



NedCodo/IBV, haciendo fácil y objetiva la valoración biomecánica del codo

Cristina Herrera Liger¹, Enrique Medina Ripoll¹, Úrsula Martínez-Iranzo¹, Salvador Pitarch Corresa¹, Ignacio Bermejo Bosch^{1,2}, Xavier Andrade Celdrán¹, Juan López Pascual¹

¹ Instituto de Biomecánica (IBV).
Universitat Politècnica de València.
Edificio 9C. Camino de Vera s/n.
(46022) Valencia. España

² Grupo de Tecnología Sanitaria del IBV,
CIBER de Bioingeniería, Biomateriales y
Nanomedicina (CIBER-BBN)

NedCodo/IBV es una aplicación *software* desarrollada por el Instituto de Biomecánica (IBV) para asistir al profesional en la evaluación funcional del codo, destacando su utilidad en el estudio de patologías complejas como la epicondiosis o epicondilitis lateral. Se trata de un producto sanitario Clase I, especialmente diseñado para ofrecer resultados objetivos y no manipulables de la función del codo de una forma ágil y sencilla. Los resultados se comparan con bases de datos para facilitar la interpretación y toma de decisiones relacionadas con el manejo terapéutico y la reintegración laboral.





INTRODUCCIÓN

El codo es, a nivel funcional, una de las articulaciones más importantes del cuerpo humano, fundamentalmente en lo que se refiere a la actividad de manipulación. Gracias a sus principales ejes de movimiento [1], uno transversal (flexoextensión) y otro longitudinal (pronosupinación), el codo permite dirigir y posicionar a la mano sobre su diana final de acción manipulativa [2].

Las patologías del codo son muchas y de diverso origen (traumático, degenerativo, inflamatorio o neurológico, etc. [3]), pudiendo, a su vez, ocasionar limitaciones distintas, con afectación de gestos específicos en cada caso. Una de las causas de dolor de codo más importante por su elevada prevalencia es la epicondilitis lateral (también denominada epicondilosis por el tipo de lesión tendinosa causante del cuadro [4,5]). Este cuadro es especialmente relevante en el ámbito laboral, dada su asociación a factores de riesgo físicos, como manejo de herramientas o movimientos repetitivos de miembro superior, y suele afectar, entre otros, a la fuerza de prensión de la mano.

A pesar de la existencia de pruebas complementarias, que informan sobre las lesiones estructurales subyacentes a una patología, en ocasiones existe discrepancia entre el dolor o la limitación referida por el paciente y dichas lesiones. De esta forma, la valoración biomecánica se presenta como una herramienta objetiva para valorar las repercusiones

reales ocasionadas por la patología en la función del sujeto, resultando útil para:

- Apoyo en el diagnóstico de trastornos musculoesqueléticos de acuerdo al patrón funcional.
- Evaluación de la gravedad, alcance o naturaleza de una enfermedad o lesión, desde el punto de vista de la discapacidad que ésta ocasiona.
- Seguimiento de los tratamientos y/o apoyo para la selección del más adecuado dependiendo de la patología.
- Evaluación de la capacidad del individuo y apoyo en la toma de decisiones relacionadas con su puesto de trabajo.
- Predicción de resultados de una intervención determinada.

En resumen, la valoración biomecánica del codo puede ayudar a la planificación de tratamientos de rehabilitación y aportar información para la toma de decisiones en el tratamiento del paciente. En este artículo se propone un sistema de valoración basado en la evaluación de diferentes funciones y actividades del miembro superior, de manera que sea posible seleccionar aquellas más adecuadas para valorar una patología en concreto, incluyendo la epicondilitis lateral.



NedCodo/IBV, haciendo fácil y objetiva la valoración biomecánica del codo

OBJETIVOS DE NedCodo/IBV

El objetivo de NedCodo/IBV es ofrecer un método intuitivo, ágil, objetivo y fiable de valoración de la función del codo que permita tomar decisiones sobre el seguimiento, tratamiento y valoración funcional de los pacientes, en sintonía con las principales necesidades detectadas en el sector socio-sanitario.





DESCRIPCIÓN DE NedCodo/IBV

NedCodo/IBV ofrece una valoración cuantitativa y objetiva de la función del codo, tanto desde el punto de vista dinámico como cinemático. Para ello genera índices de valoración que permiten evaluar el grado de limitación funcional del paciente. NedCodo/IBV es producto sanitario Clase I.

