

Captura de movimiento de brazo derecho mediante una plataforma de evaluación para tener un banco de datos: Estudio experimental en paciente hemipléjico

Abraham Briseño Cerón ^{1,2}, Omar A. Domínguez Ramírez ¹, Vicente Parra Vega ³
y Dora A. Rodríguez Vega ²

¹Centro de Investigación en Tecnologías de Información y Sistemas,
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,
Universidad Politécnica de Sinaloa,
México

³Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Saltillo,
México

omar@uaeh.edu.mx, {abriseno, drodriguez}@upsin.edu.mx,
vparra@cinvestav.mx

Resumen El estudio de las capacidades motoras de las extremidades superiores mediante la ayuda de sistemas visuales puede ser complejo debido al espacio de trabajo que normalmente está abarrotado de oclusiones. En este trabajo, esta limitación se elude con la propuesta de una plataforma para estudiar el movimiento articular en pacientes hemipléjicos, que recurre a un sistema de cámaras que trabajan en un plano 3D y permite estudiar al miembro superior derecho a siete grados de libertad basado en el modelo cinemático de la extremidad y la interfaz háptica para calificar las habilidades motoras. Bajo el esquema de protocolos diseñados bajo condiciones controladas. El primero se basa en espacial visual con el modelo cinemático Denavit Hartenberg para cuantificar los movimientos espaciales en planos anatómicos. La segunda se ejecuta una terapia física basada en el protocolo Peabody para establecer efectos de la actividad visual y motora utilizando el dispositivo háptico Phantom Omni. Los resultados experimentales en voluntarios sanos y en pacientes hemipléjicos conducirán a evaluar los rangos de movimiento y los umbrales que indican un daño en el miembro superior derecho, así como las directrices que se sugieren para el uso de la robótica en el diagnóstico útil para la rehabilitación motora.

Palabras clave: captura de movimiento, modelo cinemático, miembro superior.

1. Introducción

En este trabajo se presentan dos estudios experimentales, que permiten analizar y evaluar los daños ocurridos por un accidente cerebrovascular presentándose parálisis de medio cuerpo. Para esta investigación se analizó la información obtenida del miembro superior derecho, mediante la planificación de actividades y a través de un sistema de captura de movimiento corporal. Aunque existen muchos estudios sobre el

análisis de movimiento del miembro superior, cada experimento puede estar basado en un protocolo médico diferente o estudios específicos de algún comportamiento.

La naturaleza del movimiento del brazo es tan diferente por cada humano debido a que es variable y compleja [1]. Sin embargo para realizar un estudio del miembro superior, se toma como base una actividad rutinaria o planificada, tal y como se realiza en la fase de rehabilitación, debido a que la repetición de tareas establecen un mecanismo de recuperación de movimiento. La mayoría de los estudios establecen una tarea para obtener modelos o patrones, tomados del análisis de una población, para esto establecen rutinas donde el usuario interactúa con objetos y a través de la captura de imágenes o video, estudian los movimientos para determinar por ejemplo ángulos de movimiento o características del padecimiento [2].

Para esta investigación se tomaron muestras de personas sanas y con hemiplejía, desde un modelo 3D y son almacenados en archivos .xls ó texto, lo que permite analizar el comportamiento de los daños ocasionados en el miembro superior derecho. El primer experimento consiste en el análisis del movimiento para identificar niveles de daño por hemiplejía, para realizarlo se usó un sistema de captura de movimiento [3] y la planificación de movimientos biomecánicos. En el segundo estudio se utilizó el protocolo clínico PeaBody, un guante de datos de cinco sensores [5], un phantom omni [4] y el sistema de captura, para observar el impacto al realizar las actividades del protocolo clínico a través del dispositivo robótico.

Este estudio es la base para modelar algoritmos de planificación de movimiento y fuerza empleados en sistemas robóticos como el cyberforce y cybergrasp, para la etapa de rehabilitación en miembro superior derecho.

