

Evaluación funcional de la mano mediante reducción dimensional de su cinemática

V. Gracia Ibáñez, M. Vergara Monedero, J.L. Sancho-Bru

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I. vgracia@uji.es

El gran número de grados de libertad de la mano humana dificulta el estudio de su cinemática. Han sido varios los intentos de reducir la dimensionalidad del problema identificando sinergias cinemáticas mediante la aplicación de análisis de componentes principales (ACP). El objetivo de este trabajo es estudiar el uso de estas sinergias en la evaluación funcional de sujetos con patologías de la mano. Para ello se diseñó un experimento sobre 24 sujetos sanos y dos patológicos. Todos los sujetos realizaron en primer lugar unos test de fuerza (agarre cilíndrico y pinza) y destreza (Purdue & Box y Block test) de uso común en el ámbito clínico para la valoración funcional de la mano. Posteriormente, se les registró la postura de la mano con un guante instrumentado mientras realizaban 24 actividades de la vida diaria representativas de la Clasificación Internacional de Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) de la OMS. Los 16 ángulos registrados fueron filtrados, y los correspondientes a los sujetos sanos se redujeron mediante ACP a 5 factores explicativos del 73,7% de la varianza. Para evaluar la funcionalidad de la mano de los sujetos patológicos, los valores de ángulos registrados para éstos se compararon con la muestra de referencia de dos formas diferentes: (1) identificando a qué percentil de valores de centralidad y dispersión de postura, y de velocidad, corresponderían, y (2) mediante un análisis clúster jerárquico. Por último, se compararon las sinergias y correspondiente varianza explicada en los sujetos patológicos con respecto de la muestra de referencia. Del análisis de los resultados se infiere que el uso de reducción dimensional puede ser una herramienta objetiva válida para detectar alteraciones de funcionalidad.

1. Introducción

La mano es fundamental en el desempeño de las actividades de la vida diaria (AVD). De las 8 horas diarias que restan tras eliminar el tiempo de trabajo y sueño, el ser humano utiliza sus manos más de 5 horas [1]. Por tanto, la suficiencia de una persona depende en gran medida de la funcionalidad de la mano para el desempeño de AVD.

La evaluación funcional de la mano patológica o lesionada resulta fundamental en la toma de decisiones clínicas, para establecer estrategias rehabilitadoras y, también, en la evaluación del grado de discapacidad. Existen diferentes aproximaciones al análisis funcional de la mano [2]. En la actualidad los métodos que se emplean se centran en tres aspectos: evaluación de fuerza de agarre (básicamente cilíndrico y pinza), rangos máximos de movilidad de las articulaciones y aplicación de tests que evalúan diferentes aspectos como destreza, coordinación óculo-manual o movilidad, o bien cuestionarios subjetivos sobre funcionalidad. Estos tests son específicos para cada patología, y al igual que los cuestionarios, presentan un elevado grado de subjetividad [3], [4]. Estas metodologías permiten en cierta medida evaluar el grado de recuperación de la mano, pero no analizan directamente su funcionalidad en el desempeño de las AVD necesarias para una autonomía personal, entendiendo como tal la capacidad de realizar dichas actividades sin la necesidad de ayuda exterior.

Existe una evidente necesidad de métodos de evaluación funcional globales y objetivos [3], [4] que contemplen la funcionalidad en el desempeño de AVD. De hecho, un estudio revela que 97,5% de los terapeutas consideran fundamentales las estrategias rehabilitadoras basadas en el desarrollo de AVD [5]. Para alcanzar esta finalidad es necesario consensuar qué AVD deberían considerarse en la evaluación, y avanzar en la cuantificación de los diferentes aspectos que definen el desempeño de las AVD. En relación a qué AVD considerar, una buena referencia es la CIF [6] de la OMS puesto que se ha postulado como referencia válida para evaluación de aspectos relativos a la salud [7]. En relación a la evaluación cuantitativa del desarrollo de AVD, el análisis cinemático ha probado dar buenos resultados en la evaluación de la funcionalidad del brazo [8], por lo que han sido varios los intentos de analizar la cinemática de la mano en AVD [9]–[11]. Sin embargo, uno de los principales problemas para su uso radica en la complejidad cinemática de la mano, con 25 grados de libertad, por lo que los trabajos de la literatura se han limitado a establecer rangos de movilidad funcionales.

Si bien el elevado número de grados de libertad de la mano dificulta su análisis cinemático, los movimientos de las articulaciones de la mano no son independientes debido tanto a acoplamientos mecánicos, por las conexiones tendinosas y las inserciones múltidígito de los músculos extrínsecos [12], como debido a acoplamientos neuronales por la inervación de una única neurona motora cortical en varias agrupaciones de neuronas motoras de la médula [13]. De hecho, diversos trabajos han demostrado la existencia de sinergias mediante la aplicación de análisis de componentes principales (ACP) al agarre humano [14]–[17]. Este trabajo propone el empleo del método de reducción dimensional mediante ACP como vía para la evaluación funcional de la mano durante el desempeño de AVD, basada en el análisis cinemático.