Los aspectos más relevantes del sistema NedCodo/IBV se describen a continuación.

Registro de datos

NedCodo/IBV requiere para la valoración de un sistema de análisis de movimientos mediante fotogrametría y un sistema de dinamometría isométrica compatibles, con el objetivo de obtener información tanto cinemática como dinámica durante la realización de diferentes gestos que pueden verse afectados por la patología de codo.

Se ha desarrollado un modelo de marcadores para miembro superior, basado en los ejes descritos por la Sociedad Internacional de Biomecánica (ISB [6]), pero evitando el uso

de marcadores que por su localización generan problemas de ocultación [7]. Los criterios de diseño del modelo fueron los siguientes:

- Número reducido de marcadores (n=10).
- Evitar ocultaciones de marcadores
- Escalable.
- Sencillez en la instrumentación del paciente.
- Aportación de información relevante.

Protocolo de test

Las alteraciones de codo pueden ser muy diversas y, por ese motivo, el protocolo de evaluación consta de diversos gestos que se pueden seleccionar en función del tipo de patología y del objetivo de valoración.

El protocolo de test (Figura 1) se compone de pruebas de movilidad con carga, incluyendo pruebas de flexoextensión



Figura 1

De izquierda a derecha, prueba de flexoextensión, pronosupinación, alcance y fuerza de empuñamiento en flexión y extensión de codo.



y de pronosupinación máximas [8,9,10], así como la evaluación de la actividad de alcance con diferentes cargas [11,12] y de pruebas de fuerza, incluyendo fuerza de agarre y fatiga en diferentes posiciones [13,14,15] y pruebas de fuerza de prono-supinación [16,17,18]. Para facilitar la elección de las pruebas más idóneas en cada caso, NedCodo/IBV cuenta con un sistema de recomendación y selección de pruebas (véase apartado de “Aplicación Informática e Informes”).

Cabe destacar que la preparación del paciente para esta prueba puede ser realizada en menos de 2 minutos, y que tanto este proceso como la ejecución y el registro de los gestos anteriormente descritos resultan especialmente sencillos. En este sentido, el modelo de marcadores seleccionado ha permitido mejorar la agilidad del proceso de valoración.

Tratamiento de datos

NedCodo/IBV obtiene los parámetros más relevantes resultantes de la evaluación de diferentes gestos. Tras diversos análisis estadísticos, se seleccionaron los parámetros que permitían distinguir significativamente entre diferentes grupos de sujetos. Entre estos parámetros seleccionados destacan:

Parámetros cinemáticos:

- **Rango de flexoextensión y pronosupinación:** rango de movimiento de codo y antebrazo durante la ejecución del gesto. Se expresa en grados (°) y porcentaje de normalidad.

- **Velocidad Máxima:** Velocidad angular máxima durante la ejecución del gesto. Se expresa en grados por segundo (°/s) y en porcentaje de normalidad.
- **Aceleración Máxima:** Aceleración angular máxima durante la ejecución del gesto. Se expresa en grados por segundo al cuadrado (°/s²) y en porcentaje de normalidad.
- **Repetibilidad:** Similitud entre los ciclos realizados de un mismo gesto, calculada a partir de las curvas de velocidad angular. Se expresa en porcentaje de normalidad.

Parámetros dinámicos:

- **Fuerza máxima:** es el valor máximo de fuerza realizada entre las repeticiones del gesto considerado. Se expresa en Newtons (N) y en porcentaje de normalidad.
- **Fuerza media:** es la media de los valores de fuerza máxima obtenidos para un gesto determinado. Se expresa en Newtons (N) y en porcentaje de normalidad.
- **IPF1 (Contralateral). Índice de Pérdida de Fuerza 1:** es el porcentaje de pérdida de fuerza del lado lesionado con respecto a la contralateral, para ese mismo movimiento o gesto. Se expresa en forma de porcentaje y en porcentaje de normalidad. Se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$IPF1(\%) = 100 - \frac{\text{Fuerza Media Lado Lesionado} \times 100}{\text{Fuerza Media Lado Sano}}$$

- **IPF2 (Normalidad). Índice de Pérdida de Fuerza 2:** es el porcentaje de pérdida de fuerza del lado lesionado con respecto a la del mismo lado de dominancia de una base



de datos de normalidad (base de datos de normalidad/IBV segmentada por edad, sexo y dominancia), para ese mismo movimiento o gesto. Se expresa en forma de porcentaje y en porcentaje de normalidad. Se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{IPF2(\%)} = 100 - \frac{\text{Fuerza Media} \times 100}{\text{Fuerza Media Patrón}}$$

- **Índice de Fatiga:** expresa el porcentaje de reducción de la fuerza isométrica durante una prueba de fatiga de 30 segundos con respecto a una hipotética contracción voluntaria máxima del 100% sin fatiga. Se expresa en valor porcentual y en porcentaje de normalidad.

