

Construcción de modelos para el análisis del movimiento humano en aplicaciones clínicas, deportivas y ergonómicas de la industria

Braidot Ariel A.¹, López Ibarra Marco A.¹, Frisoli Melisa A.¹; Casas Gómez Diana M.²

Autoras/es: 1-Laboratorio de Biomecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos. Ruta provincial 11, km 10 Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. 2-Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Dosquebradas, Colombia.
Contacto: ariel.braidot@uner.edu.ar

ARK: <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s22504559/llu9odu1a>

RESUMEN

El análisis y modelado biomecánico tiene como principal objetivo establecer criterios para la toma de decisiones clínicas, quirúrgicas o de rehabilitación. Estos criterios permiten valorar métodos terapéuticos o quirúrgicos que disminuyen los períodos de rehabilitación, el costo en salud y mejoran la calidad de vida de los pacientes. El desarrollo del presente proyecto apuntó a: i) modelar la evolución de los parámetros biomecánicos correspondientes a la rehabilitación post-quirúrgica de pacientes; ii) evaluar el movimiento en el uso de nuevas herramientas ergonómicamente innovadoras; y iii) caracterizar gestos deportivos, permitiendo evaluar el desempeño de los atletas. Las mediciones de la cinemática, dinámica y electromiografía que se requirieron para la validación de los equipos y dispositivos y para el desarrollo de los modelos biomecánicos se realizaron en la FI-UNER. Adicionalmente, se realizaron mediciones en campo en el centro de rehabilitación e investigación Dr. Esteban Laureano Maradona de Santa Fe, donde se contó con un número de elevado pacientes.

La simulación del movimiento humano requirió la construcción de modelos de segmentos articulados y una estimación de parámetros antropométricos. Los resultados de este proyecto se transfirieron directamente al ámbito académico considerando que el trabajo se realizó principalmente en la FI-UNER, y al ámbito aplicado considerando que otras tres instituciones de Salud/Deportivas participaron del mismo.

Palabras clave: Biomecánica, ergonomía, movimiento humano, rehabilitación, deportes

1 Objetivos propuestos y cumplidos

En el proyecto informado se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Generar modelos que permitan describir el movimiento y optimizarlos para el estudio de casos clínicos de pacientes con patologías del movimiento.
2. Obtener resultados clínicos de un elevado número de pacientes con estas patologías neurológicas.
3. Valorar métodos terapéuticos o quirúrgicos que permitan generar estrategias para disminuir los períodos de rehabilitación.
4. Generar modelos que permitan analizar el movimiento de diferentes técnicas deportivas.
5. Obtener resultados de gestos deportivos de un elevado número de atletas para valorar los modelos propuestos.
6. Desarrollar modelos músculos esqueléticos novedosos que puedan ser aplicados a diferentes tipos de movimientos humanos.
7. Difundir los resultados obtenidos y las actividades realizadas.

Se puede valorar el cumplimiento de los objetivos a partir de una descripción de la ejecución de todas las tareas del proyecto planificadas, aplicadas a cada uno aspectos relevantes abordados en el proyecto.

Actividades Planificadas.

1. Puesta a punto del equipamiento de registro de variables biomecánicas.
2. Preparación de pliegos de compra de nuevo equipamiento.
3. Redacción de los protocolos y documentos legales para trabajar con pacientes y/o deportistas.
4. Puesta a punto del equipamiento necesario para llevar a cabo la validación, y la coordinación entre las instituciones participantes respecto del uso de los mismos.
5. Obtención de los datos biomecánicos de la evolución de pacientes neurológicos.
6. Obtención de los datos biomecánicos de los gestos técnicos relevantes de los deportistas.
7. Elaboración de modelos musculo-esqueléticos.
8. Análisis, discusión y comparación de los resultados. Elaboración de modelos y simulaciones.
9. Elaboración de las conclusiones.
10. Difusión de los resultados parciales y finales a través de presentaciones en congresos y publicaciones. Preparación de informes de avance.

Para describir el cumplimiento de las tareas enumeradas se describen a continuación las actividades llevadas a cabo para cada una de las temáticas de investigación asociadas y detalladas en la formulación del Proyecto.

1.1 Aplicaciones Clínicas

En este primer apartado se describen las actividades en relación al punto a) Modelado y simulación del movimiento humano en aplicaciones clínicas descrito en el Estado actual del conocimiento sobre el tema del formulario de presentación de este PID.

1.1.1 Se adaptó el laboratorio para poder realizar la adquisición de datos de la cinemática de miembro superior en el movimiento de “alcanzar y agarrar” para sujetos sanos de control y con patologías de Parkinson y Accidente Cerebro Vasculares (ACV). El espacio del Laboratorio se acondicionó con una mesa y una silla sin respaldar para que el sujeto pudiese tomar asiento frente a la mesa. Cada sujeto realizó una secuencia de movimientos de “alcanzar y agarrar”. El asiento tenía altura regulable de modo que la posición natural del codo coincidiera con el nivel de la mesa y sus pies permanezcan en contacto con el piso. Ambas manos permanecían en reposo sobre la mesa antes de continuar el registro. Sobre la mesa y a una distancia marcada, se encontraba un vaso que el voluntario debía alcanzar y agarrar para luego dejar en el lugar inicial.

Previamente a comenzar las repeticiones del gesto, se realizaron dos adquisiciones breves (2 a 3 segundos de duración) correspondientes a:

- una posición estática del sujeto con las manos sobre la mesa y luego,
- una con ambos brazos extendidos realizando movimientos cónicos de circunducción.

Se acordó una palabra clave que dé inicio a la adquisición para comienzo del gesto. A partir de entonces, se comenzó el registro de los movimientos de “alcanzar y agarrar”:

- con extremidad hábil primero, extremidad no hábil después, en el caso de los voluntarios no patológicos,
- con extremidad afectada primero, extremidad no afectada después, en el caso de los voluntarios con alteraciones motrices.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a la actividad 1 de esta temática de investigación.

Se tomaron 8 repeticiones de cada condición para contar con un mínimo de 6 adquisiciones válidas con el objeto de analizar la variabilidad intra-sujeto e inter-sujeto. Se registraron 20 sujetos no patológicos y 6 sujetos que habían sufrido un ACV. Con la imagen de la Figura 1 se ilustra el espacio de trabajo en el momento que se estaba realizando el registro de alcanzar y agarrar.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 4 y 5 de esta temática de investigación.

Se presentaron los documentos en el Comité Central de Bioética en la Práctica y en la Investigación Biomédica del Ministerio de Salud - Nivel Central de la Provincia de Entre Ríos. Se aprobó el protocolo y los consentimientos informados que fueron utilizados con los sujetos de Prueba.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a la actividad 3 de esta temática de investigación.

El resultado de ese trabajo generó un artículo que fue evaluado y aprobado para su presentación en XXVI Jornadas de Jóvenes Investigadores AUGM, que se lista debajo.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 7, 8, 9 y 10 de esta temática de investigación.



Figura 1: Disposición y Protocolo de marcadores utilizado durante los registros del movimiento de alcanzar y agarrar.

1.1.2 Durante la ejecución del proyecto atravesamos la pandemia de COVID-19, por lo que se debió reorganizar la adquisición de datos de la cinemática de miembro superior en el movimiento de “alcanzar y agarrar” y “movimientos específicos” para sujetos

con patologías de Parkinson. En este sentido se debió coordinar con una clínica de rehabilitación (CERENER) de la ciudad de Paraná, considerando que en los primeros meses que retornábamos a las actividades post COVID-19, por cuestión de protocolos no era posible realizar estos registros en el Laboratorio de biomecánica de la Facultad de Ingeniería (UNER).

