



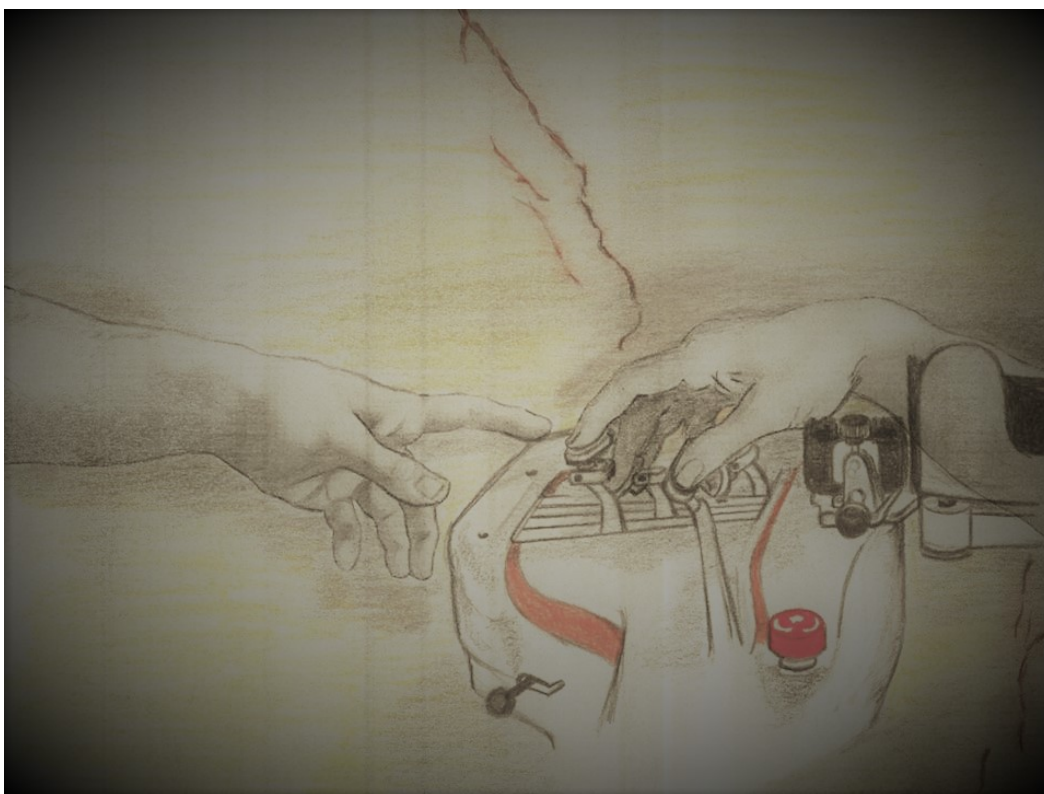
**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

Facultad de Enfermería y Fisioterapia

TESIS DOCTORAL

¿QUO VADIS, AMADEO® ROBOT?



Doctorando:

D. Pedro Amalio Serrano López-Terradas

Dirección: D. José Ignacio Calvo Arenillas

Co-dirección: Dña. Ana Belén Calvo Vera

Salamanca, 2022



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

Facultad de Enfermería y Fisioterapia

TESIS DOCTORAL

¿QUO VADIS, AMADEO® ROBOT?

EFICACIA SENSORIOMOTORA Y FUNCIONAL

DE LA REHABILITACIÓN ROBÓTICA

DE LA MANO NEUROLÓGICA TÍPICA

EN EL ICTUS SUBAGUDO:

UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

CON ESTUDIO META-ANALÍTICO POS HOC Y

UN ENSAYO PROSPECTIVO ALEATORIZADO

CRUZADO A CIEGO SIMPLE CON MODELO PREDICTIVO

Doctorando:

D. Pedro Amalio Serrano López-Terradas

Dirección: D. José Ignacio Calvo Arenillas

Co-dirección: Dña. Ana Calvo Vera

Salamanca, 2022

A mi familia, ejemplo de superación y constancia.

A todos los que con afecto sincero habéis tenido fe en esta investigación, apoyando mi carrera profesional, docente e investigadora; y también a los que la habéis denostado en algún momento, porque gracias a vosotros, cada día, deseo ser y me convertís, en la mejor versión de mí mismo.