2. Metodología

Para llevar a cabo la obtención de los datos con la captura de movimientos, se siguen los pasos que se muestran en la figura 1.

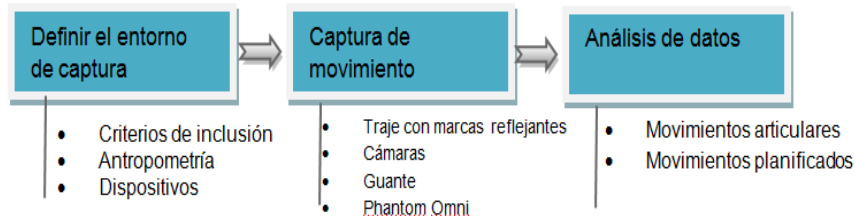


Figura 1. Metodología para la caracterización.

- Definir el entorno de captura: Primeramente se definen los criterios de inclusión, así mismo se planifica los movimientos que realizarán las personas y se define el entorno y dispositivos que participaran para que el muestreo sea homogéneo para personas sanas y con hemiplejía.
- Para la captura de movimiento se utilizó un traje con marcas reflejantes en puntos que permiten capturar los movimientos articulares, con el guante se mide la flexión y extensión de la mano en el agarre del gimbal del phantom

omni. Con este último dispositivo se realizan movimientos de acuerdo al protocolo Pea body, que con la lectura de datos se ve el impacto en los movimientos sobre el miembro superior derecho.

- c) Para analizar los datos se generaron archivos en Excel y Texto, a partir del modelo en 3D que proporciona el software de captura de movimiento, a través del código desarrollado con el SDK del fabricante del sistema de cámaras.

3. Desarrollo

Para estas muestras participaron 7 personas sanas (3 sexo femenino y 4 sexo masculino) y 3 pacientes del sexo femenino con hemiplejía, bajo las siguientes condiciones ambientales:

- Temperatura regulada a 25° centígrados.
- Humedad en rango de 60% al 80%.
- Iluminación a 1100 lúmenes.
- La edad de las personas sanas es de 20 a 30 años, estudiantes, no fuman, no toman y de complexión delgada.
- Personas con hemiplejía: Edad 40 a 50 años, amas de casa, sexo femenino, padecimiento de 1 a 6 meses, observaciones médicas similares de presenta secuelas de infarto cerebral afectando hemicuerpo derecho, presenta problemas de lenguaje, cuerpo derecho funcional en un 20%, el miembro superior derecho (MSD) a un 10% de contracturas en flexión, hombro derecho doloroso, el tobillo derecho inestable por lo que se usa ortesis, valoración recomendada cada 6 semanas.

Este trabajo de investigación está dividido en dos experimentos que a continuación se mencionan.

Tabla 1. Parámetros D-H para miembro superior.

Unión	β_i	Número	α_i	a_i	d_i	θ_i
Base	0	$1_{(0,1)}$	0	a_0	d_0	0
Hombro	(-90 rotación media/ rotación lateral +90)	$2_{(1,2)}$	-90	0	0	$\beta_1 + 90^\circ$
Hombro	(-180 abducción/ aducción +50)	$3_{(2,3)}$	90	0	0	$\beta_2 + 90^\circ$
Hombro	(-180 flexión/ extensión +80)	$4_{(3,4)}$	0	L1	0	$\beta_3 + 90^\circ$
Codo	(-10 flexión/ extensión +145)	$5_{(4,5)}$	90	0	0	$\beta_4 + 90^\circ$
Codo	(-90 pronación/ supinación +90)	$6_{(5,6)}$	90	0	L2	$\beta_5 + 90^\circ$
Muñeca	(-90 flexión/ extensión +70)	$7_{(6,7)}$	90	0	0	$\beta_6 + 90^\circ$
Muñeca	(-15 abducción/ aducción +40)	$8_{(7,8)}$	0	L3	0	β_7

3.1. Primer experimento

Para el análisis de movimiento de miembro superior derecho se planificaron los movimientos de estudio basándose en el modelo Denavit-Hartenberg D-H [6], para 7 grados de libertad (gdl) en miembro superior, como se observa en la figura 2.