Otros:

- **Simetría:** Compara bilateralmente todos los parámetros analizados. Se expresa en porcentaje de normalidad.
- **Coefficiente de variación:** Refleja la relación porcentual entre la desviación típica y la media de los valores de fuerza máxima obtenidos en las repeticiones consideradas. Se calcula en función de la dominancia. También se expresa en porcentaje de normalidad.

Finalmente hemos generado algoritmos de clasificación que facilitan la interpretación de los resultados de NedCodo/IBV a partir de una base de datos de sujetos sanos, patológicos y simuladores. Así, de forma automática, NedCodo/IBV genera los siguientes resultados globales:

- **Índice de Normalidad:** Este índice permite determinar de manera rápida y objetiva si el paciente presenta una

alteración de la función articular y muscular del codo en base a los parámetros obtenidos en la ejecución de diferentes gestos.

- **Índice de Colaboración:** resultado del algoritmo de clasificación entre la base de datos de normales, patológicos y simuladores. Este valor ayuda a determinar si el paciente ha realizado un esfuerzo compatible con sus posibilidades en los gestos solicitados por el evaluador.

Aplicación informática e informes

La aplicación informática NedCodo/IBV ha sido desarrollada con el objetivo de facilitar el trabajo de los profesionales y garantizar una correcta aplicación de la metodología e interpretación de resultados. Para lograr nuestro objetivo, la aplicación *software* guía al usuario en el proceso de selección de pruebas, ejecución del protocolo y análisis de resultados.

Respecto a la selección de pruebas, NedCodo/IBV propone al usuario las más recomendables en función de la situación clínica del paciente; así logramos agilizar el proceso de evaluación de forma sencilla y sin perder información clave.

Los resultados de la valoración que ofrece NedCodo/IBV son automáticos, no manipulables y en tiempo real (Figura 2). Además, una vez finalizada la valoración, la aplicación permite generar informes automáticos en formatos MS Word y pdf para agilizar el trabajo del profesional sanitario.