Y para ti, que con tus verdes ojos has iluminado en estos dos últimos años tantas noches eternas de insomnio frente a este ordenador.

PREFACIO

"No soy lo que soy, soy lo que hago con mis manos"

Louise Bourgeois.

La mano es, quizás, la estructura musculoesquelética más elegante, hábil e importante del organismo humano. Su estructura, desarrollada por selección natural, no sólo se compone de huesos, músculo o tendones, sino que goza de una compleja y enorme red de estructuras nerviosas tanto del sistema nervioso periférico como del sistema central que blindan el aseguramiento de toda su función en el más amplio sentido de la palabra, siendo el instrumento de los instrumentos y comportándose como una prolongación de nuestro cerebro en el entorno. Gracias a la mano, el ser humano desempeña multitud de actividades de distinta naturaleza: motoras, cognitivas, sensoriales y emocionales.

La mano se encuentra representada en la corteza de nuestro cerebro en una proporción muy superior al resto de estructuras y ello hace que se convierta en algo tremendamente personal, íntimo y plenamente específico de cada persona. Tanto es así que muchos pacientes por lesión en los núcleos cerebrales más complejos de la mano pueden perder su control o incluso generar un rechazo físico-emocional, y por lesión traumática al perder sus manos y ser trasplantados con otras, pasan por un complejo proceso que, en muchas ocasiones, conlleva su rechazo por parte del paciente debido a su incapacidad para adaptarse al tener las manos de otra persona.

En estos días, el ictus cerebral es una de las patologías que más afecta a las manos de los pacientes que lo sufren y está bien demostrado que la rehabilitación temprana obtiene muchos mejores resultados, así como que reduce las secuelas asociadas. Para poder participar en las actividades de la vida diaria, el rendimiento del miembro superior y de la mano afectado por una patología neurológica es el principal factor limitante. Trabajar con esa red neuronal desde

un principio hace que la capacidad de adaptación y de plasticidad del sistema nervioso sea más eficiente y rápida, reduciendo antes el área de penumbra post ictus.

Aunque la mayor parte de los tratamientos de rehabilitación en el área de neurología se basan en teorías y constructos convencionales bien establecidos, no es menos cierto que el auge de las nuevas tecnologías y elementos robotizados podrían ser de gran ayuda para estos pacientes. Probablemente, en la actualidad, la combinación de ambos abordajes mediante una intervención temprana sea la mejor opción disponible para trabajar la funcionalidad de la mano en los pacientes con ictus.

Por todo ello es vital para la disciplina de Terapia Ocupacional, construir un cuerpo de conocimiento basado en la evidencia tanto para la evaluación, como para el tratamiento funcional del miembro superior y de la mano. Estamos convencidos de que la tesis doctoral de Pedro Amalio, será una valiosa aportación a la neurorrehabilitación del miembro superior y mano. Su pasión clínica e inquietud investigadora son garantes de ello.

"El hombre piensa porque tiene manos"

Anaxágoras.

Profesor Dr. D. César Cuesta

Vicedecano de Grado en Terapia Ocupacional. Centro Superior de Estudios Universitarios La Salle. Universidad Autónoma de Madrid.

Profesor Dr. D. Alfonso Gil Martínez

Vicepresidente. Centro Superior de Estudios Universitarios La Salle. Universidad Autónoma de Madrid. Fisioterapeuta Hospital Universitario La Paz.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DE DEPÓSITO Y DEFENSA.....	2
DEDICATORIA.....	3
PREFACIO.....	4
INDICE DE TABLAS.....	10
INDICE DE FIGURAS.....	12

CAPÍTULO I- INTRODUCCIÓN Y ESTADO DEL ARTE

Introducción.....	16
Estadios de recuperación y programas de rehabilitación en DCA.....	23
a) Etapa crítica-aguda: desordenes de conciencia.....	23
b) Etapa aguda-subaguda: DCA confusional.....	25
c) Etapa subaguda a crónica: DCA moderado a leve.....	25
Procesos de terapia ocupacional en el miembro superior.....	28
Un robot para la rehabilitación de la mano neurológica: Amadeo.....	30
Modelos propios de rehabilitación de la mano neurológica.....	33

