

ANÁLISIS BIOMECÁNICO PARA DETERMINAR LA INTERVENCIÓN MUSCULAR EN LOS ESTIRAMIENTOS BALÍSTICOS

Gianikellis K.; Vara Gazapo A.; Bote García A.; Muñoz Cruz J. R.
Laboratorio de Biomecánica del Movimiento Humano y de Ergonomía.
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.
Universidad de Extremadura.

RESUMEN

La movilidad en las articulaciones es una ventaja para la optimización de la técnica deportiva. El objetivo de este trabajo ha sido indagar en las relaciones causa – efecto entre la velocidad y la aceleración angular del tronco, segmento con masa considerable, y el nivel de tensión de los músculos vasto interno, recto femoral y bíceps crural durante un ejercicio de estiramiento balístico. En este sentido, se ha utilizado una cadena de medida, integrada por un sistema de Electrogoniometría (ELG) sincronizado con un sistema de Electromiografía (EMG) diseñado para ser usado en la detección de la actividad eléctrica de los músculos bajo estudio en relación con los ángulos en las articulaciones. Los resultados obtenidos han confirmado que se trata de una metodología fiable para estudiar el comportamiento fisiológico y funcional de una unidad biocinémática y profundizar en el estudio del comportamiento del sistema neuro – muscular en el análisis biomecánico de la motricidad humana.

PALABRAS CLAVE: análisis biomecánico, intervención muscular, estiramientos balísticos.

ABSTRACT

The aim of stretching exercises is to increase muscle-tendon flexibility which depends on neurogenics (stretch reflex), myogenics (viscoelasticity of the musculo-tendinous structures) and joint constraints. The main purpose of this study was to determine the intervention of the muscles quadriceps femoris (rectus femoris - vastus medialis) and biceps femoris and its relationship with the kinematics of the hip joint during a common ballistic stretching exercise. Kinematic data of the hip joint and EMG data of the muscles quadriceps femoris (rectus femoris - vastus medialis) and biceps femoris were recorded by a measurement chain which consists of an EMG synchronized with an ELG system. The study yielded information concerning the sequence of muscular activation and the history of the angular velocity and acceleration of the hip joint during the defined phases of acceleration and deceleration of the flexion-extension movements. The obtained results confirmed statistically significant ($p < .000$ - $p < .05$) linear correlations (.902 - .504) between the kinematic, temporal and spectral parameters of the EMG data.

KEY WORDS: flexibility-training, ballistic stretching, EMG.

1. INTRODUCCIÓN

La movilidad es un requisito elemental para poder ejecutar movimientos en cantidad y de calidad. Su desarrollo afecta de forma muy positiva al desarrollo físico de los factores de rendimiento y las capacidades deportivas. Las restricciones mecánicas que limitan esta movilidad son, restricciones nerviosas, restricciones del tejido muscular, restricciones articulares, y restricciones por medio de la piel, el tejido conectivo subcutáneo y la resistencia a la fricción. La movilidad se puede clasificar en pasiva o activa. La movilidad pasiva es la amplitud segmentaria máxima que puede obtener el deportista por el efecto de fuerzas externas gracias a la capacidad de extensión o de relajación de los antagonistas. Por el contrario, se entiende por movilidad activa la máxima amplitud de movimiento de una articulación que puede obtenerse gracias a la contracción de los músculos agonistas y a la extensión de los antagonistas. *La movilidad pasiva es siempre superior a la movilidad activa.* La diferencia entre la movilidad pasiva y activa se denomina reserva de movilidad. Las técnicas de estiramientos consideradas son: a) los ***estiramientos balísticos***, que consisten en la realización de un movimiento rápido dentro de los límites extremos del rango de movimiento funcional (ROM) de las articulaciones implicadas, b) los ***estiramientos estáticos***, donde las articulaciones adoptan una postura extrema a partir de la cual empiezan a estirarse. El estiramiento es inducido pasivamente por partida doble tanto por la fuerza de la gravedad en los segmentos anatómicos involucrados, como por la manipulación manual aplicada pasivamente, o a través de la aplicación de fuerzas para incrementar la cantidad de estiramiento, y c) la ***facilitación neuro - muscular propioceptiva***, que involucra una pre - contracción al máximo nivel de los grupos musculares hasta el punto de sufrir una elongación. Aunque, son conocidos por todos las desventajas de los estiramientos balísticos, hay poca información respecto a su principal ventaja que consiste en conseguir fortalecer los músculos agonistas mediante una contracción activa. El objetivo de este trabajo ha sido indagar en las relaciones causa – efecto entre la velocidad y la aceleración angular del tronco, segmento con masa considerable, y el nivel de tensión de los músculos *vasto interno, recto femoral y bíceps crural* durante un ejercicio de estiramiento balístico.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