En ese lugar de registro (CERENER) era posible implementar los cuidados necesarios cuando ya se estaba terminando el período más restrictivo del COVID-19. Para la preparación del espacio se acondicionó el lugar de forma que fuera similar al utilizado en la experimentación del primer año del proyecto en el laboratorio, se usó una mesa y una silla sin respaldar para que el sujeto pudiese tomar asiento frente a la mesa (Figura 2). Cada sujeto realizó una secuencia de movimientos de “alcanzar y agarrar”. El asiento tenía altura regulable de modo que la posición natural del codo coincida con el nivel de la mesa y sus pies permanezcan en contacto con el piso.

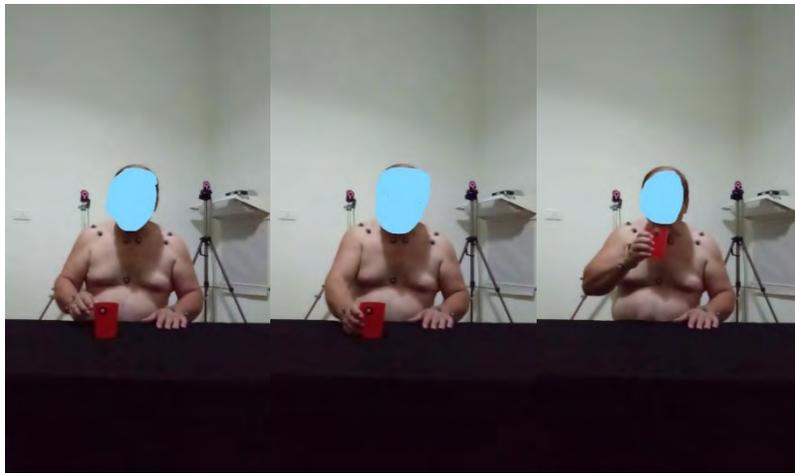


Figura 2: Tres instantes de alcanzar y agarrar. Paciente con Parkinson.

En el caso de los “movimientos específicos” se realizaron registros de:

1.1.2.1 Prueba de oposición dedo pulgar-índice

Se explicó la tarea a realizar. Se instruyó al paciente para que golpee el índice con el pulgar 10 veces tan rápida y ampliamente como fuese posible. A la orden de “YA” debía iniciar con una mano la prueba de oposición dedo pulgar (Figura 3).

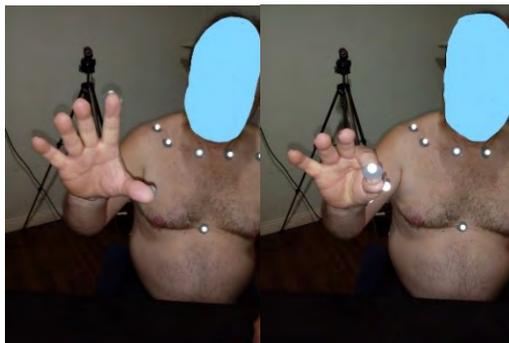


Figura 3: Prueba oposición dedo pulgar – índice.

1.1.2.2 Prueba de apertura – cierre de la mano

Se explicó la tarea a realizar. Se instruyó al paciente para que mantenga flexionado el hombro y codo a 90° aproximadamente. Luego debía cerrar fuerte el puño y ubicarlo de tal forma que cuando abriese la mano, la palma mirase al evaluador. A continuación, se le solicitó que abriera y cerrara la mano 10 veces tan rápida y completamente como le fuese posible (Figura 4).

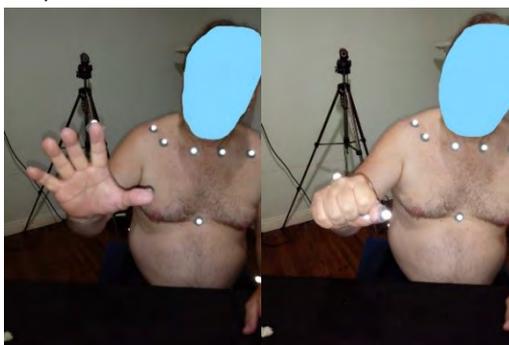


Figura 4: Prueba de abrir – cerrar la mano.

1.1.2.3 Prueba de pronosupinación del antebrazo modificada

Se explicó la tarea a realizar. Se instruyó al paciente para que flexione el codo a 90°. A continuación que girara la palma de la mano hacia arriba y hacia abajo alternativamente 10 veces, tan rápida y completamente como le fuese posible (Figura 5).



Figura 5: Prueba de pronosupinación.

1.1.2.4 Dar vuelta 5 cartas

Sentado frente a la mesa en la banqueta descripta. Tronco del paciente en descanso activo, con flexión de caderas y rodillas (en ángulo aproximado a 90°). Pies apoyados sobre superficie recta. Ambas palmas apoyadas sobre la superficie de la mesa. Se ubicaron en el centro de la mesa 5 cartas españolas (7,6 × 12,7 cm) orientadas verticalmente, separadas entre sí por 5 cm aproximadamente, en hilera horizontal y a 13 cm aproximadamente del borde interno de la mesa. La tercera carta en alineación con el eje medio del paciente. Se explicó la tarea que debía realizar. A la orden verbal de “ya” el paciente debía iniciar con la derecha la acción de dar vueltas las cartas de una y continuamente desde la más distal hacia la más proximal, mediante el movimiento de pronosupinación con el codo flexionado y cercano al cuerpo con velocidad autorregulada. La tarea total finalizaba cuando ubicaba la mano sobre la mesa (Figura 6).

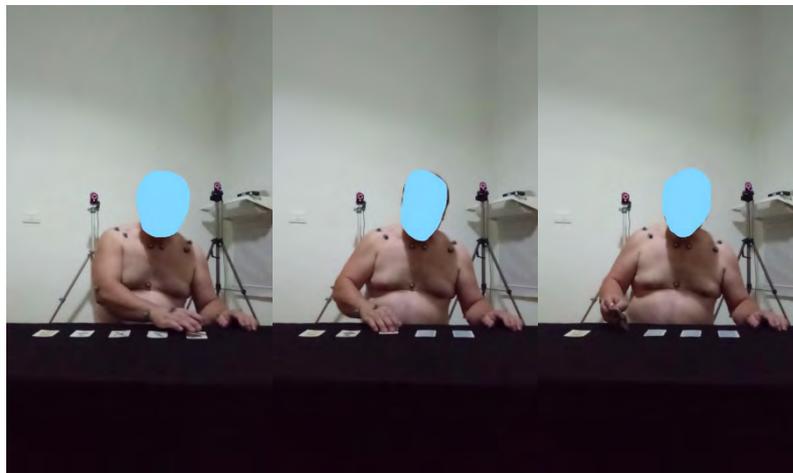


Figura 6: Prueba dar vuelta 5 cartas.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 1, 4 y 5 de esta temática de investigación.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a la actividad 3 de esta temática de investigación.

El resultado de ese trabajo generó un trabajo de especialización del kinesiólogo Gerónimo González que fue presentado para su evaluación final, todo el trabajo fue en colaboración con la doctoranda Melisa Frisoli, integrante de este proyecto, quien se doctoró en el marco de este PID. Con los resultados de esta etapa se realizaron publicaciones que se adjuntan.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 7, 8, 9 y 10 de esta temática de investigación.

1.1.3 Se realizó el diseño y desarrollo de una Base Podal para la rehabilitación de tobillo que consta de una plataforma con forma semiesférica en la que se coloca el pie y se emplea un Smartphone (SP) como sistema de registro. Esta herramienta permite medir el ángulo de la articulación del tobillo con el acelerómetro del SP, se muestra en la Figura 7 el sistema en la posición neutra del tobillo. Se realizó la primera etapa

de trabajo realizando la calibración con la referencia (gold standard) se usó un sistema de 8 cámaras Optitrack®, Flex 13 y un sistema de adquisición y procesamiento de imágenes Motive® utilizado en un laboratorio de biomecánica. En la Figura 8 se muestra el esquema de calibración.