CAPÍTULO II- REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA EVIDENCIA

Abstract/Resumen.....	40
Palabras clave.....	40
Highlights.....	41
Introducción y estado del arte	42
Metodología.....	45
Criterios de inclusión/exclusión.....	45
Bases de datos.....	45
Criterios de selección y extracción de datos.....	46
Evaluación de la calidad metodológica.....	48
Análisis cualitativo.....	49

Resultados.....	49
Características de los estudios.....	50
Principales resultados encontrados.....	50
Resultados de la valoración de la calidad metodológica.....	52
Análisis de la calidad de la evidencia.....	52
Efectos de un programa de robótica de mano en ictus.....	52
a) Función motora de la mano.....	53
b) Desempeño en AVD.....	54
c) Participación.....	55
d) Plasticidad sensoriomotora y activación neural.....	55
e) Procesos cognitivos.....	56
f) Cinética y cinemática de la mano.....	57
g) Destreza manual gruesa y fina.....	58
Discusión.....	58
Implicaciones clínicas.....	64
Conclusiones.....	66

CAPÍTULO III- ESTUDIO METAANALÍTICO POS HOC

Introducción.....	74
Métodos.....	77
Resultados.....	79
Principales efectos de la terapia robótica con Amadeo.....	81
a) Mejora sensoriomotora al final de la intervención.....	81
b) Mejoras cinéticas al final de la intervención.....	83
c) Mejoras cinemáticas al final de la intervención.....	84
d) Mejoras en destreza manual al final de la intervención.....	86
e) Mejoras en AVD al final de la intervención.....	88
Discusión.....	92
Implicaciones clínicas.....	102
Conclusiones.....	103

CAPÍTULO IV- EXPERIMENTO VERDADERO

Introducción.....	105
Hipótesis.....	107
Objetivos.....	108
Hitos.....	109
Metodología.....	110
Participantes.....	110
Procedimientos.....	113
Diseño del estudio.....	118
Cálculo del tamaño de la muestra.....	119
Análisis estadístico.....	119
Resultados.....	120
Factor 1: Grado de hemiparesia al ingreso ad hoc (PPP/PPN).....	120
A) Resultados cinéticos y cinemáticos a los 3 meses.....	120
B) Resultados sensoriomotores en escalas a los 3 y 6 meses...124	
C) Resultados funcionales en AVD a los 3 y 6 meses.....127	
Factor 2: Lateralidad de la lesión y cognición ad hoc (HD/HI).....	130
a) Resultados cinéticos y cinemáticos a los 3 meses.....130	
b) Resultados sensoriomotores en escalas a los 3 y 6 meses...136	
c) Resultados funcionales en AVD a los 3 y 6 meses.....138	
Grupo control de sujetos voluntarios sanos.....	142
Discusión.....	143
Implicaciones clínicas, limitaciones del estudio y futuros análisis.....	152
Conclusiones.....	154

CAPÍTULO V- MODELO PREDICTIVO

Introducción.....	157
Antecedentes de la investigación propia con Amadeo.....	159
Métodos.....	161
Análisis estadístico.....	161
Resultados.....	164

Modelos predictivos AMADEUS.....	166
a) Recuperación de funcionalidad (MP AMADEUS-A).....	166
b) Recuperación sensoriomotora (MP AMADEUS-B).....	168
Discusión.....	175
Conclusiones.....	183
CAPÍTULO VI- IMPLICACIONES CLÍNICAS Y CONCLUSIONES	
Implicaciones clínicas de “Quo Vadis, Amadeo?”.....	185
Limitaciones de la investigación narrativa y empírica.....	188
Recomendaciones para la aplicación clínica.....	188
Prevención y seguridad.....	191
Recomendaciones para la población general.....	193
Nuevas indicaciones.....	194
Futuro de esta investigación.....	196
Conclusiones finales.....	200
Referencias.....	203
Agradecimientos.....	231
Declaración de conflicto de intereses.....	233
Contribuciones de colaboradores y amigos a esta investigación.....	233
Aspectos éticos.....	234
Financiación.....	234
Glosario de abreviaturas.....	235
ANEXO I – PUBLICACIONES DERIVADAS DE ESTA INVESTIGACIÓN.....	236