En primer lugar, se ha procedido a “poner a punto” la cadena de medida y los protocolos de los ensayos que nos permitan obtener la información necesaria

respecto a la intervención muscular de los músculos *vasto interno*, *recto femoral* y *bíceps crural*, en función de la velocidad y de la aceleración angular de la articulación de la cadera, en un ejercicio de estiramiento balístico que consiste en una flexión profunda de la cadera, desde posición erguida, y su posterior extensión. En este sentido, se ha utilizado una cadena de medida, integrada por un sistema de Electrogoniometría (ELG) sincronizado con un sistema de Electromiografía (EMG) desarrollada en el Laboratorio de Biomecánica del Movimiento Humano y de Ergonomía de la Facultad de CC. del Deporte de la UEx. El equipo está diseñado para ser usado en la detección de las contracciones musculares en relación con la postura adoptada por los sujetos. La postura, entendida como la orientación relativa de los segmentos corporales, puede ser descrita en función de los ángulos en las articulaciones y calcular otros parámetros, como pueden ser la velocidad y la aceleración angular, a partir del ángulo en cada instante.

A continuación se ha experimentado en el laboratorio con seis sujetos, seleccionados aleatoriamente, que han realizado un ejercicio de flexión – extensión de la cadera desde una posición erguida. El sujeto permanecía de pie durante 10 segundos y después realizaba tres estiramientos balísticos de los músculos bíceps crural derecho e izquierdo flexionando la cadera lo más rápidamente posible y recuperando la postura erguida. Por último, añadir que durante el ejercicio tenía lugar una contracción isométrica de otros 10 segundos al final de la realización del ciclo de los tres estiramientos.

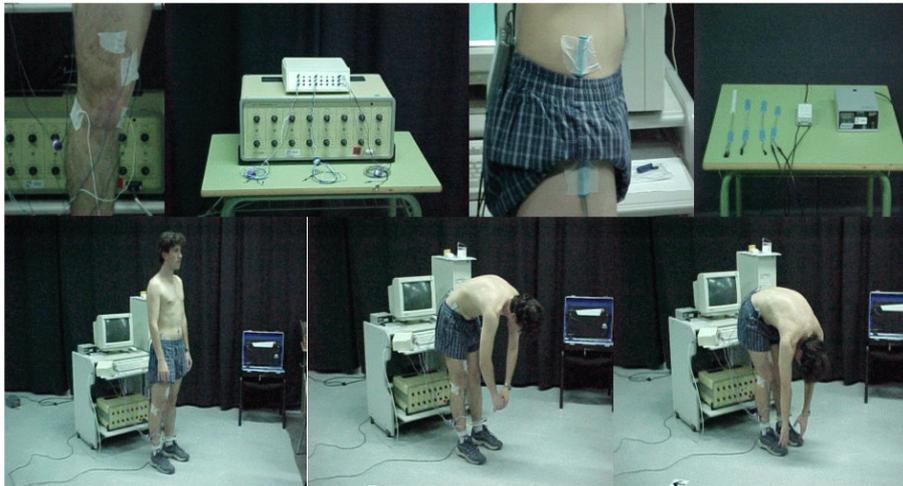


Figura 1. *Proceso experimental.*

Durante el ejercicio se ha registrado con electrodos de superficie la actividad eléctrica de los músculos *vasto interno*, *recto femoral* y *bíceps crural*. Los registros se han realizado con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz, con una ganancia de 2000, usando un filtro “paso banda” (10 – 1000 Hz).