2. Material y método

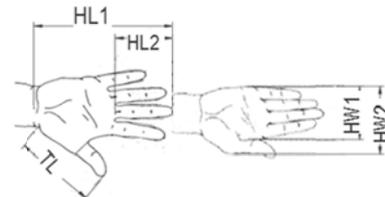
2.1. Descripción del Experimento

El experimento se diseñó cumpliendo la Declaración de la Asociación Mundial de Medicina y fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad. Participaron veinticuatro sujetos (12 mujeres y 12 hombres) diestros, libres de patologías o lesiones de mano, que firmaron su consentimiento informado. La edad de los sujetos estaba intencionadamente comprendida entre 18 y 50 años, para evitar posibles alteraciones cinemáticas debido a la degeneración de las articulaciones por envejecimiento, y con una distribución de tamaños de manos representativa de la población (ver características en Tabla 1). Posteriormente se aplicó el mismo experimento a otros dos sujetos, también diestros, recuperados de recientes episodios patológicos: un hombre con mano derecha catastrófica tras haber experimentado un accidente laboral, y una mujer que sufrió un ictus, ambos considerados totalmente recuperados en la actualidad.

El experimento consistió en dos partes diferenciadas. En la primera parte se tomaron datos antropométricos (Tabla 1) y una serie de medidas de uso habitual para la valoración: (i) medida de fuerza en diferentes agarres siguiendo los estándares normalmente empleados en valoración: agarre cilíndrico (Cil), pinza lateral (Lat), pinza 2 dedos (2P) y pinza 3 dedos (3P); (ii) aplicación de sendos test de destreza, ‘Purdue Pegboard Test’ y ‘Box&Block Test’; (iii) y por último medida de rangos activos de movimiento (RAM), solicitando al sujeto que adoptase una serie de posturas de acuerdo con las indicaciones de Clarkson [18]. Para las medidas de fuerza se utilizaron el dinamómetro y el pinzómetro de Biometrics®, promediando los valores tomados en tres registros de 6 segundos en cada mano, alternando manos y descansando un minuto entre las medidas. El test Purdue determina si la destreza manipulativa fina y la coordinación mano-ojo se encuentran alteradas, y consiste en insertar el mayor número posible de pins en una serie de agujeros sobre un tablero. El test se compone de cuatro partes: las tres primeras permiten inferir si existe sospecha de lesión cerebral (dos valoran la destreza en cada mano aisladamente, y la tercera en trabajo simultáneo), y la cuarta sirve para valorar la capacidad manipulativa orientada a establecer la idoneidad laboral en función del puesto de trabajo (valora el trabajo colaborativo no simultáneo durante la ejecución de ensamblajes). El test Box and Block valora la destreza gruesa unilateral, y se emplea para diagnosis de esclerosis múltiple, ictus o trauma cerebral. Consiste en pasar el mayor número de cubos, cogiéndolos de uno en uno, de un compartimento de una caja a otro en un tiempo establecido. El proceso se realiza primero con la mano derecha y después se repite con la izquierda. Para la medición del RAM se empleó un guante instrumentado para mano derecha (Cyberglove Systems LLC; San Jose, CA) con 18 sensores. Se utilizó un protocolo de calibración previamente validado [19] para obtener los ángulos de 16 articulaciones de la mano a partir del registro de los sensores.

Tabla 1: Características de la muestra de estudio

	Edad	HL1	HL2	HW1	HW2	TL
Datos de la muestra del estudio						
Mínimo	20	158	93	72	82	96
Máximo	46	205	122	95	110	130
Media	33,0	186,0	109,1	81,6	96,9	112,6
Desv.est.	8,8	11,3	7,4	6,5	8,3	8,3
Datos de sujetos patológicos						
S1 (lesión)	47	194	119	112	95	114
S2 (ictus)	67	174	100	93	82	107



En la segunda parte del experimento, en entorno de laboratorio y con las mismas instrucciones precisas para todos, los sujetos realizaron 24 AVD en las que se utiliza la mano derecha significativamente, seleccionadas de entre las del CIF de la OMS (Tabla 2). Se registró (75 Hz) la cinemática de la mano durante la ejecución de dichas AVD con el guante y se obtuvieron los 16 ángulos utilizando el protocolo previamente mencionado. Se recortaron los instantes iniciales y finales en los que la mano permanecía quieta, y los registros fueron posteriormente filtrados (filtro paso bajo de 2º orden de Butterworth, hacia adelante-hacia atrás, frecuencia de corte normalizada = 0,1).

Tabla 2: AVD seleccionadas y registradas.