Figura 7: El Smartphone montado en la Base Podal mide la inclinación que tiene el tobillo, a partir del acelerómetro incorporado

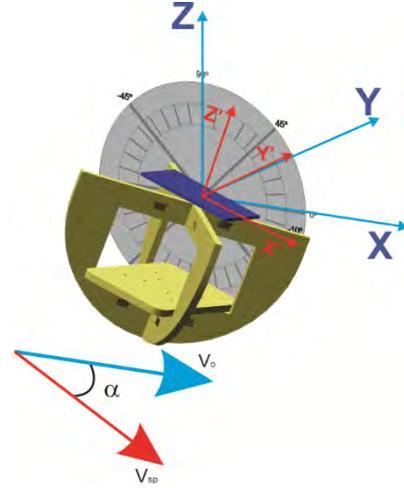


Figura 8: El SP se monta en la Base Podal, alineando el eje a medir de forma perpendicular a la escala impresa y simultáneamente con el Sistema de cámaras como gold estandar.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 1, 4 de esta temática de investigación.

Estos resultados técnicos, por su relevancia fueron publicados en IFMBE Proceedings de Springer.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 8, 9 y 10 de esta temática de investigación.

Asimismo, en etapa posterior y previo al inicio de las restricciones por COVID-19 se registraron 20 participantes voluntarios sanos y se alcanzaron a registrar 3 participantes con esguince de tobillo, quienes fueron evaluados 8 veces durante su rehabilitación. Con estos resultados se está trabajando para elaborar primeras conclusiones sobre la Base Podal como herramienta de rehabilitación utilizable en la clínica. Aunque el número de voluntarios con esguince es muy bajo es posible elaborar un trabajo preliminar para su publicación.

Lo arriba descrito permitiría dar cuenta del cumplimiento a las actividades 5 y 8 de esta temática de investigación.

1.2 Aplicaciones ergonómicas

En este apartado se describen las actividades en relación al punto b) Modelado y simulación del movimiento humano en aplicaciones ergonómicas descrito en el “- Estado actual del conocimiento sobre el tema” del formulario de presentación de este PID.

1.2.1 Se adaptó el laboratorio para poder realizar el registro con palas con doble

mango, a las que se debía evaluar su comportamiento biomecánico y ergonómico. Este trabajo se enmarca también en un convenio específico de colaboración entre la Facultad de Ingeniería y la empresa Biassoni, que se adjunta.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento de la actividad 1 de esta temática de investigación.

En esta parte de la actividad fue necesario acondicionar el espacio del laboratorio para simular un ambiente de trabajo lo más realista posible. El participante debió utilizar la pala de una manera natural recogiendo un material usual en albañilería, arena. También se utilizó una carretilla que comúnmente acompaña a las actividades de paleo. La actividad solo debía enfocarse en palear y no en la caminata para acarrear una palada o la carretilla. Con la imagen de la Figura 9 se ilustra el espacio de trabajo en el momento que se estaba realizando el registro de paleo.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 4 y 6 de esta temática de investigación.

El resultado de ese trabajo generó un artículo que fue evaluado y aprobado para la Revista argentina de ingeniería el cual se adjunta debajo.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 7, 8, 9 y 10 de esta temática de investigación.



Figura 9: Montaje de los materiales para el registro del gesto de paleo en el laboratorio.

1.2.2 Asimismo, se realizó la puesta a punto del sistema de registro de electromiografía *BioRadio Data Acquisition Unit*, el mismo había sido adquirido en un proyecto anterior del Laboratorio de Biomecánica. Este equipamiento debió ser llevado a un viñedo para poder realizar la actividad de un trabajo de investigación de evaluación de tijeras de poda.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a la Actividad 1 de esta temática de investigación.

Con las imágenes de la Figura 10 se ilustra la ubicación de los electrodos y en la imagen de la Figura 11 el espacio de trabajo en el momento que se estaba realizando el registro de poda en el viñedo.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las Actividades 4 y 6 de esta temática de investigación.

El resultado de ese trabajo generó un artículo que fue publicado en la Revista Argentina de Bioingeniería

Lo arriba descrito permitiría dar cumplimiento a las actividades 7 y 8 de esta temática de investigación.



Figura 10: Ubicación de los electrodos utilizados con el electromiografo BioRadio.



Figura 11: Registro de poda en el viñedo.

Se adaptó el laboratorio para poder realizar el registro con el dispositivo Star Feet, a las que se debía evaluar su comportamiento en la corrección biomecánica de la postura y la marcha. Este trabajo se enmarca en un convenio específico de colaboración entre la Facultad de Ingeniería y la empresa Star Feet SAS, que se adjunta.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a la actividad 1 de esta temática de investigación.

1.2.3 En esta parte de la actividad fue necesario acondicionar el espacio del laboratorio para realizar los registros de postura y marcha. Esta actividad se realizó previo al inicio de la pandemia por lo que pudo llevarse a cabo en el Laboratorio de Biomecánica de la FI-UNER. Se convocaron 10 voluntarios, que participaron del experimento y se comprometieron a usar diariamente el complemento deportivo StarFeet por un período de cuatro meses. Al total de voluntarios se los separó en grupos. En el primer grupo 6 participantes y en el segundo grupo 4 participantes. El primer grupo realizó ejercicios propuestos además de utilizar el StarFeet regularmente, y el segundo grupo sólo utilizó el complemento. Se realizaron tres sesiones de registro por cada volunta-

rio: la primera, antes de comenzar a utilizar el dispositivo, la segunda al cumplirse un mes de uso, y la tercera, al cumplirse cuatro meses de uso. En cada sesión se llevaron a cabo registros de marcha y standing (postura de pie) utilizando los StarFeet y sin ellos (descalzos), siguiendo un protocolo elaborado específicamente para este proyecto. En la Figura 12 se muestra un ejemplo de un participante con los marcadores reflectivos colocados y un detalle de los pies con los StarFeet colocados.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 4 y 6 de esta temática de investigación.

La determinación de la significancia de estos cambios en los parámetros biomecánicos se realizó mediante el método estadístico t de Student para dos muestras pareadas, en el que se estableció si se cumple o no la hipótesis nula (el dispositivo no provoca cambios relevantes en la articulación evaluada).

El resultado de ese trabajo generó un reporte técnico que fue entregado a la empresa en dos versiones: Reporte completo y reporte corto con conclusiones que se adjuntan.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 7, 8, 9 de esta temática de investigación.

Está en proceso la escritura de un trabajo en formato de artículo científico con toda la información que en el marco del convenio específico con la empresa Star Feet SAS, está acordado es posible publicar.

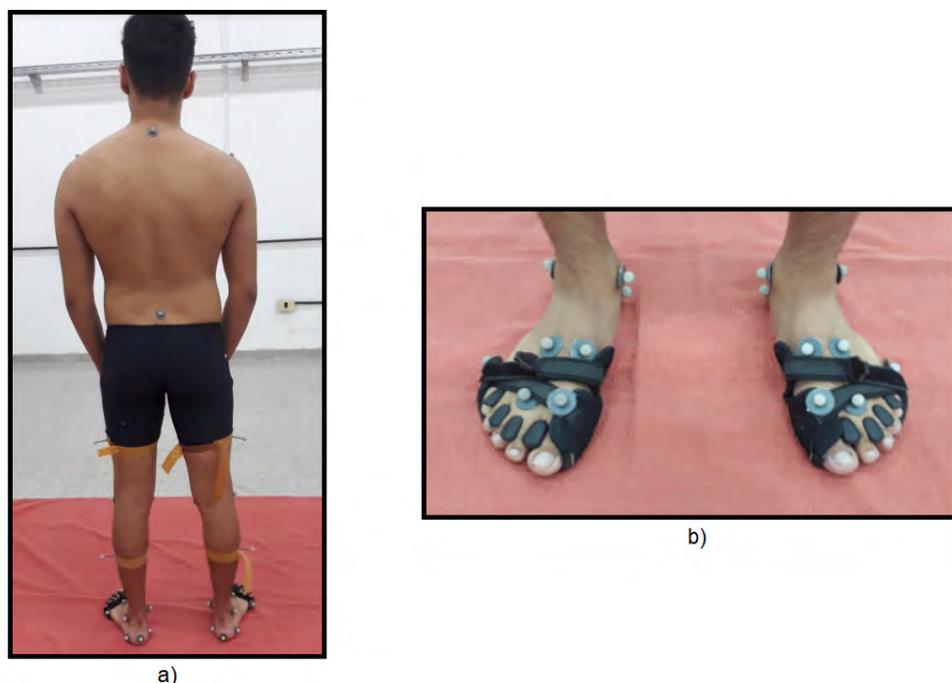


Figura 12: Marcadores reflectivos colocados en un sujeto de prueba. a) En standing, con los StarFeet colocados. b) En los pies.