El tratamiento de los datos incluye:

- El “suavizado” de los datos posición angular – tiempo y el cálculo de la velocidad y la aceleración angular utilizando el algoritmo “GCVSPL”
- El análisis de la señal EMG rectificadas en el dominio del tiempo y de la frecuencia que se ha basado en el cálculo de los siguientes parámetros: el *valor medio de la señal rectificadas* (AREMG), el *valor del EMG integrado* (iEMG), el *valor raíz cuadrada de la media cuadrática* (RMSEMG), la *frecuencia mediana* (f_m) y la *frecuencia espectral media* (f_{av}).
- El tratamiento estadístico de los datos que se ha realizado con el paquete SPSS 10.0.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los datos registrados ha permitido, en primer lugar, determinar la secuencia y el período de activación de los diferentes músculos junto con la variación del ángulo de la articulación de la cadera y la velocidad de movimiento. La técnica instrumental ha permitido discernir la intervención muscular en las fases de aceleración y deceleración en la flexión y extensión, así como determinar las diferencias intra y entre sujetos respecto a la flexión y a la extensión de la cadera.

Las cuatro fases del registro han sido: *fase de aceleración de la flexión*, desde el inicio del registro hasta el instante de máxima velocidad angular; *fase de deceleración de la flexión*, desde instante de máxima velocidad angular hasta el de máxima flexión; *fase de aceleración de la extensión*, desde instante de máxima flexión hasta el de máxima velocidad angular; y *fase de deceleración de la fase de extensión*, desde instante de máxima velocidad angular hasta final del registro.

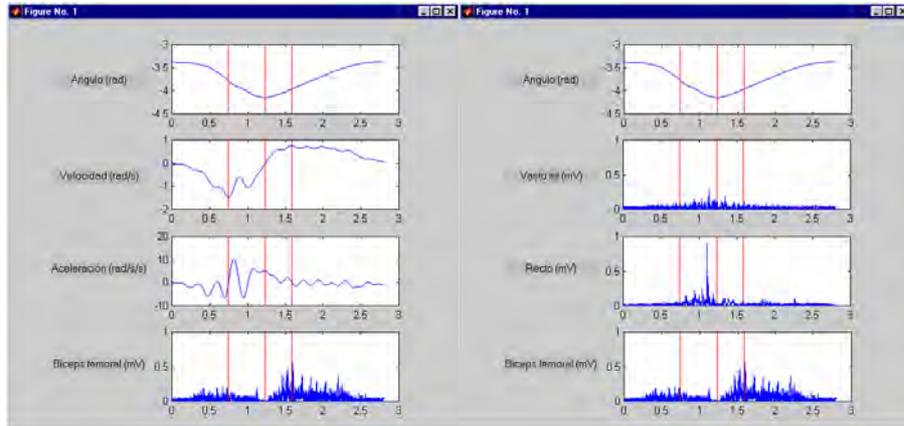


Figura 2. Variables cinemáticas y registros EMG gráficos en función del tiempo

El estudio descriptivo de los resultados obtenidos en las cuatro fases muestra para la velocidad angular (rad/s), $(.64 \pm .27)$, $(1.23 \pm .55)$, $(.96 \pm .53)$ y $(.58 \pm .22)$, para las cuatro fases, respectivamente. Para la aceleración angular (rad/s^2), (2.55 ± 1.25) , (10.38 ± 8.96) , (8.63 ± 7.07) y $(1.45 \pm .84)$. Por último, en cuanto a la RMSEMG (V) se obtienen para el vasto interno, $(.06 \pm .05)$, $(.15 \pm .13)$, $(.12 \pm .11)$, $(.06 \pm .05)$, para el recto femoral, $(.03 \pm .01)$, $(.08 \pm .04)$, $(.05 \pm .02)$, $(.03 \pm .01)$ y para el bíceps crural, $(.04 \pm .01)$, $(.07 \pm .02)$, $(.12 \pm .04)$, $(.06 \pm .02)$, respectivamente.

El análisis estadístico ha permitido encontrar correlaciones lineales, entre .902 y .504 ($p < .000$ y $p < .05$), entre los parámetros cinemáticos y los parámetros temporales y frecuenciales del EMG. Las tablas a continuación corresponden, para cada fase del movimiento, a las correlaciones más significativas de este estudio:

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del vasto interno, recto femoral, y bíceps crural, respectivamente, en la 1ª fase de flexión de los parámetros EMG en el dominio del tiempo.

