect torque corrections for the quadriceps and hamstring muscles in females. *International Journal of Sports Medicine* 110, 175-180
27. Wilk, K.E., Romaniello, W.T., Socia, S.M., Arrigo, C.A. and Andrews, J.R (1994). The relationship between subjective knee scores, isokinetic testing, and functional testing in the ACL-reconstructed knee. *Journal of Orthopaedic Sports Physical Therapy* 20(2), 60-73
28. Winter, D.A., Wells, R.P. and Orr, G.W (1981). Errors in the use of isokinetic dynamometers. *European Journal of Applied Physiology* 446, 397-408
29. Yeadon, M.R. and Morlock, M (1989). The appropriate use of regression equations for the estimation of segmental inertia parameters. *Journal of Biomechanics* 222, 683-689.

Cita Original

Brian Boggess, Jeff Moffit, Jacobo Morales and Tim Anderson. The Effects Of Kinetic Energy On Concentric And Eccentric Isokinetic Work. *Journal of Sports Science and Medicine* (2008) 7, 84 - 90.