1.3 Aplicaciones deportivas

En este apartado se describen las actividades en relación al punto “c) Modelado y simulación del movimiento humano en aplicaciones deportivas” descrito en el “- Estado actual del conocimiento sobre el tema” del formulario de presentación de este PID.

1.3.1 Se debió trasladar un sistema de videografía 3D optoelectrónico, el equipo OptiTrack 8 flex 13 Camera System de la empresa NaturalPoint Inc. desde el laboratorio al estadio de softbol donde se pudo realizar el registro de lanzamiento de pitching. Con la imagen de la Figura 13 se ilustra el espacio de trabajo y la ubicación de los marcadores sobre el deportista en el momento que se estaba realizando el registro de lanzamiento de pitching en softbol.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las Actividades 1, 4 y 6 de esta temática de investigación.

Lo arriba descrito da cumplimiento a las actividades 7 y 8 de esta temática de investigación.

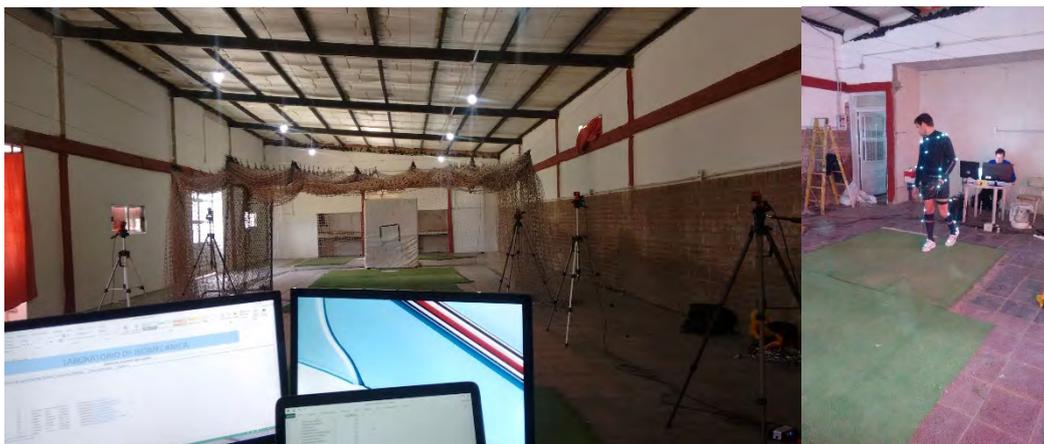


Figura 13: Espacio preparado para el registro de lanzamiento de Pitching en el lateral del estadio de Softbol sudamericano (Izquierda) y deportista marcado para realizar el lanzamiento (Derecha).

Con los resultados de este trabajo se realizó el análisis y la posterior elaboración de un artículo que fue evaluado y presentado en el 22 Congreso Argentino de Bioingeniería y 11 Jornada de Ingeniería Clínica que se adjunta debajo.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 7, 8, 9 y 10 de esta temática de investigación.

1.3.2 Se debió trasladar un sistema de videografía 3D optoelectrónico, el equipo OptiTrack 8flex 13 Cameras System de la empresa NaturalPoint Inc desde el laboratorio al estadio de fútbol donde se pudo realizar el registro de la patada de fútbol en un tiro

libre. Este registro se realizó en la cancha de fútbol. Para poder registrar se requirió hacerlo por la noche, considerando que las cámaras no son adecuadas para el registro con luz del sol. En la Figura 14 se muestra una imagen en la pantalla del Soft Motive de los marcadores que representan el futbolista en el instante en el que inicia la patada con el miembro derecho. Si bien existen cámaras que permitirían hacer el registro a pleno día en una cancha de fútbol tienen un costo veinte veces más elevado, lo que haría imposible realizar este trabajo de investigación con los presupuestos disponibles.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 1, 4 y 6 de esta temática de investigación.

El resultado de ese trabajo y la posterior discusión generó un artículo preliminar que fue presentado en el 22 Congreso Argentino de Bioingeniería y 11 Jornada de Ingeniería Clínica y en la revista de la IFMBE.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 7, 8, 9 y 10 de esta temática de investigación.

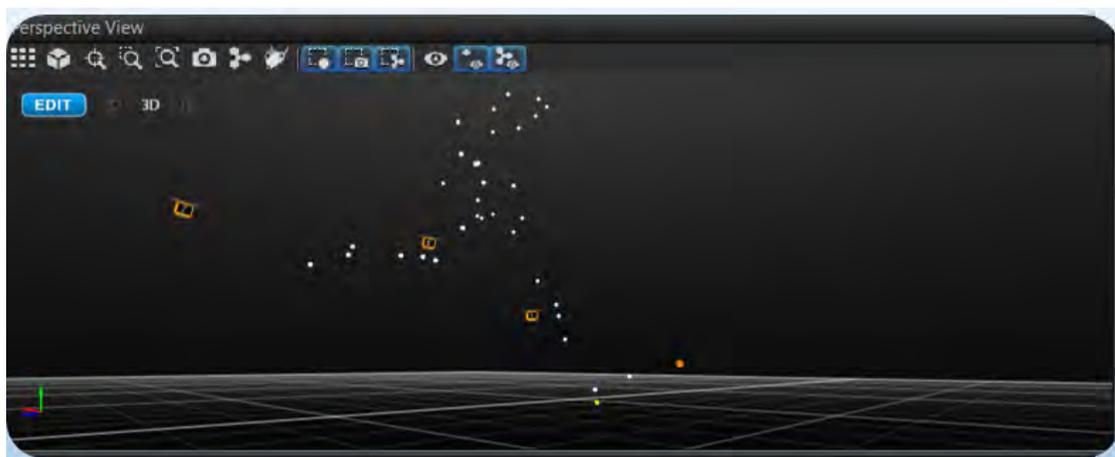


Figura 14: Imagen de la reconstrucción de los marcadores reflectivos del software de captura Motive, un instante en el que se inicia la patada.

1.4 Modelado músculo-esquelético

Este punto es la actividad en relación al punto “d) Modelado músculo-esquelético” descrito en el “- Estado actual del conocimiento sobre el tema” del formulario de presentación de este PID.

1.4.1 Para poder realizar el modelado músculo esquelético se requiere obtener con precisión los puntos de origen e inserción de los músculos del miembro inferior de un sujeto sano. En este sentido se debieron registrar 10 sujetos sanos con un número imágenes de RM que varía entre 350 y 700 imágenes por sujeto de acuerdo a la estatura utilizando una secuencia T1-weighted-spin-echo (TR=400, TE=17, 512x512, FOV=25cm, GBS=4mm) en un equipo Siemens Magnetom Vision de 1.5T.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 4 y 5 de esta temática de investigación.

En la primera etapa de análisis se utilizaron dos algoritmos de segmentación semi-automática de imágenes: uno basado en el algoritmo de Mínimos Caminos de Dijkstra y otro basado en algoritmos evolutivos para un único sujeto. El resultado de ese trabajo generó un artículo que fue evaluado y aprobado para su presentación en las Primeras Jornadas de Ciencia, Técnica y Arte.

Lo arriba descrito permite dar cumplimiento a las actividades 7, 8, 9 y 10 de esta temática de investigación.