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
AREMG_C1	18	,12140	,01444	,13584	4,533E-02	8,45E-03	3,586E-02	1,286E-03
IEMG_C1	18	,134042	,009808	,143850	4,203E-02	9,052E-03	3,840E-02	1,475E-03
RMSEMG_1	18	,169115	,017315	,186430	6,191E-02	1,199E-02	5,088E-02	2,589E-03
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
AREMG_C2	18	,024933	,011072	,036005	2,007E-02	1,615E-03	6,852E-03	4,695E-05
IEMG_C2	18	,029094	,008271	,037365	1,703E-02	1,696E-03	7,194E-03	5,176E-05
RMSEMG_2	18	,034403	,013896	,048299	2,784E-02	2,205E-03	9,354E-03	8,750E-05
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
AREMG_C3	18	,033186	,010397	,043583	2,905E-02	2,521E-03	1,070E-02	1,144E-04
IEMG_C3	18	,107291	,007059	,114350	2,774E-02	5,563E-03	2,360E-02	5,571E-04
RMSEMG_3	18	,04391	,01503	,05894	3,894E-02	3,13E-03	1,327E-02	1,762E-04
N válido (según lista)	18							

Tabla 2. Estadísticos descriptivos del vasto interno, recto femoral y bíceps crural, respectivamente, en la 2ª fase de flexión de los parámetros EMG en el dominio del tiempo.

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
AREMG_C1	18	,30241	,02146	,32387	,1184399	2,46E-02	,1043014	1,088E-02
IEMG_C1	18	,079008	,004549	,083557	2,404E-02	4,195E-03	1,780E-02	3,167E-04
RMSEMG_1	18	,372140	,025780	,397920	,14767794	3,046E-02	,12923371	1,670E-02
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
AREMG_C2	18	,073617	,019217	,092834	5,369E-02	6,058E-03	2,570E-02	6,607E-04
IEMG_C2	18	,042057	,003066	,045122	1,678E-02	3,428E-03	1,455E-02	2,116E-04
RMSEMG_2	18	,131862	,024208	,156070	7,763E-02	1,016E-02	4,310E-02	1,858E-03
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
AREMG_C3	18	,070265	,029437	,099702	5,554E-02	4,754E-03	2,017E-02	4,069E-04
IEMG_C3	18	,020974	,004760	,025734	1,370E-02	1,402E-03	5,947E-03	3,536E-05
RMSEMG_3	18	,08844	,03834	,12678	7,006E-02	5,81E-03	2,466E-02	6,080E-04
N válido (según lista)	18							

Tabla 3. Estadísticos descriptivos del vasto interno, recto femoral y bíceps crural, respectivamente, en la 1ª fase de extensión de los parámetros EMG en el dominio del tiempo.

Estadísticos descriptivos								
	N	Rango	Minimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
AREMG_C1	18	,24192	,02185	,26377	,1005828	2,23E-02	9,449E-02	8,929E-03
IEMG_C1	18	,038566	,002554	,041120	1,905E-02	3,192E-03	1,354E-02	1,834E-04
RMSEMG_1	18	,296368	,025922	,322290	,12377300	2,687E-02	,11401842	1,300E-02
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos								
	N	Rango	Minimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
AREMG_C2	18	,048293	,018981	,067274	3,504E-02	3,293E-03	1,397E-02	1,952E-04
IEMG_C2	18	,016593	,003677	,020270	7,902E-03	9,624E-04	4,083E-03	1,667E-05
RMSEMG_2	18	,059134	,023589	,082723	4,531E-02	4,004E-03	1,699E-02	2,886E-04
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos								
	N	Rango	Minimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
AREMG_C3	18	,105136	,044014	,149150	9,624E-02	7,592E-03	3,221E-02	1,037E-03
IEMG_C3	18	,031620	,009639	,041259	2,133E-02	2,002E-03	8,493E-03	7,213E-05
RMSEMG_3	18	,11630	,06546	,18176	,1209766	8,30E-03	3,520E-02	1,239E-03
N válido (según lista)	18							

Tabla 4. Estadísticos descriptivos del vasto interno, del recto femoral y del bíceps crural, respectivamente, en la 2ª fase de extensión de los parámetros EMG en el dominio del tiempo.