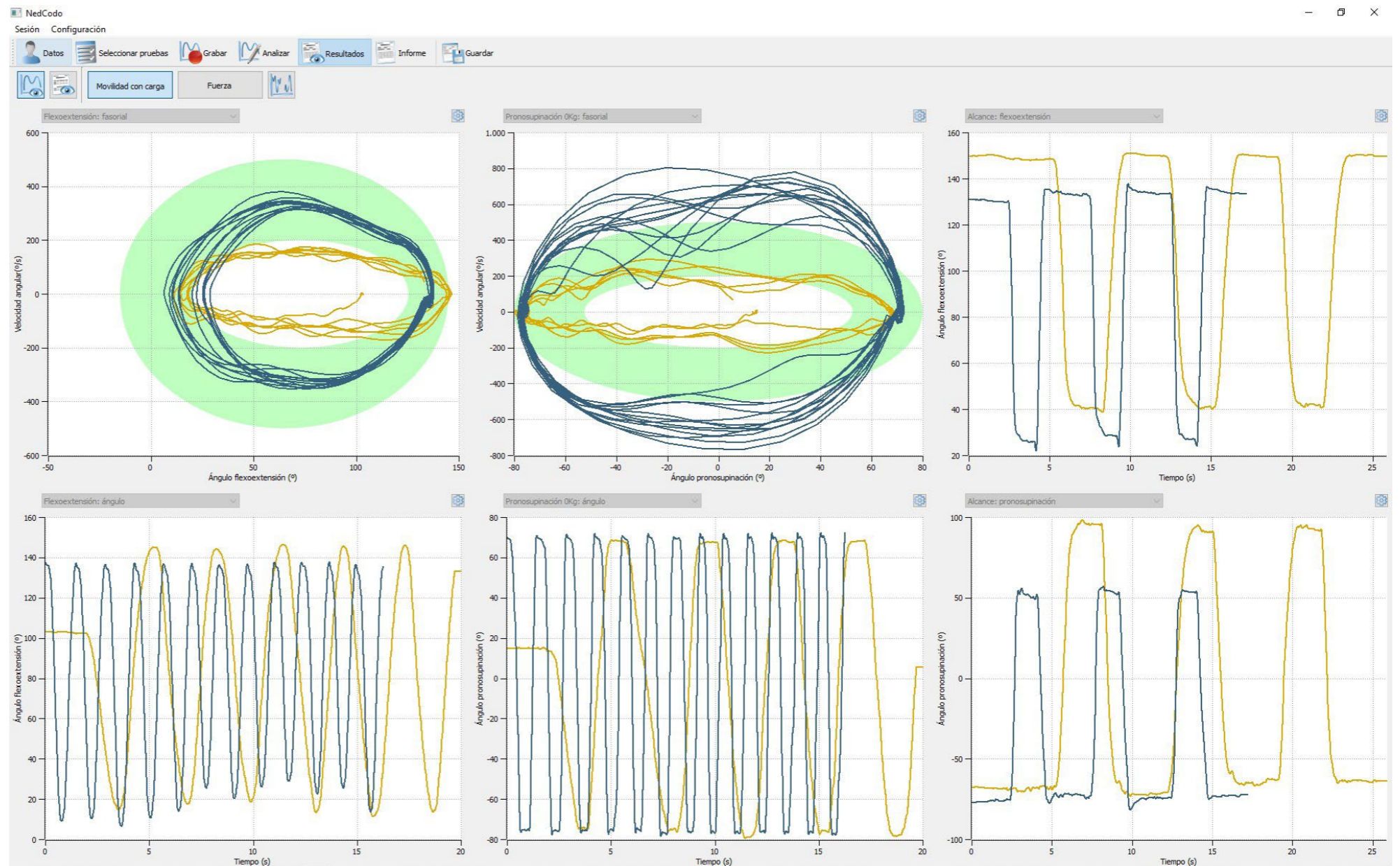


Puesta en marcha

El Instituto de Biomecánica (IBV) se encarga de realizar la instalación del producto, además de proporcionar formación en el manejo de la aplicación, realización del protocolo, interpretación de resultados y redacción de informes.

Asimismo, el Instituto de Biomecánica (IBV) ofrece un servicio continuado de asesoramiento técnico y metodológico, incluyendo la realización de auditorías que garantizan una correcta ejecución de los protocolos y funcionamiento del sistema.

Figura 2
Ejemplo de pantalla de resultados de una valoración funcional de codo mediante el sistema NedCodo/IBV. Resultados de las pruebas de movilidad con carga.





BENEFICIOS DE NedCodo/IBV

- **Agilidad:** La valoración con NedCodo/IBV puede realizarse entre 20 y 45 minutos en función del número de pruebas seleccionadas por el evaluador, obteniendo además un informe de manera automática. Los informes están especialmente diseñados para que el profesional dedique tiempo a lo que realmente importa, los pacientes.
- **Sencillez:** La formación a los profesionales, la aplicación *software*, el sistema de recomendación y selección de pruebas y los índices de valoración permiten un sencillo manejo y una fácil interpretación de la información proporcionada por la aplicación NedCodo/IBV.
- **Validez científica:** los estudios realizados han demostrado la fiabilidad y validez de NedCodo/IBV para la evaluación de la función en la patología de codo. □

Agradecimientos

A las mutuas colaboradoras de la Seguridad Social que han participado en la definición inicial de necesidades (Mutua Navarra, Mutualia, Umivale, Ibermutua, Asepeyo, Egarsat y MAZ) y en las experiencias piloto llevadas a cabo durante el proyecto (Ibermutua, Umivale), sin cuya colaboración no habría sido posible el desarrollo de NedCodo/IBV.