Capítulo CIF	Área del CIF	AVD seleccionada	Postura cuerpo
3. Comunicación	d325. Comunicarse con - recibir mensajes escritos	1. Leer	Sentado
	d345. Escribir mensajes	2. Escribir	Sentado
	d360. Uso de dispositivos y técnicas de comunicación	3. Hablar por teléfono	Sentado
		4. Marcar números en el teléfono	Sentado
		5. Escribir usando el teclado	Sentado
4. Movilidad	d430. Levantar y llevar objetos	6. Manipular un libro	De pie
	d440. Uso fino de la mano	7. Abrir puerta usando llave	De pie
	d445. Uso de mano y brazo	8. Abrir una puerta	De pie
5. Cuidado propio	d520. Cuidado de partes del cuerpo	9. Abrir y cerrar un grifo	De pie
		10. Lavar y secarse las manos	De pie
		11. Cepillarse los dientes	De pie
		12. Poner pasta en el cepillo de dientes	De pie
		13. Peinarse	De pie
	d540. Vestirse	14. Ponerse la camisa y pasar dos botones	De pie
		15. Ponerse pantalones y pasar botón y cremallera	De pie
	d550. Comer	16. Ponerse zapato y hacer lazo	Sentado
		17. Comer sopa	Sentado
		18. Cortar con cuchillo	Sentado
	d560. Beber	19. Comer con tenedor	Sentado
20. Servir agua		Sentado	
21. Beber agua		Sentado	
6. Vida doméstica	d640. Tareas del hogar	22. Usar un spray limpieza	De pie
		23. Limpiar usando un trapo	De pie
		24. Planchar	De pie

2.2. Análisis de datos

En primer lugar se compararon los valores de fuerza, RAM y destreza de la muestra de referencia con datos de bibliografía para comprobar su normalidad. En segundo lugar se procedió a la reducción dimensional de los ángulos registrados (filtrados) durante el desarrollo de las 24 AVD de los 24 sujetos de la muestra de referencia. Para ello se realizó un ACP (autovalor >1 , rotación Varimax, cálculo de factores normalizados) de los 16 ángulos registrados. En dicho cálculo se realizó una ponderación de modo que todas las acciones pesaran lo mismo en relación al tiempo. Se calcularon las puntuaciones de estos factores durante cada una de las 24 acciones para cada sujeto (sanos y patológicos), y su derivada temporal (velocidad). Finalmente, se calcularon 8 estadísticos (media, desviación estándar, mínimo y máximo, percentiles 25, 50, 75 y rango intercuartílico) de las puntuaciones y velocidades para cada sujeto de la muestra de referencia. Es decir, los 24 registros de todas las AVD de cada sujeto, ponderadas para que todas pesaran lo mismo en relación al tiempo, se representaron globalmente por medio de 8 parámetros de postura y otros 8 de velocidad por cada uno de los factores obtenidos en el ACP. Los mismos 8 parámetros se obtuvieron para cada sujeto y cada AVD, de forma individual.

Con el fin de evaluar la funcionalidad de la mano de los sujetos patológicos se realizaron diferentes análisis comparándolos con la muestra de sujetos sanos. En primer lugar se compararon los datos de fuerza, RAM y tests de destreza, comprobando el percentil ocupado por cada sujeto patológico. En segundo lugar se comparó el desempeño global de las AVD, en base al percentil ocupado por cada sujeto patológico en los 16 estadísticos calculados globalmente (también ponderando). Una tercera comparación se realizó mediante 24 análisis clúster jerárquicos (método de agrupación: distancia euclídea al centroide al cuadrado), uno para cada AVD, con los 8 estadísticos por AVD de todos los sujetos (sanos y patológicos) y observando el agrupamiento de los sujetos. Por último, para cada sujeto (sanos y patológicos), se realizó un ACP (idéntico al anterior, pero de forma individual por sujeto) y se obtuvieron las componentes principales. De estas nuevas componentes se comparó la varianza explicada y su similitud con las obtenidas globalmente para la muestra de referencia, utilizando como indicador de similitud el ángulo de desviación entre los vectores que definen las componentes.

3. Resultados

Los valores de fuerza registrados (Tabla 3) están dentro de la normalidad para los sujetos de la muestra de referencia [20]–[23], si bien son ligeramente inferiores a la media de los valores de bibliografía, probablemente porque la muestra está compuesta por personas que desarrollan trabajos que no requieren fuerza manual (ámbito

académico). En el caso del sujeto patológico S1, sí se aprecia claramente una disminución de fuerza muy considerable en la mano derecha, no así en el caso de S2, cuyos valores están dentro de la normalidad.