Estadísticos descriptivos								
	N	Rango	Minimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
AREMG_C1	18	,09088	,01963	,11051	4,917E-02	9,04E-03	3,833E-02	1,470E-03
IEMG_C1	18	,125487	,017803	,143290	5,708E-02	1,111E-02	4,712E-02	2,220E-03
RMSEMG_1	18	,123435	,023375	,146810	6,356E-02	1,182E-02	5,013E-02	2,513E-03
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos								
	N	Rango	Minimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
AREMG_C2	18	,019729	,012879	,032608	2,161E-02	1,311E-03	5,562E-03	3,093E-05
IEMG_C2	18	,019497	,013029	,032526	2,436E-02	1,498E-03	6,356E-03	4,040E-05
RMSEMG_2	18	,030148	,016759	,046907	2,933E-02	2,077E-03	8,813E-03	7,766E-05
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos								
	N	Rango	Minimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
AREMG_C3	18	,043353	,018552	,061905	4,175E-02	2,848E-03	1,209E-02	1,460E-04
IEMG_C3	18	,059099	,015992	,075091	4,765E-02	3,882E-03	1,647E-02	2,713E-04
RMSEMG_3	18	,05755	,02719	,08474	5,893E-02	3,74E-03	1,586E-02	2,515E-04
N válido (según lista)	18							

Tabla 5. Estadísticos descriptivos del vasto interno, del recto femoral y del bíceps crural, respectivamente, en la 1ª fase de flexión de los parámetros EMG en el dominio de la frecuencia.

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
FM_C1	18	40,0090	42,4409	82,4499	67,786172	2,266218	9,614747	92,443
FMDANA_1	18	52,8200	5,8083	58,6283	21,010978	3,414116	14,484869	209,811
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
FM_C2	18	44,7048	28,2865	72,9913	56,814550	3,124184	13,254790	175,689
FMDANA_2	18	44,5861	7,5529	52,1390	18,566750	3,085782	13,091863	171,397
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
FM_C3	18	22,9481	52,4731	75,4212	64,053400	1,330947	5,646728	31,886
FMDANA_3	18	40,6889	2,9042	43,5931	22,421717	2,784698	11,814475	139,582
N válido (según lista)	18							

Tabla 6. Estadísticos descriptivos del vasto interno, del recto femoral y del bíceps crural, respectivamente, en la 2ª fase de flexión de los parámetros EMG en el dominio de la frecuencia.

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
FM_C1	18	63,6118	37,4720	101,0838	74,460950	4,068234	17,260055	297,910
FMDANA_1	18	57,2327	9,4340	66,6667	36,142756	4,789005	20,318029	412,822
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
FM_C2	18	43,0532	47,3489	90,4021	74,597022	3,387793	14,373189	206,589
FMDANA_2	18	65,0746	14,9254	80,0000	33,530772	5,149316	21,846698	477,278
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
FM_C3	18	40,6686	56,2824	96,9510	77,755533	3,449215	14,633782	214,148
FMDANA_3	18	90,0120	5,9880	96,0000	40,107044	5,803330	24,621443	606,215
N válido (según lista)	18							

Tabla 7. Estadísticos descriptivos del vasto interno, del recto femoral y del bíceps crural, respectivamente, en la 1ª fase de extensión de los parámetros EMG en el dominio de la frecuencia.

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Minimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
FM_C1	18	67,0432	34,1941	101,2373	74,733372	4,314461	18,304707	335,062
FMDANA_1	18	72,9619	13,2450	86,2069	36,396800	4,493891	19,065966	363,511
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Minimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
FM_C2	18	71,8016	32,9163	104,7179	65,881378	4,147215	17,595141	309,589
FMDANA_2	18	43,9136	11,2045	55,1181	32,844494	3,060711	12,985497	168,623
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Minimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
FM_C3	18	47,0214	62,8422	109,8636	78,287933	2,902017	12,312213	151,591
FMDANA_3	18	114,8531	5,8366	120,6897	35,523494	6,786651	28,793323	829,055
N válido (según lista)	18							

Tabla 8. Estadísticos descriptivos del vasto interno, del recto femoral y del bíceps crural, respectivamente, en la 2ª fase de extensión de los parámetros EMG en el dominio de la frecuencia.

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Minimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
FM_C1	18	30,2280	48,5717	78,7997	70,807011	1,784239	7,569883	57,303
FMDANA_1	18	61,1544	5,1107	66,2651	24,245922	4,292629	18,212082	331,680
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Minimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
FM_C2	18	34,2490	41,1827	75,4317	57,756117	2,601292	11,036349	121,801
FMDANA_2	18	42,8792	8,3256	51,2048	20,718000	2,926724	12,417040	154,183
N válido (según lista)	18							

Estadísticos descriptivos

	N	Rango	Minimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
FM_C3	18	15,2657	53,9616	69,2273	62,933672	1,257163	5,333692	28,448
FMDANA_3	18	45,0863	2,7752	47,8615	13,747089	3,324974	14,106671	198,998
N válido (según lista)	18							