2 Marco teórico y metodológico

La metodología de trabajo incluyó dos partes fundamentales. Una primera parte corresponde a evaluación de pacientes neurológicos durante la rehabilitación de patologías del movimiento, deportistas durante los gestos elegidos y sujetos de control en los casos que corresponde. La evaluación requirió registrar la cinemática, dinámica y electromiografía de los movimientos evaluados. Particularmente, en algunos casos el gesto fue la marcha en otros el gesto fue una sentadilla o algún otro movimiento que permitiera evaluar al paciente o al deportista. En el laboratorio de Biomecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNER se dispone de un sistema de videografía 3D optoelectrónico, el equipo OptiTrack 8 flex 13 Cameras System de la empresa Natural-Point Inc. Este consta de 8 cámaras flex 13 de 120 Hz (FPS). Se cuenta además con un equipo de electromiografía BioRadio el cual permite el registro simultáneo y síncrono de las señales electrofisiológicas de EEG y EMG. Asimismo, se utilizaron dos convenios con el Centro de Medicina Nuclear y Molecular de Entre Ríos (CEMENER) y la institución Resonancia Magnética Entre Ríos en las cuales se pudo adquirir imágenes de Resonancia Magnética para la elaboración de nuevos modelos músculo esqueléticos. Asimismo, se dispone de un acuerdo con el Laboratorio de Marcha del centro de rehabilitación e investigación Dr. Esteban Laureano Maradona de Santa Fe, en el cual se realizaron los registros con un sistema BTS (Italia), el cual posee ocho cámaras infrarrojas de 340 [Hz], dos plataformas de fuerzas y un electromiógrafo de ocho canales entre otros equipos de registro biomecánico. Asimismo, en el centro Maradona se pudo registrar un importante número de pacientes, en particular muchos pacientes con parálisis cerebral y enfermedades neurológicas.

La segunda parte correspondió a la simulación del movimiento humano que requirió la construcción de modelo de segmentos articulados (link-segment model) y una estimación de parámetros antropométricos. Estos modelos biomecánicos se resolvieron con la formulación de la ecuación de Lagrange para obtener soluciones en forma sencilla planteando una serie de ecuaciones diferenciales de segundo orden, no lineales, no homogéneas.

3 Síntesis de resultados y conclusiones

Entendemos que un adecuado resumen de los resultados se puede ilustrar con un listado de los trabajos publicados con los resultados alcanzados en el desarrollo proyecto considerando que es una forma práctica de resumir los logros del PID.

Publicado en Capítulo de Libro:

1. Perez Maria Elisa, Tello Emanuel, Braidot Ariel Andres. Capítulo de Libro: 6- Biometric measures: vision and inertial systems for neurorehabilitation. In: Advances in Technology Assisted Neurorehabilitation. 300 Seiten 2020 Academic Press Inc (Verlag) 978-0-12-819877-3 (ISBN). 15/3/2025. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128198773/advances-in-technology-assisted-neurorehabilitation> .

Publicado en Revistas

1. Ariel Braidot, Diana Casas, Jonathan Gotte, David Nietzsche, Pedro Tomiozzo, Yisel Cano, Juan Castillo, Diana Mateus Raúl Raimondi, Jorge Ray. Comparación de la cinemática articular entre, una pala normal y palas doble mango. Revista argentina de ingeniería, Año 6 Vol. 11 pp. 87-97. (2018) ISSN 2314-0925.
2. Santiago Salvadores Martínez Ariel Andrés A. Braidot (2020) Method to detect muscle fatigue using hand tools in the proning of fruits trees. Revista Argentina de Bioingeniería. Vol 24 (3): 89-94. ISSN 2591-376X. ISSN-L 0329-5257.
3. Gomez-Gonzalez J.M., Molina C, Braidot A. (2020) Validation of the Foot Base for Measuring the Control of Ankle Movements. IFMBE Proceedings, vol 75. pp 894-906. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30648-9_116
4. Melisa Frisoli, Gerónimo. González, Ariel Braidot (2021). Análisis Biomecánico de Miembro Superior: Estudio de Caso Aplicado a Valoración Terapéutica de Rehabilitación en Enfermedad De Parkinson. Computational Modeling in Bioengineering, Biomechanics and Biomedical Systems (A). Volume XXXVIII. Number 31. ISSN 2591-3522.
5. J.P. Angel López, J. Abaca, L. Clementi, M. A. López Ibarra, and A. A. A. Braidot (2023). 3D Link-Segment Model for Kinematics and Kinetics of Lower Limbs in Soccer Free Kick: Protocol Design. IFMBE Proceedings, <https://www.springerprofessional.de/3d-link-segment-model-for-kinematics-and-kinetics-of-lower-limbs/26591928>.
6. Melisa A. Frisoli, Marco A. López Ibarra, Ariel A. A. Braidot (2023). Upper Limb Biomechanical Analysis Applied to Patients with Stroke. IFMBE Proceedings, <https://www.springerprofessional.de/en/upper-limb-biomechanical-analysis-applied-to-patients-with-strok/26736600>.
7. Bruno Zorzet, Gabriel Villaverde, Ariel Braidot (2023). 3D Biomechanical modeling applied to Taekwon-do. IFMBE Proceedings, <https://www.springerprofessional.de/en/3d-biomechanical-modeling-applied-to-taekwondo/26736616>.
8. Diana Margarita Casas Gomez y Ariel Braidot (2023). Mirror Visual Feedback as a tool for training users to achieve control over the BCI. IFMBE Proceedings, <https://www.springerprofessional.de/en/mirror-visual-feedback-as-a-tool-for-training-users-to-achieve-c/26736618>.
9. Marco A. López Ibarra, Ariel A. A. Braidot, Melisa Frisoli, Luis Clementi, Bizai Gustavo, Diego Evin and Alejandro J. Hadad (2023). In Vivo obtention and representation of Muscle's Paths from Magnetic Resonance Images. IFMBE Proceedings, <https://www.springerprofessional.de/en/in-vivo-determination-and-representation-of-muscle-s-paths-from-/26736614>.
10. Diana Margarita Casas Gomez y Ariel Braidot (2024). Improving motor imagery through mirror box for BCI users. Journal of Neurophysiology, en prensa (Se adjunta email aceptación final).

Publicado en artículos en extenso en congresos con evaluación de pares.

1. 3D Reconstruction of Knee Motion by Videofluoroscopy & Videography with Orthogonal Cameras. Ledesma M R, Braidot A, Santos D, Simini F. Anales de XV International Symposium on 3-D Analysis of Human Movement. 3-6 July 2018 at the University of Salford, Salford, Greater Manchester.
2. Obtención de orígenes e inserciones musculares in-vivo a partir de la segmentación semi-automática de imágenes de resonancia magnética. Marco López, Ariel Braidot, Aníbal Sattler, Claudia Schira. Primeras Jornadas de Ciencia, Técnica y Arte, 3 y 4 de Octubre de 2018, Paraná.
3. Caracterización del movimiento de alcanzar y agarrar en sujetos sanos y con ACV. Mauricio Bouix, Gerónimo González, Melisa Frisoli, Ariel Braidot. XXVI Jornadas de Jóvenes Investigadores AUGM. 17, 18 y 19 de octubre de 2018 en la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza (Argentina).
4. PUNTOSUR Knee Skin Markers Validation by Simultaneous 3D Multimodal. Maria Rene Ledezma, Dario Santos, Ariel Braidot y Franco Simini, en el 22 Congreso Argentino de Bioingeniería y 11 Jornada de Ingeniería Clínica, realizado en Piriapolis, Uruguay, del 4 al 6 de marzo de 2020.
5. Biomechanical Analysis of Lower Limbs in Soccer Direct Free Kick. Ariel Andrés Antonio Braidot, Joao Abaca y Juan Pablo Ángel López, en el 22 Congreso Argentino de Bioingeniería y 11 Jornada de Ingeniería Clínica, realizado en Piriapolis, Uruguay, del 4 al 6 de marzo de 2020.
6. Biomechanical model for the assessment of softball pitching. Ariel Andrés Antonio Braidot, Marcos Raúl Dominguez Shocrón y José Alberto Guerrinieri, en el 22 Congreso Argentino de Bioingeniería y 11 Jornada de Ingeniería Clínica, realizado en Piriapolis, Uruguay, del 4 al 6 de marzo de 2020.
7. Santos, D., Ledesma, R., Braidot, A., J. D. C., Massa, F., & Simini, F. (2021). 3D Closed Chain Knee Motion Analysis by Stereophotogrammetry and Videofluoroscopy for pre Surgery Clinical Assessment. 3-D Analysis of Human Movement (3D-AHM) Iowa State University, Ames, Iowa, USA, 1-5.
8. Casas Gomez, Diana Margarita y Braidot, Ariel. La terapia con espejo como herramienta para promover la imaginación motora en sujetos sanos. XXVIII Jornadas de Jóvenes Investigadores. 10, 11 y 12 de Noviembre de 2021. Universidad de Santiago de Chile.
9. Yasmin González Loli, y Braidot, Ariel. Análisis biomecánico del uso de un dispositivo novedoso de corrección de pisada. XXVIII Jornadas de Jóvenes Investigadores. 10, 11 y 12 de Noviembre de 2021. Universidad de Santiago de Chile.