Tabla 3: Valores de fuerza registrados (kg)

	Mano derecha				Mano Izquierda			
	Cil	Lat	2P	3P	Cil	Lat	2P	3P
Muestra de referencia Hombres / Mujeres								
Mínimo	27,3 / 15,8	6,4 / 4,2	3,6 / 2,3	4,3 / 3,7	23,7 / 16,8	5,8 / 3,7	3,2 / 2,0	4,1 / 3,5
Máximo	48,3 / 28,9	24,1 / 7,0	6,6 / 5,0	10,8 / 6,3	45,2 / 23,5	21,9 / 6,0	6,6 / 4,4	9,7 / 5,7
Media	36,8 / 22,2	9,6 / 5,6	5,0 / 3,6	7,4 / 5,1	34,2 / 19,8	8,9 / 5,0	4,6 / 3,1	6,9 / 4,3
Desv. est.	6,7 / 3,4	4,7 / 0,8	1,0 / 0,8	1,8 / 0,7	6,8 / 2,3	4,2 / 0,7	1,0 / 0,7	1,8 / 0,7
Sujetos Patológicos (entre paréntesis el percentil respecto de la muestra de referencia)								
S1-Hombre	23,6 (<0)	5,7 (<0)	4,0 (17)	4,0 (<0)	42,6 (89)	7,0 (24)	5,1 (76)	6,9 (56)
S2 - Mujer	27,7 (97)	5,6 (42)	3,5 (42)	4,6 (18)	22,9 (90)	4,7 (36)	2,4 (8)	3,9 (33)

Los valores de RAM registrados para los sujetos de la muestra de referencia (Tabla 4) están también dentro de la normalidad [24]. En cuanto a los sujetos patológicos, presentan algunos RAM fuera de rango (gris oscuro), y con valores en percentiles extremos (en gris claro por debajo del percentil 10%). Se puede ver cómo el grado de afectación en cuanto a RAM es mucho mayor para el sujeto S1 que para el sujeto S2: S2 sólo presenta valores fuera de rango en el pulgar, y valores inferiores al percentil 10% en las flexiones de las articulaciones metacarpofalángicas de los dedos índice a anular, y en la articulación interfalángica proximal del índice; por su parte, S1 presenta valores fuera de rango tanto en el pulgar como en las articulaciones interfalángicas proximales de los dedos, además de valores inferiores al percentil 10% en las flexiones de varias articulaciones metacarpofalángicas.

Tabla 4: RAM (°) de la mano derecha

Dedo	Articulación(*)	Movimiento	Muestra Referencia	Sujetos Patológicos	
			Media (Desv. est.)	S1 (Entre paréntesis el percentil respecto de la muestra de referencia)	S2
Pulgar	CMC	Flexión / Extensión	42,9 (9,7) / 25,6 (16,8)	35,8 (14) / -6,9 (<0)	36,0 (15) / -5,7 (<0)
		Abducción	19,8 (3,7)	12,4 (<0)	16,4 (23)
	MCF	Flexión / Extensión	26,5 (9,2) / 20,1 (11,3)	28,7 (68) / 12,1 (23)	28,2 (67) / 19,0 (43)
		IF	Flexión / Extensión	101,1 (19,3) / 11,7 (14,3)	24,1 (<0) / -3,2 (<0)
Arco palmar		Flexión	29,0 (8,4)	17,0 (34)	15,0 (33)
Índice	MCF	Flexión / Extensión	70,3 (9,1) / 24,5 (14,5)	70,3 (43) / 15,6 (52)	57,0 (9) / 15,6 (52)
		Abducción	34,6 (5,9)	35,9 (76)	36,2 (76)
Corazón	IFP	Flexión / Extensión	108,9 (9,2) / 3,8 (4,2)	50,0 (<0) / -6,8 (<0)	94,9 (11) / 0,0 (0)
		MCF	Flexión / Extensión	81,9 (11,1) / 81,9 (11,1)	60,1 (3) / 15,8 (39)
Anular	MCF	Flexión / Extensión	96,6 (9,7) / 6,3 (4,7)	46,5 (<0) / 0,0 (0)	95,6 (43) / 6,9 (57)
		Abducción	73,6 (8,9) / 23,0 (11,4)	59,4 (7) / 2,8 (27)	62,2 (8) / 18,0 (58)
	IFP	Flexión / Extensión	25,5 (5,7)	24,2 (65)	29,2 (86)
Meñique	MCF	Flexión / Extensión	102,9 (7,7) / 9,4 (6,4)	53,6 (<0) / 0,0 (0)	99,5 (26) / 4,4 (53)
		Abducción	68,6 (6,9) / 21,7 (12,4)	78,8 (93) / 5,1 (33)	60,9 (17) / 23,7 (75)
	IFP	Flexión / Extensión	34,7 (5,7)	34,2 (63)	26,6 (33)
		Flexión / Extensión	90,0 (10,1) / 7,9 (8,3)	33,7 (<0) / -7,3 (<0)	105,2 (97) / 8,6 (77)

(*) CMC: Carpometacarpiana; MCF: Metacarpofalángica; IF: Interfalángica, IFP: Interfalángica proximal.