Se ha abordado la intervención de músculos biarticulares como es el caso del recto femoral y bíceps crural, cuyo comportamiento mecánico es muy difícil aproximar a través de estudios de análisis dinámico inverso que es el método por excelencia del análisis biomecánico del movimiento humano. A la luz de los resultados obtenidos se confirma que durante la primera fase de flexión, se han encontrado correlaciones entre la aceleración angular y la AREMG y la RMSEMG del vasto interno (estabilizador de la rodilla) y del recto femoral que indica que la activación de estos músculos contribuye a la aceleración del tronco hacia delante (Tabla 9), mientras que durante la segunda fase de flexión, se han encontrado correlaciones entre la aceleración angular y la AREMG y la RMSEMG del vasto interno (que indica que estabiliza la rodilla, ya que al tener el tronco una masa importante, si no fuese por la estabilización de la rodilla, ésta flexionaría por la rotación del tronco hacia delante) y del bíceps crural (que indica que éste detiene el movimiento) (Tabla 10). Durante la primera fase de la extensión, se han encontrado correlaciones de la aceleración angular con la AREMG y la RMSEMG del vasto interno y recto femoral, que indica que estabilizan la rodilla, y bíceps crural, que indica que el mismo interviene en la elevación del tronco (Tabla 11), mientras que durante la segunda fase de la extensión, se han encontrado correlaciones de la aceleración angular con la AREMG y la RMSEMG del vasto interno y recto femoral, que indica la contracción excéntrica de los mismos para detener la extensión de la cadera (Tabla 12).

Tabla 9. Correlaciones más significativas en la 1ª fase de la flexión.

Parámetros cinemáticos correlacionados linealmente con parámetros EMG de los tres músculos	Nivel de significación: p < 0.05 (*) p < 0.01 (**)	Coefficiente correlación lineal
Módulo de la velocidad (rd/s) y AR _{EMG} del vasto interno	p < .033	.504
Módulo de la velocidad (rd/s) y AR _{EMG} del bíceps crural.	p < .002	.668
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y AR _{EMG} del vasto interno	p < .002	.687
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y AR _{EMG} del recto femoral	p < .003	.656
AR _{EMG} del vasto interno y AR _{EMG} del recto femoral	p < .000	.803
Frecuencia media del vasto interno y frecuencia media del recto femoral	p < .007	.610
Módulo de la velocidad (rd/s) y RMS _{EMG} del bíceps crural	p < .002	.684
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y RMS _{EMG} del vasto interno	p < .005	.627
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y RMS _{EMG} del recto femoral	p < .004	.649
RMS _{EMG} del vasto interno y RMS _{EMG} del recto femoral	p < .000	.776
Frecuencia mediana del vasto interno y frecuencia mediana del recto femoral	p < .011	.583

Tabla 10. Correlaciones más significativas en la 2ª fase de la flexión.

Parámetros cinemáticos correlacionados linealmente con parámetros EMG de los tres músculos	Nivel de significación:	Coefficiente correlación lineal.
Módulo de la velocidad (rd/s) y AREMG del recto femoral	p < .000	.887
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y AREMG del vasto interno	p < .001	.706
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y AREMG del bíceps crural	p < .010	.591
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y la frecuencia media del bíceps crural	p < .025	.525
Frecuencia media del vasto interno y frecuencia media del bíceps crural	p < .007	.612
Módulo de la velocidad (rd/s) y RMSEMG del recto femoral	p < .001	.734
Módulo de la velocidad (rd/s) y la frecuencia mediana del vasto interno	p < .001	.732
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y RMSEMG del vasto interno	p < .001	.721
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y RMSEMG del bíceps crural	p < .023	.531
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y la frecuencia mediana del bíceps crural	p < .001	.711
Frecuencia mediana del recto femoral y frecuencia mediana del bíceps crural	p < .000	.758

Tabla 11. Correlaciones más significativas en la 1ª fase de la extensión.