4 Indicadores de producción

Durante el desarrollo del presente proyecto, los investigadores realizaron diversas publicaciones en revistas (10) y diversas presentaciones en congresos nacionales (5) e internacionales (4), y 1 capítulo de libro. Se dictaron 6 cursos de posgrado, se dirigieron 6 tesis de posgrado, de las cuales cuatro Tesis se terminaron durante el PID, 2 pasantes y 8 tesis de grado, 2 adscripciones y 4 becarios de formación de grado.

5 Referencias

Alcock A. M., W. Gilleard, A. B. Hunter, J. Baker, and N. Brown, "Curve and instep kick kinematics in elite female footballers," *J. Sports Sci.*, vol. 30, no. 4, pp. 387-394, 2012.

- Allison B. Z. and C. Neuper, "Could Anyone Use a BCI?," in *Brain-Computer Interfaces. Human-Computer Interaction Series*. Springer, London., London, 2010, pp. 35–54.
- Amiri-Khorasani, M.T. "The Compression of maximum Angular Velocity and Torque of Lower Extremity Joints during Consecutive Soccer Instep Kick". 2019
- Andersen T. B. and H. C. Dörge, "The influence of speed of approach and accuracy constraint on the maximal speed of the ball in soccer kicking," *Scand. J. Med. Sci. Sport.*, vol. 21, no. 1, pp. 79–84, 2009.
- Ángel-López J. P., B. Segura-Giraldo, L. D. Rodríguez-Sotelo, and K. B. García-Solano, "Kinematic Soccer Kick Analysis Using a Motion Capture System," *IFMBE Proc.*, vol. 60, pp. 682–685, 2017.
- Bar-Eli M. and O. H. Azar, "Penalty kicks in soccer: An empirical analysis of shooting strategies and goalkeepers' preferences," *Soccer Soc.*, vol. 10, no. 2, pp. 183–191, 2009.
- Blankertz B, Dornhege G, Krauledat M, Müller KR, Kunzmann V, Losch F, and Curio G, "The Berlin Brain-Computer Interface: EEG-Based Communication Without Subject Training," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 14, no. 2, pp. 147–152, Jun. 2006, doi: 10.1109/TNSRE.2006.875557.
- Boswell M. A., Ł. Kidziński, J. L. Hicks, S. D. Uhlich, A. Falisse, and S. L. Delp, "Smartphone videos of the sit-to-stand test predict osteoarthritis and health outcomes in a nationwide study," *npj Digit. Med.*, vol. 6, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2023, doi: 10.1038/s41746-023-00775-1.
- Botvinick M. and J. Cohen, "Rubber hands 'feel' touch that eyes see.," *Nature*, vol. 391, no. 6669, p. 756, Feb. 1998, doi: 10.1038/35784.
- Britta K. Krautwurst, Sebastian I. Wolf, Daniel W.W. Heitzmann, Simone Gantz, Frank Braatz, Thomas Dreher, "The influence of hip abductor weakness on frontal plane motion of the trunk and pelvis in patients with cerebral palsy," *Research in Developmental Disabilities* Vol. 34, Issue 4, pp 1198-1203, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2012.12.018>.
- Chabuda A., M. Drogala, A. Duszyk, A. Stróż, M. Pawlisz, and P. Durka, "Successful BCI communication via high-frequency SSVEP or visual, audio or tactile P300 in 30 tested volunteers," *Acta Neurobiol. Exp. (Wars.)*, vol. 79, no. 4, pp. 421–431, 2019, doi: 10.21307/ane-2019-039.
- Chen S., X. Shu, H. Wang, L. Ding, J. Fu, and J. Jia, "The Differences Between Motor Attempt and Motor Imagery in Brain-Computer Interface Accuracy and Event-Related Desynchronization of Patients With Hemiplegia", *Front. Neurobotics*, vol. 15, p. 706630, nov. 2021, doi: 10.3389/fnbot.2021.706630.
- Cotton R. J., "PosePipe: Open-Source Human Pose Estimation Pipeline for Clinical Research." *arXiv*, Mar. 16, 2022. Accessed: Jun. 21, 2023. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2203.08792>
- Cotton R. J., A. Cimorelli, K. Shah, S. Anarwala, S. Uhlich, and T. Karakostas, "Improved Trajectory Reconstruction for Markerless Pose Estimation." *arXiv*, Mar. 08, 2023. Accessed: Jun. 21, 2023. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2303.02413>
- Dauids K., A. Lees, and L. Burwitz, "Understanding and measuring coordination and control in kicking skills in soccer: Implications for talent identification and skill acquisition," *J. Sports Sci.*, vol. 18, no. 9, pp. 703–714, 2000.
- Davis R. B., S. Ounpuu, and D. Tyburski, "A gait analysis data collection and reduction technique.," in *Human Movement Science*, 1991, pp. 575–587.