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I (no incluye)

CAPÍTULO II

Tabla II-1: Escala PEDro para los artículos seleccionados.....	49
Tabla II-2: Características descriptivas de los estudios analizados.....	68
Tabla II-3: Variables analizadas por estudio, autor (año).....	51

CAPÍTULO III (no incluye)

CAPÍTULO IV

Tabla IV-1: Características demográficas y clínica de la muestra.....	112
Tabla IV-2: Diferencias de efecto TAR vs TOM entre PPP/PPN (3 meses)...	123
Tabla IV-3: Diferencias de efecto TAR vs TOM entre PPP/PPN (3 meses)...	122
Tabla IV-4: Efecto sensoriomotor TAR por grupo PPP vs PPN (3meses).....	124
Tabla IV-5: Efecto sensoriomotor TOM por grupo PPP vs PPN (3 meses)...	125
Tabla IV-6: Efecto sensoriomotor TAR+TOM para PPP vs PPN (6meses)...	126
Tabla IV-7: Efecto funcional de TAR, TOM, TARvsTOM (3 meses).....	127
Tabla IV-8: Efecto funcional TAR+TOM (6 meses) por grupo PPP/PPN....	129
Tabla IV-9: Diferencia efecto cinético-cinemático (3 meses) en HD/HL.....	133
Tabla IV-10: Diferencia efecto en escalas de mano (3 meses) en HD/HL.....	134

Tabla IV-11: Diferencias TARvsTOM en robot y escalas en HD/HL.....135

Tabla IV-12: Efecto funcional de TAR, TOM, TARvsTOM (3-6 meses).....141

CAPÍTULO V

Tabla V-1: Correlaciones entre variables criterio y predictivas.....165

Tabla V-2: Resultados estadísticos del modelo de regresión lineal.....167

CAPÍTULO VI (no incluye)

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura I-1: Explicaciones autorreferenciales delirantes en somatoparafrenia....	19
Figura I-2: Síndrome de mano ajena tras un DCA.....	22
Figura I-3: Estandarización del protocolo de miembro superior en HBMA.....	27
Figura I-4: El robot de mano Amadeo.....	32
Figura I-5: Diagrama del modelo sinérgico propio RobHand2015.....	34
Figura I-6: Diagrama del modelo sinérgico propio IS-BRAIN.....	36

CAPÍTULO II

Figura II-1: Dispositivos AR5 y AR7.....	44
Figura II-2: Diagrama PRISMA del proceso de revisión sistemática.....	47
Figura II-3: Modelo gráfico: conclusiones y niveles de recomendación.....	67

CAPÍTULO III

Figura III-1: Gráfico de riesgo de sesgo para los estudios incluidos.....	80
Figura III-2: Forest plot del efecto sensoriomotor al final del tratamiento.....	87
Figura III-3: Funnel plot del efecto sensoriomotor para sesgo.....	82
Figura III-4: Forest plot del efecto cinético al final de la intervención.....	88

Figura III-5: Funnel plot del efecto cinético para sesgo de publicación.....	83
Figura III-6: Forest plot del efecto cinemático al final de la intervención.....	89
Figura III-7: Funnel plot del efecto cinemático para sesgo de publicación.....	84
Figura III-8: Forest plot del efecto en destreza al final de la intervención.....	90
Figura III-9: Funnel plot del efecto en destreza para sesgo de publicación.....	85
Figura III-10: Forest plot del efecto en AVD al final de la intervención.....	91
Figura III-11: Funnel plot del efecto en AVD para sesgo de publicación.....	86

CAPÍTULO IV

Figura IV-1: Diagrama de flujo tipo CONSORT (fases del estudio).....	111
Figura IV-2: Parámetros cinéticos y cinemáticos (3 meses) en PPP/PPN.....	121
Figura IV-3: Mejoras alcanzadas en PPP/PPN por fase a los (3 meses).....	122
Figura IV-4: Efecto sensoriomotor (6 meses) por escalas en PPP/PPN.....	126
Figura IV-5: Efecto de TAR+TOM (6 meses) en las AVD en PPP/PPN.....	129
Figura IV-6: Diferencia efecto TARvsTOM en HD/HI	132
Figura IV-7: Resultados SM en escalas TARvsTOM en HD/HI	137
Figura IV-8: Efecto de la intervención CT vs TAR en AVD.....	142
Figura IV-9: Proceso de validación en grupo control sano.....	143