En la Tabla 1, se muestran los parámetros D-H que se tomaron de referencia para este estudio [6].

El rango de movimiento para cada variable en el modelo, θ_i , depende del rango fisiológico de movimiento para la articulación anatómica correspondiente, β_i . Los parámetros a_i y d_i , son longitudes de los segmentos corporales, que son constantes para cada individuo [6].

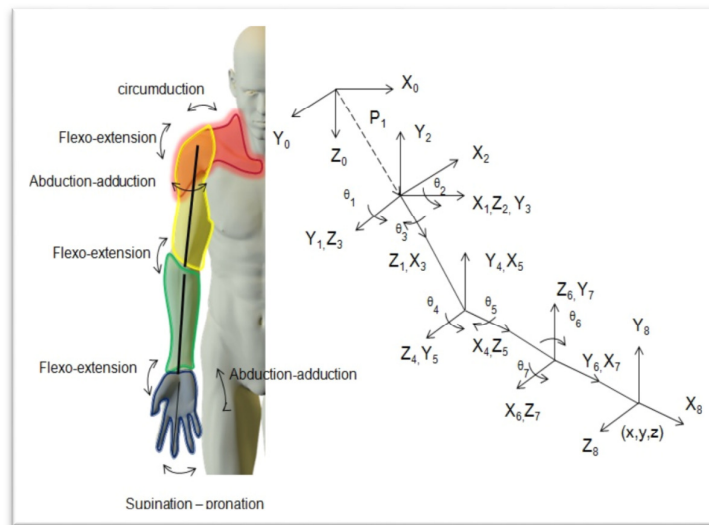


Figura 2. Modelado a 7 grados de libertad del miembro superior con notación D-H [6].

Los movimientos articulares para evaluar los daños ocasionados en el movimiento articular por hemiplejía sugeridos son:

- Circunducción: movimiento circular que combina la flexión, extensión, separación y aproximación, de tal manera que el extremo distal de la estructura efectúa un círculo.
- Flexión: movimiento que reduce el ángulo entre los huesos o partes del cuerpo.
- La extensión: movimiento que aumenta el ángulo entre los huesos de la extremidad en una articulación.
- Abducción: movimiento hacia afuera de la extremidad lejos del plano medio del cuerpo.
- Aducción es un movimiento que trae un miembro - brazo o una pierna -

más cerca del cuerpo, lo opuesto a la abducción.

- Supinación es la rotación del antebrazo, la palma hacia arriba.
- Pronación es una rotación del antebrazo la palma hacia abajo

La captura de movimiento, para este experimento se realizó como se observa en la figura 3 y mediante la selección entre las marcas se obtuvo información como longitud, la posición tridimensional de las marcas, entre otra, permitiendo calcular los ángulos articulares en cada movimiento planificado.

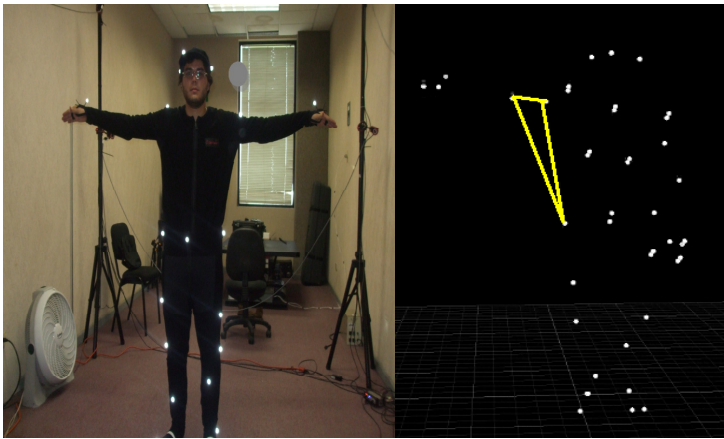


Figura 3. Captura de movimiento.