En la Tabla 5 se muestran los datos recogidos en el test de destreza Purdue. Como es de esperar, de acuerdo a estos valores los sujetos de la muestra de referencia no son sospechosos de lesión cerebral de conformidad con las instrucciones de uso del test, mientras que sí lo serían ambos sujetos patológicos por sus resultados con mano derecha y en trabajo simultáneo. Nuevamente, los valores de la muestra de referencia son ligeramente inferiores a la media (muestra de referencia proporcionada por el fabricante: población de trabajadores, hombres y mujeres, operarios de fábrica de entre 16 y 52 años). En ambos sujetos patológicos se observa una alteración importante en el número de pins de la mano derecha, así como en el trabajo simultáneo, lo cual pone de manifiesto la existencia de un problema en la manipulación fina.

Tabla 5: Valores obtenidos en el test Purdue Pegboard

	Derecha	Izquierda	Simultáneo	Suma	Ensamblaje
Muestra de referencia					
Media (Desv. est.)	16,5 (1,5)	14,9 (2,0)	15,6 (5,4)	44,4 (4,4)	41,6 (5,7)
Sujetos Patológicos					
S1	6	16	3	25	12
S2	7	10	5	22	14

En la Tabla 6 se muestran los datos obtenidos en el test de destreza Box and Block, junto con los valores de normalidad (rango de edad 20-49 para muestra de referencia, edad específica para cada sujeto patológico). Nuevamente, los valores para los sujetos de la muestra de referencia están dentro de la normalidad, mientras que se observa una deficiencia en la mano derecha del sujeto S1, y en ambas manos del sujeto S2.

Tabla 6: Valores obtenidos BOX&BLOCK

Mano	Muestra Referencia		Valores normales [25]	
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
	Media (Desv. est.)	Media (Desv. est.)	Media (Desv. est.)	Media (Desv. est.)
Derecha	79,0 (6,8)	82,4 (6,9)	82,8 (3,8)	84,5 (2,5)
Izquierda	77,1 (6,0)	77,3 (5,3)	81,2 (3,7)	81,0 (2,1)
Sujetos Patológicos			Valores normales [25]	
	S1	S2	Hombre	Mujer
Derecha	52,0	48,0	76,9 (9,2)	72,0 (6,2)
Izquierda	78,0	54,0	75,8 (7,8)	71,3 (7,7)

En la figura 1 se observan las 5 componentes principales (factores) que se obtuvieron al aplicar el ACP a la muestra de referencia, explicativas del 73,7% de la varianza. CP_1 representa la flexión de las articulaciones interfalángicas, esto es, el *arqueo dedos (ArqD)*; CP_2 es una combinación de abducción de dedos salvo el pulgar con flexión de las articulaciones metacarpofalángicas, esto es, el *cierre (Cierre)*; CP_3 representa el *arqueo palmar (ArqP)*; CP_4 representa la *oposición lateral del pulgar al índice*, como la requerida para pinza lateral (*PLat*); y finalmente, CP_5 representa la *oposición frontal* del pulgar al meñique (*Opos*).

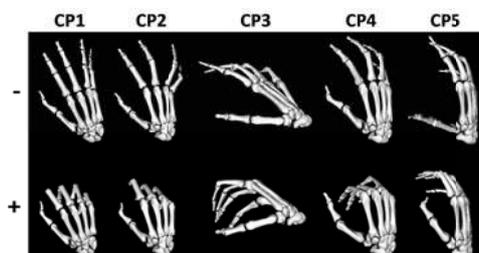


Figura 1: Componentes principales obtenidas de la muestra de referencia durante el desempeño de las AVD.

En la Tabla 7 se muestra la comparación de los estadísticos representativos de la postura y velocidad.

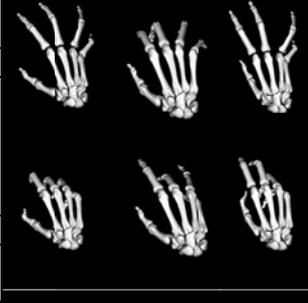
Tabla 7: Percentiles ocupados por los sujetos patológicos en los estadísticos de postura y velocidad en AVD

	Posición factores					Velocidad factores					
	<i>ArqD</i>	<i>Cierre</i>	<i>ArqP</i>	<i>PLat</i>	<i>Opos</i>	<i>ArqD</i>	<i>Cierre</i>	<i>ArqP</i>	<i>PLat</i>	<i>Opos</i>	
S1	Media	<0	6	43	>100	38	93	<0	96	13	81
	DesvEst	<0	63	<0	24	<0	66	<0	51	7	7
	Min	98	11	89	>100	43	5	2	2	15	15
	Max	<0	5	20	90	30	67	>100	>100	99	69
	Rango	<0	56	<0	3	1	66	>100	>100	>100	79
	Mediana	4	8	46	>100	29	3	83	12	92	6
	P25	1	13	65	>100	56	97	77	74	94	93
	P75	<0	17	25	>100	22	4	20	3	11	7
S2	Media	26	34	30	50	21	62	99	52	68	66
	DesvEst	50	>100	41	49	22	86	>100	72	87	30
	Min	34	<0	43	42	72	56	6	22	53	96
	Max	30	>100	21	56	32	97	>100	45	78	11
	Rango	42	>100	12	67	36	89	>100	62	69	3
	Mediana	17	41	30	47	18	<0	94	>100	61	96
	P25	33	19	29	29	28	18	<0	31	4	39
	P75	35	85	27	49	11	96	>100	83	86	50

Los dendogramas obtenidos en los análisis clúster jerárquicos realizados (no mostrados por brevedad) mostraban que el sujeto patológico S1 se separaba en las acciones 2, 4, 9, 11, 12, 15, 19, 22 y 24, con mayor distancia de separación en estas dos últimas, mientras que el sujeto S2 se separaba en las acciones 4, 14 y 15.