CAPÍTULO V

- Figura V-1.** MP Amadeus-A1 (gráficos residuos, scatter plot y regresión)....171
- Figura V-2.** MP Amadeus-A2 (gráficos residuos, scatter plot y regresión)....171
- Figura V-3.** MP Amadeus-A3 (gráficos residuos, scatter plot y regresión).....172
- Figura V-4.** MP Amadeus-B1 (gráficos residuos, scatter plot y regresión).....172
- Figura V-5.** MP Amadeus-B2 (gráficos residuos, scatter plot y regresión)....173
- Figura V-6.** MP Amadeus-B3 (gráficos residuos, scatter plot y regresión)....173
- Figura V-7.** Modelo predictivo AMADEUS-A: Gráficos G-G.....174
- Figura V-8.** Modelo predictivo AMADEUS-B: Gráficos G-G.....174
- Figura V-9.** Modelo predictivo AMADEUS-Global (contribución %).....178
- Figura V-10.** Modelo predictivo AMADEUS-Global (coeficiente beta).....178

CAPÍTULO VI

- Figura VI-1:** Proyecto REHandMAP: Brain Computer Interface y qEEG.....198

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN Y ESTADO DEL ARTE

La versión extendida de este capítulo, con sus figuras, puede encontrarse publicada en (ver Anexo):

Serrano PA, Criado T, Aranda V, Fernández-Pinedo N, Riendas A, Sevilla MM, et al. Robotics and Virtual Reality Exer-Games for the Neurorehabilitation of Children and Adults with Traumatic Brain Injury: The IS-BRAIN Model. In: Engineering Biomaterials for Neural Applications. Springer International Publishing; 2022. p. 243–76.

Robotics and virtual reality exer-games for the neurorehabilitation of children and adults with traumatic brain injury: The IS-BRAIN model

Pedro A. Serrano, Teresa Criado, Miriam M. Sevilla, Nayra Fernández-Pinedo, Andrea Riendas, Virginia Aranda, Cristina Zafra, Ana Calvo Vera, Ignacio Calvo-Arenillas

The logo for Springer Nature, featuring the word "SPRINGER" in blue and "NATURE" in red, both in a bold, sans-serif font.

Introducción

Mejorar la hemiparesia del miembro superior y su impacto funcional después del accidente-cerebro-vascular (ACV) sigue siendo el principal objetivo en neurorrehabilitación. A los 4 años después del ictus, sólo un 4% de los pacientes se muestran satisfechos con la funcionalidad alcanzada, considerándose déficit crónico en casi un 50% de los casos(1)(2). Localización, extensión y gravedad de la lesión neurológica, más frecuente en la arterias cerebral media o anterior, conlleva una heterogeneidad de signos y síntomas sensoriomotores, cognitivos, emocionales y funcionales que condicionan diferentes tipos de síndromes de mano neurológica, que definiremos como típicos o atípicos a lo largo de este trabajo científico, así como determinan el grado de discapacidad de la persona y su ulterior nivel de autonomía alcanzado en la vida cotidiana. La intervención desde fase sub-aguda en este síndrome de mano neurológica, actualmente todavía de pronóstico incierto y lenta recuperación, debe dirigirse a reducir no sólo las deficiencias en los componentes sensoriomotores del miembro superior, sino también el impacto que los déficit por hemiparesia ocasionan en el desempeño de las actividades de la vida diaria (AVD) (3)

Un robot para la rehabilitación de la mano neurológica: Amadeo®

Entre los métodos de rehabilitación de la función de la mano después del ictus, la terapia asistida por robot (TAR) es ampliamente utilizada, y el uso de estos dispositivos robóticos podría proporcionar un entrenamiento funcional para la mano o asistir la funcionalidad de la mano parética en el desempeño de tareas simuladas o de la vida cotidiana. Sin embargo, atendiendo a las características particulares de cada persona con

hemiparesia de la mano por ictus, no siempre las necesidades del usuario pueden ser correctamente reconducidas con estos dispositivos (200).