En la tabla 2, se muestran los ángulos obtenidos de una persona sana y un paciente, de acuerdo al segmento hombro, codo y muñeca.

Tabla 2. Resultados persona Sana y con Hemiplejía.

Paciente 1 Hemipléjico			ARTICULACIÓN	MOVIMIENTO	ÁNGULO
ARTICULACIÓN	MOVIMIENTO	ÁNGULO EN GRADOS			
HOMBRO	FLEXIÓN		HOMBRO	FLEXIÓN	177.4337
HOMBRO	EXTENSIÓN		HOMBRO	EXTENSIÓN	141.8856
HOMBRO	ABDUCCIÓN		HOMBRO	ABDUCCIÓN	86.21
HOMBRO	ROTACION MEDIA		HOMBRO	ADUCCIÓN	11.84
HOMBRO	ROTACION LATERAL		HOMBRO	ROTACIÓN MEDIA	45.0254
HOMBRO	ADUCCIÓN	86.21	HOMBRO	ROTACIÓN LATERAL	66.1072
CODO	FLEXIÓN	70.3354	CODO	FLEXIÓN	45.1602
CODO	EXTENSIÓN	136.6067	CODO	EXTENSIÓN	152.3405
CODO	PRONACIÓN	20.237	CODO	PRONACIÓN	62.4131
CODO	SUPINACIÓN	62.4131	CODO	SUPINACIÓN	0
MUÑECA	FLEXIÓN	22.8999	MUÑECA	FLEXIÓN	145.55
MUÑECA	EXTENSIÓN	25.7955	MUÑECA	EXTENSIÓN	119.6595
MUÑECA	ABDUCCIÓN		MUÑECA	ABDUCCIÓN	167.143
MUÑECA	ADUCCIÓN		MUÑECA	ADUCCIÓN	49.4704

Es necesario señalar que para lograr estos movimientos se realizaron tres ensayos indicándole los movimientos.

3.2. Segundo experimento

Análisis de movimiento de miembro superior derecho mediante guante de datos y phantom omni. En este estudio se propuso utilizar el protocolo PeaBody, que es una evaluación que se compone de seis subpruebas que miden las habilidades motoras interrelacionadas que se desarrollan a temprana edad. Está diseñado para evaluar las habilidades motoras de los niños desde el nacimiento hasta los 5 años de edad. Este protocolo es utilizado por los terapeutas ocupacionales, fisioterapeutas, especialistas en diagnóstico, intervención temprana, adaptados profesores de educación física, psicólogos, y otros que están interesados en examinar las habilidades motoras y que para este experimento fue utilizado en personas mayores [7].

Dentro del grupo de subpruebas está la de tipo *Visual y Motor*, esta mide la capacidad de utilizar habilidades de percepción visual para realizar complejas tareas ojo-mano de coordinación, tales como alcanzar y agarrar un objeto, construir con bloques, y la copia de diseños[7]. Por lo que se diseñaron figuras como rectas paralelas horizontales y verticales, círculo, rectángulo y una cruz, para que el usuario realizara sobre la plantilla la copia del diseño y mediante el dispositivo háptico se capture como fue realizado el trazo, así mismo con el guante se mide el agarre en el efector final del dispositivo, para evaluar comportamiento de dedos, como se muestra en la figura 4, estas acciones son capturadas mediante las cámaras, lo que permite analizar el movimiento durante el proceso del trazo para evaluar el efecto que tendrá al usar dispositivos de guiado o control sobre los movimientos de personas hemipléjicas para el diagnóstico o rehabilitación.



Figura 4. Captura de datos dispositivos.

En esta fase los pacientes realizan la actividad estando sentados y mediante el phantom omni realizan el trazo sobre la plantilla, además se coloca la parte superior

del traje de captura de movimiento para un muestreo de los movimientos hechos en el miembro superior, como se observa en la figura 5.