- Debnath R. and E. A. Franz, "Perception of hand movement by mirror reflection evokes brain activation in the motor cortex contralateral to a non-moving hand," *Cortex*, vol. 81, pp. 118–125, 2016, doi: 10.1016/j.cortex.2016.04.015.
- Deconinck F. J. A., A. R. P. Smorenburg, A. Benham, A. Ledebt, M. G. Feltham, and G. J. P. Savelsbergh, "Reflections on mirror therapy: A systematic review of the effect of mirror visual feedback on the brain," *Neurorehabil. Neural Repair*, vol. 29, no. 4, pp. 349–361, 2015, doi: 10.1177/1545968314546134.
- Desmarais Y., D. Mottet, P. Slangen, and P. Montesinos, "A review of 3D human pose estimation algorithms for markerless motion capture." *arXiv*, Jul. 12, 2021. Accessed: Jun. 21, 2023. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2010.06449>
- Diers M., C. Christmann, C. Koeppel, M. Ruf, and H. Flor, "Mirrored, imagined and executed movements differentially activate sensorimotor cortex in amputees with and without phantom limb pain," *Pain*, vol. 149, no. 2, pp. 296–304, 2010, doi: 10.1016/j.pain.2010.02.020.
- Egan C. D., M. H. G. Verheul, and G. J. P. Savelsbergh, "Effects of experience on the coordination of internally and externally timed soccer kicks," *J. Mot. Behav.*, vol. 39, no. 5, pp. 423–432, 2007.
- Egsgaard L. L., L. Petrini, G. Christoffersen, and L. Arendt-Nielsen, "Cortical responses to the mirror box illusion: a high-resolution EEG study," *Exp. Brain Res.*, vol. 215, no. 3–4, pp. 345–57, Dec. 2011, doi: 10.1007/s00221-011-2902-x.
- Franz, E. A., Fu, Y., Moore, M., Winter, T., Mayne, T., Debnath, R., and Stringer, C., "Fooling the brain by mirroring the hand: Brain correlates of the perceptual capture of limb ownership," *Restorative Neurology and Neuroscience*, vol. 34, no. 5, pp. 721–732, 2016, doi: 10.3233/RNN-150622.
- Fukumura K., K. Sugawara, S. Tanabe, J. Ushiba, and Y. Tomita, "Influence of Mirror Therapy on Human Motor Cortex," *Int. J. Neurosci.*, vol. 117, no. 7, pp. 1039–1048, 2007, doi: 10.1080/00207450600936841.
- Gao Z. K., X. J. Zhou, Y. X. Yang, W. D. Dang, C. Qu, and N. Dong, "Multivariate weighted recurrent network for analyzing ssmvep signals from eeg literate and illiterate," *Europhysics Letters*, vol. 127, no. 4, 2019, doi: 10.1209/0295-5075/127/40004.
- Guterstam A., G. Gentile, and H. H. Ehrsson, "The Invisible Hand Illusion: Multisensory Integration Leads to the Embodiment of a Discrete Volume of Empty Space," *J. Cogn. Neurosci.*, vol. 25, no. 7, pp. 1078–1099, Jul. 2013, doi: 10.1162/jocn_a_00393.
- Guterstam A., V. I. Petkova, and H. H. Ehrsson, "The illusion of owning a third arm," *PLoS One*, vol. 6, no. 2, p. e17208, Jan. 2011, doi: 10.1371/journal.pone.0017208.
- Herrador Colmenero, L., Perez Marmol, J. M., Martí-García, C., Querol Zaldivar, M. D. L. Á., Tapia Haro, R. M., Castro Sánchez, A. M., & Aguilar-Ferrándiz, M. E., "Effectiveness of mirror therapy, motor imagery, and virtual feedback on phantom limb pain following amputation: A systematic review," *Prosthetics and orthotics international*, vol. 42, no. 3, pp. 288–298, 2018, doi: 10.1177/0309364617740230.
- Hiroyuki Nunome, Koichiro Inoue, Kohei Watanabe, Takahito Iga and Hiroshi Akima. "KINETICS OF SOCCER SIDE-FOOT KICKING WITH VARIED EFFORT LEVELS". 38th International Society of Biomechanics in Sport Conference, Physical conference. Jul. 2020
- Hochberg, L. R., Bacher, D., Jarosiewicz, B., Masse, N. Y., Simeral, J. D., Vogel, J., and Donoghue, J. P., "Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm," *Nature*, vol. 485, no. 7398, pp. 372–5, May 2012, doi: 10.1038/nature11076.

- Hong S., C. Chung, K. Sakamoto, and T. Asai, "Analysis of the swing motion on knuckling shot in soccer," *Procedia Eng.*, vol. 13, pp. 176–181, 2011.
- Hunter A. H., M. J. Angilletta, T. Pavlic, G. Lichtwark, and R. S. Wilson, "Modeling the two-dimensional accuracy of soccer kicks," *J. Biomech.*, vol. 72, pp. 159–166, 2018.
- Inoue K., H. Nunome, T. Sterzing, H. Shinkai, and F. Education, "KINETIC ANALYSIS OF THE SUPPORT LEG IN SOCCER INSTEP KICKING Graduate School of Education & Human Development , Nagoya University , Research Center of Health , Physical Fitness & Sports , Nagoya University , Department of Human Locomotion , Chemnitz Unive," in *30th Annual Conference of Biomechanics in Sports*, 2012, no. 109, pp. 21–24.
- Kainz H., C. P. Carty, S. Maine, H. P. J. Walsh, D. G. Lloyd, and L. Modenese, "Effects of hip joint centre mislocation on gait kinematics of children with cerebral palsy calculated using patient-specific direct and inverse kinematic models," *Gait Posture*, vol. 57, pp. 154–160, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.gaitpost.2017.06.002.
- Kang Y. J., J. Ku, H. J. Kim, and H. K. Park, "Facilitation of Corticospinal Excitability According to Motor Imagery and Mirror Therapy in Healthy Subjects and Stroke Patients," *Ann. Rehabil. Med.*, vol. 35, no. 6, p. 747, 2011, doi: 10.5535/arm.2011.35.6.747.
- Kapidžić Alen, Tarik Huremović and Alija Biberovic. "Kinematic Analysis of the Instep Kick in Youth Soccer Players". *Journal of Human Kinetics* volume 42, pp 81-90. 2014.
- Katis A., E. Giannadakis, T. Kannas, I. Amiridis, E. Kellis, and A. Lees, "Mechanisms that influence accuracy of the soccer kick," *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 23, no. 1, pp. 125–131, 2013.
- Kellis E. and A. Katis, "Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick," *J. Sport. Sci. Med.*, vol. 6, no. February, pp. 154–165, 2007.
- Kelsey A. Reeves.. "KINETIC AND KINEMATIC ANALYSIS OF THE PHASES OF KICKING DURING ACCURATE AND MAXIMAL EFFORT CONDITIONS IN FEMALE SOCCER PLAYERS". East Carolina University. 2019.
- Kögel J. and G. Wolbring, "What It Takes to Be a Pioneer: Ability Expectations From Brain-Computer Interface Users," *Nanoethics*, vol. 14, no. 3, pp. 227–239, 2020, doi: 10.1007/s11569-020-00378-0.
- Lees A., "Technique analysis in sports: a critical review," *J. Sports Sci.*, vol. 20, no. 10, pp. 813–828, Jan. 2002.
- Lees A., T. Asai, T. B. Andersen, H. Nunome, and T. Sterzing, "The biomechanics of kicking in soccer: A review," *J. Sports Sci.*, vol. 28, no. 8, pp. 805–817, 2010.
- Lotte F., F. Larrue, and C. Mühl, "Flaws in current human training protocols for spontaneous Brain-Computer interfaces: Lessons learned from instructional design," *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 7, no. SEP, pp. 1–11, 2013, doi: 10.3389/fnhum.2013.00568.
- Lu T.-W. and C.-F. Chang, "Biomechanics of human movement and its clinical applications," *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, vol. 28, no. 2, Supplement, pp. S13–S25, Feb. 2012, doi: 10.1016/j.kjms.2011.08.004.
- Morin, D. "Introduction to Classical Mechanics With Problems and Solutions", pp 320, Cambridge University Press, 2008.
- Mündermann L., S. Corazza, and T. P. Andriacchi, "The evolution of methods for the capture of human movement leading to markerless motion capture for biomechanical applications," *J Neuroengineering Rehabil*, vol. 3, p. 6, Mar. 2006, doi: 10.1186/1743-0003-3-6.
- Nakamura T., T. Miyoshi, S. Sato, M. Takagi, Y. Kamada, and Y. Kobayashi, "Differences in