A continuación, se describen las principales características y logros en la neurorrehabilitación *del robot de efector final Amadeo®*, núcleo de esta tesis doctoral, al ser el dispositivo robótico con mayor evidencia disponible (201). Se trata de un tipo de dispositivo robótico de efector final seguro, factible en su aplicación clínica y ajustable, cuyo objetivo de evaluación y tratamiento es la mano (ver **Figura I-4**).

Este robot de mano ayuda a entrenar varios aspectos del movimiento de agarre y a trabajar sobre objetivos específicos para el entrenamiento de la apertura de la mano y la extensión de los dedos. Los movimientos de toda la mano o de cada dedo individualmente se pueden medir o controlar a través de fuerza isométrica, rango de movimiento y/o señales de activación por electromiografía de superficie (sEMG) (182).

En general, se considera un buen dispositivo de retroalimentación aumentada para mejorar la función motora de agarre de la mano y contribuir a la rehabilitación de algunos procesos cognitivos (178)(201)(96)(202)(203)(32). Aunque será discutido en ulteriores capítulos, el robot Amadeo® es el dispositivo para rehabilitación de la mano neurológica con el más alto nivel de evidencia clínica y de investigación en la actualidad, incluyendo algunos pocos estudios de mapeo cerebral funcional que sugieren plausibles cambios en la neuroplasticidad cerebral al reequilibrar la conectividad interhemisférica (202)(204)(205)(206).

En la última década, y ante un alto porcentaje de insatisfacción con los resultados alcanzados en la rehabilitación de la mano, se ha encontrado necesaria una intervención centrada directamente en este efector final biológico y biomecánico, a pesar de las recomendaciones pre-existentes por teorías más clásicas, especialmente frente a la

evidencia de una limitada capacidad de migración de las mejoras desde los segmentos más proximales a los segmentos distales, o viceversa (3)(207).

Este robot se puede utilizar en todas las fases de la rehabilitación de los dedos y la mano con múltiples patologías, y se puede adaptar a las necesidades de cada paciente en combinación con electroencefalografía (EEG), electromiografía de superficie (sEMG) y protocolos tradicionales de valoración del miembro superior (208)(209)(210). Cuando se usa correctamente, el robot de mano Amadeo® puede detectar pequeños cambios en los parámetros cinéticos y cinemáticos de la mano, como son el rango de movimiento (AM), la fuerza de agarre (FF) y la fuerza de suelta (FE), midiendo las fuerzas de flexión y de extensión de cada uno de los dedos (36). A pesar de su retroalimentación intrínseca aumentada, el reaprendizaje motor debe reforzarse mediante retroalimentación extrínseca, proporcionada por el terapeuta experto, mediante instrucciones verbales, modelado y estimulación auditiva rítmica (211), entre otras alternativas. Las terapias intensivas con sistemas robóticos como Amadeo® (212) son beneficiosas en la recuperación de la función motora de la mano en asociación con otros programas de fisioterapia y/o terapia ocupacional(165).