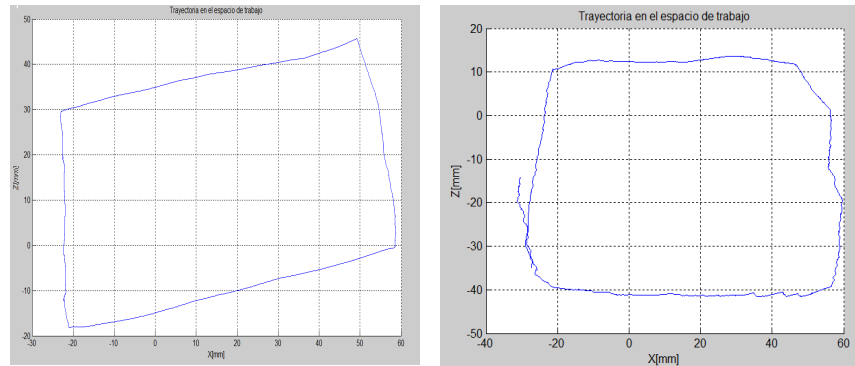


Figura 5. Trazo de rectángulo; a) persona sana b) persona hemipléjica.

Se analizó la diferencia entre la posición real y la posición deseada tomando como base el trazo hecho por una persona sana, como se muestra en la figura 6.

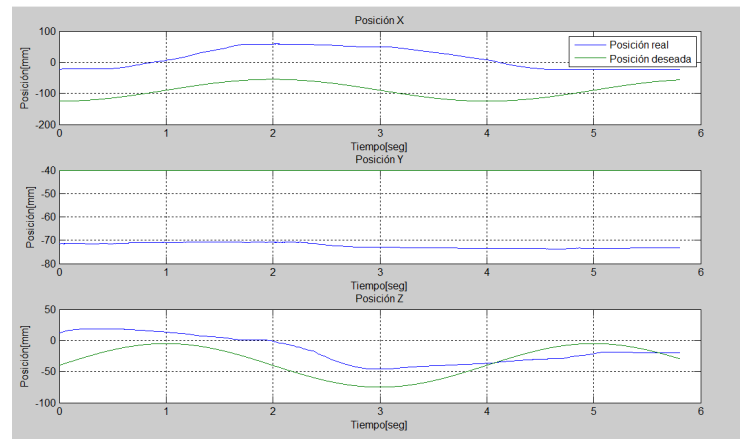


Figura 6. Análisis de posición al dibujar el rectángulo por la persona sana.

El movimiento en los pacientes sanos es constante y dibujan de izquierda a derecha desde la parte inferior en el caso de dibujar un rectángulo, sin embargo es problemático para una persona hemipléjica realizar este movimiento de abducción o aducción, sin embargo después intentos solo dos de las tres personas lograron realizar un movimiento dibujar el rectángulo.

Con el guante de datos de cinco sensores, se mide la flexoextensión del agarre del gimbal al realizar el trazo, permitiendo analizar el comportamiento por dedo, como se observa en la figura 7.a para personas sanas y figura 7.b en personas hemipléjicas.

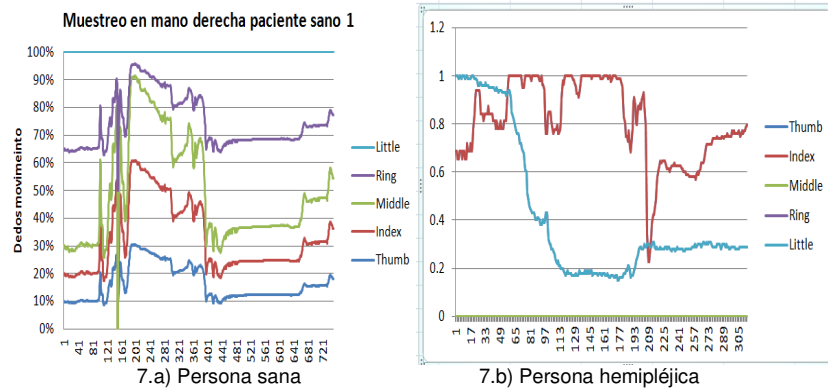


Figura 7. Análisis de agarre.