Por último, la tabla 8 muestra los resultados de la comparación de las componentes principales de cada sujeto con respecto de los obtenidos globalmente. Se muestran estadísticos de los sujetos de la muestra de referencia y valores individuales para los patológicos.

Tabla 8: Comparación de componentes principales de cada sujeto con respecto a los de la muestra de referencia

	Ángulos de desviación (°) entre los factores de cada sujeto aislado y los de la muestra de referencia					% de varianza explicada por los factores de cada sujeto					Cierre	S1	S2
	<i>ArqD</i>	<i>Cierre</i>	<i>ArqP</i>	<i>PLat</i>	<i>Opos</i>	<i>ArqD</i>	<i>Cierre</i>	<i>ArqP</i>	<i>PLat</i>	<i>Opos</i>			
Muestra de referencia													
Mínimo	8,6	11,0	20,2	15,1	14,9	18,22	10,63	8,29	7,69	7,76		S1	S2
Máximo	29,9	39,2	48,2	50,8	50,6	31,09	31,89	16,03	21,92	13,41			
Media	14,1	20,1	32,8	32,9	34,2	22,23	23,62	11,54	12,46	10,31			
Desv. est.	4,3	7,9	7,9	10,3	11,6	3,42	5,11	1,94	3,86	1,55			
Sujetos Patológicos													
S1	29,0	69,0	41,2	25,1	23,0	32,82	10,76	14,88	14,80	8,82			
S2	16,5	12,0	48,1	37,1	50,8	20,37	29,50	9,08	8,65	10,65			

4. Discusión

Si bien ambos pacientes estaban clínicamente dados de alta, se observa que la mujer (S2) estaría dentro de normalidad en términos de fuerza y ligeramente afectada en RAM, mientras que el hombre (S1) estaría claramente afectado tanto en fuerza como en RAM, especialmente en sus articulaciones interfalángicas proximales. Los test de destreza no parecen proporcionar información significativa en relación a la funcionalidad, pues no han discriminado entre los sujetos patológicos S1 y S2, calificados ambos como muy afectados tanto en destreza gruesa como fina. La mujer recuperada de ictus fue capaz de realizar las AVD que le fueron solicitadas con notable normalidad, mientras que el hombre con la mano lesionada, si bien consiguió completar también todas las AVD, manifestó mayor dificultad en ciertas tareas como la escritura. Estos tests pueden dar una imagen exagerada para el propósito del análisis de la funcionalidad. Por otra parte, durante la realización del test sobre sujetos sanos se pudo observar que sus resultados se ven muy influenciados por la disposición y carácter de la persona, existiendo diferencia entre aquellos más nerviosos y competitivos con respecto de aquellos más tranquilos, no implicando este rasgo del carácter una afectación funcional en absoluto.

El análisis cinemático propuesto aporta más información al respecto del impacto que las alteraciones cinemáticas derivadas de la patología tienen sobre el desarrollo de AVD. En el caso del sujeto S1, se observan grandes diferencias en postura y velocidad (tabla 7). Los valores medios de postura de *ArqD* y *Cierre* son menores que los de la muestra de referencia en las AVD, mientras que son mayores para *PLat*, acordes a las limitaciones producidas por la lesión, con una postura de retracción de la mano en su posición relajada, y explicaría también las diferencias encontradas en RAM. Los rangos de variabilidad son menores que los de la muestra de referencia, a excepción del factor *Cierre*, lo que da idea de la pérdida de destreza. La velocidad media de los factores *ArqD*, *ArqP* y *Opos* es mayor que la muestra de referencia, mientras que la de los factores *Cierre* y *PLat* es menor. Además, se observan valores más extremos en los factores *Cierre*, *ArqP* y *PLat*, lo que parece indicar una transición brusca entre posturas debida a problemas en el control de dichos movimientos. Revisando los ángulos de desviación entre factores en la tabla 8 para el sujeto S1, el único factor con valores fuera de los límites de la muestra de referencia es el factor *Cierre* (ver representación del factor *Cierre* para muestra de referencia, y sujetos S1 y S2 en la tabla 8), poniendo de manifiesto la alteración física generada por la lesión. Por otra parte, las varianzas explicadas por las componentes del sujeto S1 están dentro de los límites de las de la muestra de referencia, pero con valores mayores que la media para el factor *ArqD* a costa del de *Cierre*, posiblemente por los problemas comentados para este último factor. De los dendogramas por actividad se observa que el sujeto S1 se aleja de la normalidad en acciones donde se requiere una manipulación con implicación de los factores *ArqD* y *PLat*, como escribir, comer con tenedor o cepillarse los dientes.