- soccer kicking type identified using principal component analysis," *Sport. Eng.*, vol. 21, no. 3, pp. 149–159, 2018.
- Needham L., "The accuracy of several pose estimation methods for 3D joint centre localisation," *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, Art. no. 1, Oct. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-00212-x.
- Needham L., "The development and evaluation of a fully automated markerless motion capture workflow," *Journal of Biomechanics*, vol. 144, p. 111338, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.jbiomech.2022.111338.
- Nunome H., K. Inoue, K. Watanabe, T. Iga, and H. Akima, "Dynamics of submaximal effort soccer instep kicking," *J. Sports Sci.*, vol. 36, no. 22, pp. 2588–2595, 2018.
- oldberger, A., L. Amaral, L. Glass, J. Hausdorff, P. C. Ivanov, R. Mark, J. E. Mietus, G. B. Moody, C. K. Peng, and H. E. Stanley. "PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation [Online]*. 101 (23), pp. e215–e220." (2000).
- Pagnon D., M. Domalain, and L. Reveret, "Pose2Sim: An End-to-End Workflow for 3D Markerless Sports Kinematics-Part 1: Robustness," *Sensors (Basel)*, vol. 21, no. 19, p. 6530, Sep. 2021, doi: 10.3390/s21196530.
- Pagnon D., M. Domalain, and L. Reveret, "Pose2Sim: An open-source Python package for multiview markerless kinematics," *Journal of Open Source Software*, vol. 7, no. 77, p. 4362, 2022, doi: 10.21105/joss.04362.
- Praamstra P., L. Torney, C. J. Rawle, and R. Chris Miall, "Misconceptions about mirror-induced motor cortex activation," *Cereb. Cortex*, vol. 21, no. 8, pp. 1935–1940, 2011, doi: 10.1093/cercor/bhq270.
- Pueo B. and J. M. Jimenez-Olmedo, "Application of motion capture technology for sport performance analysis (El uso de la tecnología de captura de movimiento para el análisis del rendimiento deportivo)," *Retos*, vol. 32, pp. 241–247, Jul. 2017, doi: 10.47197/retos.v0i32.56072.
- Ragab K. Elnaggar, Relationship Between Transverse-plane Kinematic Deviations of Lower Limbs and Gait Performance in Children with Unilateral Cerebral Palsy: A De-scriptive Analysis, *Gait & Posture*, Vol. 79, pp 224-228, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.05.003>.
- Ramachandran V. S. and E. L. Altschuler, "The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function," *Brain*, vol. 132, no. 7, pp. 1693–1710, Jul. 2009, doi: 10.1093/brain/awp135.
- Ramachandran V. S. and W. Hirstein, "The perception of phantom limbs," *Brain*, vol. 121 no 9 pp. 1603–1630, 1998.
- Reissig P., M. I. Garry, J. J. Summers, and M. R. Hinder, "Visual feedback-related changes in ipsilateral cortical excitability during unimanual movement: Implications for mirror therapy," *Neuropsychol. Rehabil.*, vol. 24, no. 6, pp. 936–957, 2014, doi: 10.1080/09602011.2014.922889.
- Rupp, R., Rohm, M., Schneiders, M., Weidner, N., Kaiser, V., Kreilinger, A., and Müller-Putz, G. R., "Think2grasp - BCI-Controlled Neuroprosthesis for the Upper Extremity.," *Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik (Berl.)*, vol. 58, pp. 10–11, Sep. 2013, doi: 10.1515/bmt-2013-4440.
- Schalk G., D. J. Mcfarland, T. Hinterberger, N. Birbaumer and J. R. Wolpaw, "BCI2000 : A General-Purpose Brain-Computer Interface (BCI) System," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 51, no. 6, pp. 1034–1043, 2004.

- Scurr J. and B. Hall, "The effects of approach angle on penalty kicking accuracy and kick kinematics with recreational soccer players," *J. Sport. Sci. Med.*, vol. 8, no. 2, pp. 230–234, 2009.
- Shan G. and P. Westerhoff, "Full-body kinematic characteristics of the maximal instep soccer kick by male soccer players and parameters related to kick quality," *Sport. Biomech.*, vol. 4, no. 1, pp. 59–72, Jan. 2005.
- Shan G. and X. Zhang, "From 2D leg kinematics to 3D full-body biomechanics-the past, present and future of scientific analysis of maximal instep kick in soccer," *Sport. Med. Arthrosc. Rehabil. Ther. Technol.*, vol. 3, no. 1, 2011.
- Southard D. L., "Changes in kicking pattern: Effect of experience, speed, accuracy, and effective striking mass," *Res. Q. Exerc. Sport*, vol. 85, no. 1, pp. 107–116, 2014.
- Stagni R., A. Leardini, A. Cappozzo, M. Grazia Benedetti, and A. Cappello, "Effects of hip joint centre mislocation on gait analysis results," *J Biomech*, vol. 33, no. 11, pp. 1479–1487, Nov. 2000, doi: 10.1016/s0021-9290(00)00093-2.
- Sterzing T., J. S. Lange, T. Wächtler, C. Müller, and T. L. . Milani, "Velocity and Accuracy as Performance Criteria for Three Different Soccer Kicking Techniques," in *27 International Conference on Biomechanics in Sports*, 2009.
- Susan A. Rethlefsen, PT and Robert M. Kay, MD, Transverse Plane Gait Problems in Children With Cerebral Palsy, *J Pediatr Orthop* 2013;33:422–430, 2013.
- Thompson M. C., "Critiquing the Concept of BCI Illiteracy," *Sci. Eng. Ethics*, vol. 25, no. 4, pp. 1217–1233, 2018, doi: 10.1007/s11948-018-0061-1.
- Touzalin-chretien P. and S. Ehrler, "Dominance of Vision over Proprioception on Motor Programming : Evidence from ERP," *Cerebral cortex* 20 no. 8 August 2010, pp. 2007–2016, 2016, doi: 10.1093/cercor/bhp271.
- Uhlich S. D., "OpenCap: 3D human movement dynamics from smartphone videos." *bioRxiv*, p. 2022.07.07.499061, Jul. 10, 2022. doi: 10.1101/2022.07.07.499061.
- Van Den Tillaar R. and A. Ulvik, "Influence of instruction on velocity and accuracy in soccer kicking of experienced soccer players," *J. Mot. Behav.*, vol. 46, no. 5, pp. 287–291, 2014.
- Vaughan, C.L. and Davis, B.L. and O'Connor, J.C. "Dynamics of Human Gait", pp 24-55, Human Kinetics Publishers, 1992.
- Vidaurre C. and B. Blankertz, "Towards a cure for BCI illiteracy," *Brain Topogr.*, vol. 23, no. 2, pp. 194–198, 2010, doi: 10.1007/s10548-009-0121-6.
- Vieira L. H. P., "Kicking Performance and Muscular Strength Parameters with Dominant and Nondominant Lower Limbs in Brazilian Elite Professional Futsal Players," *J. Appl. Biomech.*, vol. 32, no. 6, pp. 578–585, Dec. 2016.
- Wang T., J. Deng, and B. He, "Classifying EEG-based motor imagery tasks by means of time-frequency synthesized spatial patterns," *Clin. Neurophysiol.*, vol. 115, no. 12, pp. 2744–2753, Dec. 2004, doi: 10.1016/j.clinph.2004.06.022.
- Winter D., *Biomechanics and motor control of human movement*, Fourth Edition. 2009.

PID 6179

Denominación del Proyecto

Construcción de modelos para el análisis del movimiento humano en aplicaciones clínicas, deportivas y ergonómicas de la industria

Director

Braidot Ariel Andrés Antonio

Unidad de Ejecución

Universidad Nacional de Entre Ríos

Dependencia

Facultad de Ingeniería

Contacto

ariel.braidot@uner.edu.ar

Cátedra/s, área o disciplina científica

Departamento Bioingeniería. Biomecánica - Laboratorio de Biomecánica

Instituciones intervinientes públicas o privadas:

Centro de rehabilitación e investigación Dr. Esteban Laureano Maradona de Santa Fe; BIASSONI E HIJOS S.A.I.C.A. Programa de Fisioterapia de la Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad del Rosario (Bogotá - Colombia). Star Feet SAS. Clínica de rehabilitación (CERENER) de la ciudad de Paraná. Centro de Rehabilitación Integral Entre Ríos

Integrantes del proyecto

Docentes UNER: FRISOLI Melisa Antonella; López Ibarra Marco Antonio. Gemignani Diego José Becaria doctoral: Casas Gómez Diana Margarita. Integrantes externos: Cifuentes García Carlos Andrés (Colombia). Crespo Marcos José (FLENI Escobar)

Fechas de iniciación y de finalización efectivas

01/02/2018 y 24/12/2022

Aprobación del Informe Final por Resolución C.S. N° 188/24 (28/06/2024)