El agarre de los objetos de una persona hemipléjica es constante a través del dedo pulgar y meñique, esto debido a que al analizar la información se observa que existe espasticidad desde el comienzo del padecimiento, lo cual medicamente es recomendable atender en rehabilitación durante los primeros seis meses.

4. Resultados

Como parte de esta experimentación se comprobó con el volumen de datos almacenados, el movimiento angular del modelo D-H en pacientes sanos, permitiendo contar con la información mínima necesaria para establecer parámetros para posteriormente definir un umbral de movimiento que permita considerar al paciente hemipléjico como rehabilitado. En la figura 8, se muestran una gráfica comparativa entre los pacientes sanos y hemipléjicos, y con el resto de la información se tienen las siguientes observaciones:

1. Se verificó que el paciente hemipléjico presenta poco movimiento en hombro y dos de los tres casos presentaron dolor por hombro dislocado.
2. Existe una mayor amplitud angular en la circunducción en rotación lateral debido al desplazamiento de todo el miembro para tener agarre o movimiento de supinación; el origen del movimiento es la parte central media entre los miembros superiores, por lo que no es movimiento de hombro.
3. Los pacientes hemipléjicos tiene poca flexión en muñeca debido a que adquiere la mano la postura de extensión a causa de la espasticidad muscular.
4. Se obtienen rangos preliminares que sirven como referencia para el desarrollo algoritmos de rehabilitación con asistencia robótica.
 - a) En hombro se obtuvo un rango de 60° a 90° de movimiento de rotación.
 - b) El rango en el codo para supinación y pronación es de 48° a 63°, mientras que para la flexo extensión es de 49° a 145°.

- c) En la muñeca se tiene el rango de flexo extensión es de 25° - 39° .
5. El uso de dispositivos robóticos sin algoritmos de control e implementando un protocolo, proporciona estabilidad física y mental, esto por comentarios de los pacientes siendo posible realizar una asistencia robótica para el diagnóstico y rehabilitación que tenga resultados óptimos.
 6. En los dedos se tiene un agarre en forma de pinza con dedo meñique y pulgar, con poco movimiento en dedo índice y anular. Es necesario implementar algún otro dispositivo o técnica que permita evaluar la abducción aducción.
 7. El diseño e implementación de algoritmos para guiado, fuerza y posición, requieren de una plataforma robótica robusta y con retorno de datos, que permita el desarrollo de la plataforma de diagnóstico y rehabilitación en miembro superior derecho y se estudia el uso del sistema Cyberforce, Cybergrasp y Dataglove 22 sensores.

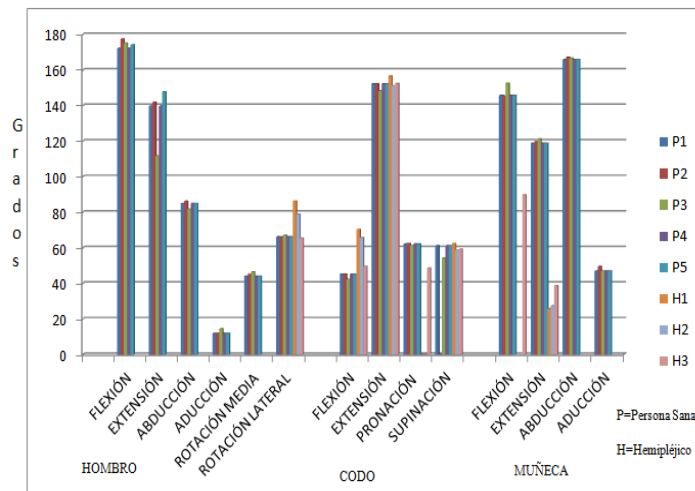


Figura 8. Resultado comparativo personas sanas y pacientes.