En el caso del Sujeto 2, el análisis detallado de su cinemática permite observar una cierta divergencia en el *Cierre* respecto a la muestra de referencia, con mayores velocidades y amplitudes de posturas, en contraposición de los menores valores de RAM registrados en las articulaciones metacarpofalángicas para S2 en comparación con la muestra de referencia. La recuperación de la flexión de las articulaciones metacarpofalángicas en pacientes de ictus suele ser costosa, como se refleja en los valores de RAM registrados para S2. Sin embargo, el análisis cinemático nos indica que hacen uso de mayor rango funcional que la muestra de referencia. Es posible que ello se deba a que durante la rehabilitación se haya enfatizado en la recuperación de la movilidad de *Cierre*, y que por tanto la paciente supla con este movimiento deficiencias en otros factores menos recuperados como el *ArqP* o *Opos*, cuyos valores son bajos con respecto a los de la muestra de referencia. También se observan valores muy extremos en las velocidades del factor *Cierre*, que pueden dar idea de cierta dificultad en su control. El factor *PLat* presenta unos valores más acordes a la muestra de referencia, tanto en postura como en velocidad. Estos resultados serían coherentes con una destreza fina afectada, tal y como se derivaba del test de Purdue, pero

mientras que éste no proporciona más información, mediante ACP se ha podido observar que el impacto en la capacidad de desarrollar las AVD es relativo, afectando más a unos movimientos que a otros, y se puede ver cómo se compensan, en términos de posturas y velocidades. Los valores de la tabla 8 para S2 refuerzan estas observaciones, con mayor disimilitud en los factores *ArqP* y *Opos* (pero dentro de los valores de la muestra de referencia), y mayor varianza explicada para el factor *Cierre* a costa de *ArqP* y *Opos*. Las diferencias observadas en los dendogramas por actividad del sujeto S2 posiblemente se deban más a la propiocepción respecto de sus miembros inferiores y del hombro, y no tanto a dificultades funcionales en las manos.

5. Conclusiones y desarrollos futuros

Este trabajo presenta una aproximación al uso de la reducción dimensional basada en ACP como metodología válida y objetiva de valoración funcional de la mano humana. Los diferentes métodos propuestos proporcionan resultados acordes con las medidas clásicas de fuerza, RAM y tests de destreza, pero dan información más detallada del comportamiento cinemático del sujeto en el desarrollo de AVD. Las tres comparaciones que se han hecho aportan información complementaria. La comparación de ACP individuales puede resultar la más sencilla de aplicar e interpretar, y proporciona información sobre la coordinación de los movimientos y su frecuencia de uso. La comparación de percentiles de estadísticos de postura y velocidad da información más detallada, no solo de posturas sino también de velocidades, aunque resulta más compleja de interpretar. Y por último, el análisis clúster jerárquico permite detectar problemas en el desarrollo de actividades concretas. Por tanto, estas metodologías pueden utilizarse como base para el desarrollo de una herramienta para objetivar la valoración de la funcionalidad en el desarrollo de AVD, que puede utilizarse tanto en la valoración del grado de discapacidad, como para definir estrategias rehabilitadoras y en la toma de decisiones clínicas. No obstante hay que remarcar algunas limitaciones antes de poder ser aplicado. Entre estas limitaciones está el tamaño de la muestra de referencia y la selección de actividades, que además han sido muy dirigidas y controladas. Este trabajo pretende ser el punto de partida para desarrollar una base de datos abierta en sujetos y acciones, de modo que se pueda ir alimentando con nuevas mediciones, tanto de sujetos normales como patológicos, y con mayor variedad de acciones, e incluyendo las dos manos.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación de la Universitat Jaume I a través de los proyectos P1-1B2013-33 y P1-1B2014-10, así como al Ministerio de Economía y Competitividad y la Unión Europea a través de los fondos FEDER a través del proyecto DPI2014-52095-P en los cuales se enmarca parcialmente esta investigación. Agradecen así mismo la colaboración ofrecida por Unión de Mutuas a raíz del convenio específico firmado con la Universitat Jaume I.