Referencias

- [1] Miralles-Marrero RC, Puig M. (1998). Codo. En Biomecánica Clínica del Aparato Locomotor, 107-118. Barcelona: Editorial Masson S.A.
- [2] Miangolarra-Page J.C. Águila-Maturana A.M. y Del Amo-Pérez M.A. (2008). Dolor de codo. En Sánchez-Blanco I. *et al.*, Manual SERMEF de rehabilitación y medicina física, 413-420. Buenos Aires; Madrid: Médica Panamericana.
- [3] Rousselon, T., Chervin, J., Vercoutère, M., & Masméjean, E. (2007). Patología del codo y rehabilitación. EMC-Kinesiterapia-Medicina Física, 28(1), 1-17.
- [4] Tejedor, R. L. V., & Tejedor, E. L. V. (2018). Epicondilitis lateral. Manejo terapéutico. Rev Esp Artrosc Cir Articul, 25(2), 119-130.
- [5] Kadaba, M. P., Ramakrishnan, H. K., Wootten, M. E., Gaine, J., Gorton, G., & Cochran, G. V. B. (1989). Repeatability of kinematic, kinetic, and electromyographic data in normal adult gait. Journal of Orthopaedic Research, 7(6), 849-860. 2. Ruiz, D. M. C. (2011). Epicondilitis lateral: conceptos de actualidad. Revisión de tema. Revista Med de la Facultad de Medicina, 19(1), 9.
- [6] G. Wu, F.C.T. van der Helm, H.E.J. Veeger, M. Makhsous, P. Van Roy, C. Anglin, J. Nagels, A.R. Karduna, K. McQuade, X. Wang, F.W. Werner, B. Buchholz (2005). ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand, Journal of Biomechanics 38 (5), 981-992.
- [7] Martínez-Iranzo, Ú., Pitarch-Corresa, S., Medina-Ripoll, E., De Rosario, H., Herrera-Ligero, C., & Iordanov, D. (2019). Effect of the axis definition on the accuracy of the elbow kinematics. Gait & Posture, 73, 376-377.
- [8] Ballaz, L., Raison, M., Detrembleur, C., Gaudet, G., & Lemay, M. (2016). Joint torque variability and repeatability during cyclic flexion-extension of the elbow. BMC sports science, medicine and rehabilitation, 8(1), 8.
- [9] Toosizadeh, N., Mohler, J., & Najafi, B. (2015). Assessing upper extremity motion: an innovative method to identify frailty. Journal of the American Geriatrics Society, 63(6), 1181-1186.
- [10] Cho, Y. T., Hsu, W. Y., Lin, L. F., & Lin, Y. N. (2018). Kinesio taping reduces elbow pain during resisted wrist extension in patients with chronic lateral epicondylitis: a randomized, double-blinded, cross-over study. BMC musculoskeletal disorders, 19(1), 193.



- [11] Scano, A., Molteni, F., & Molinari Tosatti, L. (2019). Low-Cost tracking systems allow fine biomechanical evaluation of upper-limb daily-life gestures in healthy people and post-stroke patients. *Sensors*, 19(5), 1224.
- [12] Van Ommeren, A., Radder, B., Kottink, A., Buurke, J., Prange-Lasonder, G., & Rietman, J. (2019). Quantifying Upper Extremity Performance with and Without Assistance of a Soft-robotic Glove in Elderly Patients: a Kinematic Analysis. *Journal of rehabilitation medicine*, 51(4), 298-306.
- [13] Alkurdi, Z. D., & Dweiri, Y. M. (2010). A biomechanical assessment of isometric handgrip force and fatigue at different anatomical positions. *Journal of applied biomechanics*, 26(2), 123-133.
- [14] Smidt, N., van der Windt, D. A., Assendelft, W. J., Mourits, A. J., Devillé, W. L., de Winter, A. F., & Bouter, L. M. (2002). Interobserver reproducibility of the assessment of severity of complaints, grip strength, and pressure pain threshold in patients with lateral epicondylitis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 83(8), 1145-1150.
- [15] Dorf *et al.* Effect of elbow position on grip strenght in the evaluation of lateral epicondylitis. *J Hand Surg* 2007.
- [16] Chirpaz-Cerbat, J. M., Ruatti, S., Houillon, C., & Ionescu, S. (2011). Dorsally displaced distal radius fractures treated by fixed-angle volar plating: grip and pronosupination strength recovery. A prospective study. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 97(5), 465-470.
- [17] Gordon, K. D., Pardo, R. D., Johnson, J. A., King, G. J., & Miller, T. A. (2004). Electromyographic activity and strength during maximum isometric pronation and supination efforts in healthy adults. *Journal of orthopaedic research*, 22(1), 208-213.
- [18] Ploegmakers, J., The, B., Wang, A., Bratty, M., & Ackland, T. (2015). Supination and pronation strength deficits persist at 2-4 years after treatment of distal radius fractures. *Hand Surgery*, 20(03), 430-434.