Como se puede observar en la gráfica se tienen movimientos comparativos entre personas sanas y pacientes, que permitirán tener rangos y umbrales para desarrollar sistemas asistidos con dispositivos robóticos.

5. Conclusiones

El uso de sistemas de captura de movimiento o sistemas con giroscopios, acelerómetros o con magnetómetro permiten una evaluación biomecánica sobre las actividades cotidianas, deportivas o de salud en los humanos. Sin embargo el campo de estudio requiere de un trabajo multidisciplinario para que exista una valoración y contribución en cualquier área. Para este estudio se contó con el apoyo del Centro de

Rehabilitación Integral zona Sur de Sinaloa, lo que permitió contar con el análisis del especialista en el área y contar con sugerencias dada la experiencia. A partir de estos datos se tienen rangos iniciales para el desarrollo de plataformas experimentales para asistencia robótica en la fisioterapia en miembro superior derecho.

Referencias

1. Rau, G., Disselhorst-Klug, C.: Movement Biomechanics Goes Upwards: From the Leg to the Arm. *Journal of Biomechanics*, 33, pp. 1207–1216 (2000)
2. Adamovich, S.V., Archambault, P.S.: Hand trajectory invariance in reaching movements involving the trunk. *Experimental Brain Research*, 138, pp. 288–303 (2001)
3. Optitrack, <http://www.naturalpoint.com>
4. Sensable, <http://www.sensable.com>
5. 5DT, <http://www.5dt.com/>
6. Pons, José: Wearable Robots, Biomechatronics Exoskeletons, Madrid, España, John Wiley. Robot and Human Interactive Communication, Toyama, Japón, pp. 57-67 (2009)
7. Provost, Beth: Concurrent Validity of the Bayley Scales of Infant Development II, Motor Scale and the Peabody Developmental Motor Scales-2 in Children with Developmental Delays. Research report Pediatric Physical Therapy, pp. 149-56 (2005)
8. Rymer: Rehabilitation Robotics. What Lies Ahead? In: Proc. of the International Neuro-rehabilitation Symposium 2009, pp. 1-20 (2009)
9. Seo: Design for presence: A structured Approach to Virtual Reality System Design (Teleoperators and Virtual Environments). Vol. 11, No. 4 pp. 120-126 (2002)
10. Spong: Robot Modeling and Control. First Edition, John Wiley & Sons, Inc.v(2004)
11. Popescu, V.G.: A Virtual Reality-based Tele-rehabilitation System with Force Feedback. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, vol. 4, issue, pp. 45 - 51, March (2000)
12. Boian, R.F.: Haptic Effects for Virtual Reality-Based Post-Stroke Rehabilitation. In: Proc. of 11th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp. 247-253 (2003)
13. Beth Provost: Concurrent Validity of the Bayley Scales of Infant Development II Motor Scale and the Peabody Developmental Motor Scales-2 in Children with Developmental Delays. Research Report, 0898-5669/04/1603-0149, Pediatric, Physical Therapy (2004)
14. Alamri, A.: Haptic Exercises for Measuring Improvement of Post-Stroke Rehabilitation Patients. International Workshop on Medical Measurement and Applications, Warsaw, Poland, May 2007, pp 1-10 (2007)
15. Chu, C.: Markless Kinematic Model and Motion Capture from Sequences. In: Proceedings of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 475 (2003)
16. Mündermann: The evolution of methods for the capture of human movement leading to markerless motion capture for biomechanical applications. *Journal of Neuro-Engineering and Rehabilitation*, 3: 6-6 (2006)
17. Cyberglove systems, <http://www.cyberglovesystems.com/>
18. Beth: Assessment of motor development and function in preschool children. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 11: 189–196 (2005)
19. Young, G: Assessment of Workload Using NASA Task Load Index in Perianesthesia Nursing. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, Vol 23, No 2 (April); pp. 102-110 (2008)
20. Sandra: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, pp. 1-46. NASA TLX Chapter1 (2003)