7. Referencias

- [1] M. Vergara, J. L. Sancho-Bru, V. Gracia-Ibáñez, A. Pérez-González. An introductory study of common grasps used by adults during performance of activities of daily living, *J. Hand Ther.*, 27, (2014), 1–28.
- [2] K.-S. Lee, M.-C. Jung. Ergonomic evaluation of biomechanical hand function, *Saf. Health Work*, 6, (2015), 9–17.
- [3] C. Metcalf, J. Adams, J. Burridge, V. Yule, P. Chappell. A review of clinical upper limb assessments within the framework of the WHO ICF, *Musculoskeletal Care*, 5(3), (2007), 160–173.
- [4] R. J. M. Lemmens, A. A. A. Timmermans, Y. J. M. Janssen-Potten, R. J. E. M. Smeets, H. A. M. Seelen. Valid and reliable instruments for arm-hand assessment at ICF activity level in persons with hemiplegia: a systematic review, *BMC Neurol.*, 12, (2012). DOI: 10.1186/1471-2377-12-21
- [5] R. K. Powell, R. L. von der Heyde. The inclusion of activities of daily living in flexor tendon rehabilitation: a survey, *J. Hand Ther.*, 27, (2014), 23–29.
- [6] WHO | Clasificación internacional de Funcionalidad, Discapacidad y Salud (CIF)
- [7] H. Y. N. Lindner, B. S. Nätterlund, L. M. N. Hermansson. Upper limb prosthetic outcome measures: review and content comparison based on International Classification of Functioning, Disability and Health, *Prosthet. Orthot. Int.*, 34(2), (2010), 109–128.
- [8] L. van Dokkum, I. Hauret, D. Mottet, J. Froger, J. Métrot, I. Laffont. The contribution of kinematics in the assessment of upper limb motor recovery early after stroke, *Neurorehabil. Neural Repair*, 28, (2014), 4–12.

- [9] M. C. Hume, H. Gellman, H. McKellop, R. H. Brumfield. Functional range of motion of the joints of the hand, *J. Hand Surg. Am.*, 15(2), (1990), 240–243.
- [10] H. Hayashi, H. Shimizu. Essential motion of metacarpophalangeal joints during activities of daily living, *J. Hand Ther.*, 26, (2013), 69–74.
- [11] G. I. Bain, N. Polites, B. G. Higgs, R. J. Heptinstall, A. M. McGrath. The functional range of motion of the finger joints, *J. Hand Surg. Eur. Vol.*, (2014). DOI: 10.1177/1753193414533754
- [12] M. G. el-Badawi, M. M. Butt, A. G. al-Zuhair, R. A. Fadel. Extensor tendons of the fingers: arrangement and variations-II, *Clin. Anat.*, 8(6), (1995), 391–398.
- [13] M. Santello, G. Baud-Bovy, H. Jörntell. Neural bases of hand synergies, *Front. Comput. Neurosci.*, 7, (2013), 23.
- [14] M. Santello, M. Flanders, J. F. Soechting. Patterns of hand motion during grasping and the influence of sensory guidance, *J. Neurosci.*, 22(4), (2002), 1426–1435.
- [15] M. Santello, M. Flanders, J. F. Soechting. Postural hand synergies for tool use, *J. Neurosci.*, 18(23), (1998), 10105–10115.
- [16] P. Braido, X. Zhang. Quantitative analysis of finger motion coordination in hand manipulative and gestic acts, *Hum. Mov. Sci.*, 22, (2004), 661–678.
- [17] P. H. Thakur, A. J. Bastian, S. S. Hsiao. Multidigit Movement Synergies of the Human Hand in an Unconstrained Haptic Exploration Task, *J. Neurosci.*, 28(6), (2008), 1271–1281.
- [18] H. M. Clarkson. *Musculoskeletal Assessment: Joint Motion and Muscle Testing (Musculoskeletal Assesment)*, 3rd. Ed. Alberta (Canada): Lippincott Williams and Wilkins, 2012.
- [19] V. Gracia-Ibáñez, M. Vergara, J. H. Buffi, W. M. Murray, J. L. Sancho-Bru. Across-subject calibration of an instrumented glove to measure hand movement for clinical purposes, *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, (2016), (In Revision).
- [20] M. A. Lorenzo-Agudo, P. Santos-García, D. Sánchez-Belizón. Determinación de los valores normales de fuerza muscular de puño y pinza en una población laboral, *Rehabilitación*, 41(5), (2007), 220–227.
- [21] E. Fain, C. Weatherford. Comparative study of millennials' (age 20-34 years) grip and lateral pinch with the norms, *J. Hand Ther.*, (2016).
- [22] V. Mathiowetz, N. Kashman, G. Volland, K. Weber, M. Dowe, S. Rogers. Grip and pinch strength: normative data for adults, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 66(2), (1985), 69–74.
- [23] T. Nilsen, M. Hermann, C. S. Eriksen, H. Dagfinrud, P. Mowinckel, I. Kjekken. Grip force and pinch grip in an adult population: reference values and factors associated with grip force, *Scand. J. Occup. Ther.*, 19(3), (2012), 288–296.
- [24] V. Gracia-Ibáñez, M. Vergara, J. L. Sancho-Bru., M.C. Mora, C. Piqueras, Functional Range of Motion of the Hand Joints according to the International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF), *J. Hand Ther.*, (2016) (In Revision).
- [25] V. Mathiowetz, G. Volland, N. Kashman, K. Weber. Adult Norms for the Box and Block Test of Manual Dexterity, *Am. J. Occup. Ther.*, 39(6), (1985), 386–391.