Parámetros cinemáticos correlacionados linealmente con parámetros EMG de los tres músculos	Nivel de significación:	Coefficiente cor. lineal.
Módulo de la velocidad (rd/s) y AREMG del vasto interno	p < .000	.802
Módulo de la velocidad (rd/s) y AREMG del recto femoral	p < .001	.877
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y AREMG del vasto interno	p < .000	.886
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y AREMG del recto femoral	p < .000	.902
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y AREMG del bíceps crural	p < .004	.649
AREMG del vasto interno y AREMG del recto femoral	p < .000	.831
AREMG del vasto interno y AREMG del bíceps crural	p < .007	.613
Módulo de la velocidad (rd/s) y RMSEMG del vasto interno	p < .000	.806
Módulo de la velocidad (rd/s) y RMSEMG del recto femoral	p < .000	.872
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y RMSEMG del vasto interno	p < .000	.890
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y RMSEMG del recto femoral	p < .000	.848
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y RMSEMG del bíceps crural	p < .014	.565
RMSEMG del vasto interno y RMSEMG del recto femoral	p < .000	.785
RMSEMG del vasto interno y RMSEMG de bíceps crural	p < .013	.574

Tabla 12. Correlaciones más significativas en la 2ª fase de la extensión.

Parámetros cinemáticos correlacionados linealmente con parámetros EMG de los tres músculos	Nivel de significación:	Coefficiente cor. lineal.
Módulo de la velocidad (rd/s) y AREMG del bíceps crural	p < .000	.875
Módulo de la velocidad (rd/s) y frecuencia media del recto	p < .001	.877
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y AREMG del vasto interno	p < .000	.791
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y AREMG del recto femoral	p < .000	.784
AREMG del vasto interno y AREMG del recto femoral	p < .004	.644
Módulo de la velocidad (rd/s) y RMSEMG del bíceps crural	p < .000	.825
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y RMSEMG del vasto interno	p < .000	.794
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y RMSEMG del recto femoral	p < .000	.755
Módulo de la aceleración (rd/s ²) y frecuencia mediana de bíceps crural	p < .004	.640
RMSEMG del vasto interno y RMSEMG del recto femoral	p < .011	.586

4. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una metodología fiable que permite estudiar el comportamiento fisiológico y funcional de una unidad biocinématica, en este caso de la articulación de la cadera, en los estiramientos balísticos, en términos de variación del ángulo en la articulación y de la aceleración angular sin la cual no sería posible interpretar el nivel de activación muscular. Esta información es imprescindible para profundizar en las soluciones biomecánicas del sistema neuro – muscular y puede tener múltiples aplicaciones en el ámbito de análisis biomecánico de la motricidad humana.

5. REFERENCIAS

- ANDERSON, P.A. (1990). *Electromyographic Kinesiology*. Amsterdam. Excerpta Medica.
- BLOOMFIELD, J.; ET AL (1994). *Applied Anatomy and Biomechanics in Sport*. Melbourne. Blackwell Science.
- DONSKOI, D.; ZATSIORSKI, V. (1988). *Biomecánica de los ejercicios físicos*. Moscú. Ed. Raduga.
- EKSTRAND, J.; WIKTORSSON, M.; OBERG, B.; GILLQUIST, J. (1982). Lower extremity goniometric measurements: A study to determine their reliability. *Physical Medicine and Rehabilitation*, 63. 171 – 175
- ENOKA, R. M. (1994). *Neuromechanical Basis of Kinesiology*. Champaign. Human Kinetics.
- GIANIKELLIS, K.; PANTRIGO, J.J.; VARA, A.; MUÑOZ, J.R.; PULIDO, J.M^a. (1999). “BiomSoft”: un software desarrollado para el análisis cinemático en el campo de la Biomecánica del Movimiento Humano. En Actas del III Congreso de Usuarios de MATLAB, MATLAB’99. Editado por S. Dormido Bencomo. Departamento de Informática y Automática de la UNED. 501–508. Madrid. ISBN: 84-699–1358– 1.
- HAMILL, J.; KNUTZEN, K. M.(1995). *Biomechanical Basis of Human Movement*. P.A. Williams & Wilkins, Media.
- KAPANDJI, Y. (1980). *Cuadernos de Fisiología articular*. Barcelona. Ed. Toray-Masson.

KOMI, P.V. (1992). *Strength and Power in Sport*. Londres. Blackwell Scientific Publications.

LATASH M.L. (1998). *Neurophysiological Basis of Movement*. Champaign. Human Kinetics.

MOORE, M. A.; HUTTON, R. S. (1980). Electromyography investigation of muscle stretching techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12, 322 – 329.

SAPEGA, A. A.; QUEDENFIELD, T. C.; MOYER, R. A.; BUTLER, R. A. (1981). Biophysical factors in range-of-motion exercise. *The Physician and Sports-medicine*, 9, 57 – 65.