Modelos propios de rehabilitación de la mano neurológica

Con el propósito de mejorar los procesos de evaluación y tratamiento del miembro superior y la mano, se desarrolló un primer modelo específico de rehabilitación de la mano neurológica, *Robotics for Hand* (ROBHAND2015®), diseñado en los primeros 5 años de experiencia clínica. Se presenta un resumen gráfico del modelo, basado en la sinergia entre el AMPS© (213)(214)(215)(216), la terminología uniforme de terapia ocupacional según criterio de la II y III Edición del Marco Teórico de Trabajo de la AOTA (2008-2014)(217)(218)(219) y la modificación de parámetros específicos de la Clasificación Internacional de Funcionamiento y Discapacidad (CIF) (220)(221), que puede observarse en la **Figura I-5**. La relación entre *impedimentos*, derivados de la afectación de estructuras y funciones corporales; *limitaciones*, derivadas de la afectación en las habilidades y destrezas de ejecución; y *restricciones*, derivadas de nuestra participación en las actividades de la vida diaria, y cómo las *influencias externas*, causadas por factores determinantes del entorno, y las *influencias internas*, causadas por factores determinantes del propio usuario, pueden alterar dicho equilibrio a cualquier nivel. Dentro de este vulnerable continuo que representa el estado de salud en la persona con hemiparesia de miembro superior como consecuencia de un ictus (ACV), los impedimentos en funciones y estructuras son evaluados sinérgicamente a través de un protocolo sensoriomotor-ocupacional-robótico, y las limitaciones en destrezas específicas de la mano y las restricciones en la participación en actividades cotidianas son abordadas también mediante una intervención sinérgica robótica-ocupacional, donde el terapeuta ocupacional experto se convierte en elemento indispensable por su capacidad para la selección de la actividad propositiva más adecuada, para proporcionar una ajustada retroalimentación extrínseca y para poder controlar la influencia tanto de factores externos del entorno como de factores internos personales, lo que permite un

proceso holístico y fluido de evaluación/re-evaluación de todo el continuo de rehabilitación del miembro superior a nivel distal en todas sus esferas.



Figura I-5. Diagrama del Modelo Sinérgico de Rehabilitación de la Mano, RobHand2015® (Serrano, 2015): *impedimentos, limitaciones, restricciones y factores se encuentran relacionados en el modelo experimental para la rehabilitación de la mano en ACV.*

Durante los subsiguientes 5 años de experiencia clínica, se identificó la necesidad de evolución del modelo anterior, desarrollando un nuevo modelo sinérgico de intervención basado en la implementación robótica con exer-games para aumentar la intensidad en neurorrehabilitación, el *Intergrative Synergistic model Based on exer-gamed Robotics to Augment Intensity in Neurorehabilitation (IS-BRAIN®)*. Este nuevo modelo, creado en 2020 como una herramienta más personalizada, resolvía algunas lagunas sobre el abordaje neurorrehabilitador con nuevas tecnologías en los pacientes con DCA. IS-BRAIN® reflejaba más fielmente la actual intervención tecnológico-

convencional llevada a cabo en la Unidad de Daño Cerebral (UDC) del Hospital Beata María Ana (HBMA), y en su reciente Unidad de Robótica (UR) (ver **Figura I-6**).

Este modelo fue concebido en base a la experiencia clínica de una década de terapeutas ocupacionales y fisioterapeutas expertos en enfermedades neurológicas. Se centra en el uso de las nuevas tecnologías como terapia adyuvante a la rehabilitación más convencional del DCA, con el fin de mejorar los miembros inferiores, la función de estabilidad y equilibrio, los miembros superiores y la destreza manual. Es importante destacar que se trata de un modelo en continua evolución, en el que en cada año se incorporan más innovadoras técnicas y tecnologías de realidad virtual (VR) y de terapia robótica (TAR) basada en juegos para la rehabilitación (exer-games), que son implementadas diariamente por profesionales con un alto grado de *expertise* en clínica, docencia e investigación en la UR-UDC de HBMA. Personas con DCA, tanto adultas como niños, con etiología muy variable como ictus, tumores, traumatismo craneoencefálico o infecciones del sistema nervioso central (SNC), como la reciente COVID-19, pueden beneficiarse en la actualidad de este modelo sinérgico de neurorrehabilitación.

La adaptabilidad, viabilidad y seguridad de ambos modelos propios, ROBHAND2015® e IS-BRAIN®, ha quedado demostrada en múltiples etiologías y perfiles de pacientes en esta última década de actividad clínica, en la UR-UDC de HBMA, incluyendo casos de SARS-COV-2 como posible nueva causa de DCA.

Ambos modelos descritos permiten que todos estos dispositivos puedan implementarse en la neurorrehabilitación individualizada de personas con síndromes traumáticos y neurológicos típicos de la mano, como la apraxia o neglect, pero también en síndromes de mano neurológica atípicos como es la mano ajena, la anosognosia, la somatoparafrenia, el síndrome del trefinado o el síndrome de Gerstmann, en los que el

uso de las nuevas tecnologías basadas en robótica, RV y exer-games pueden convertirse en una alternativa terapéutica factible y eficaz (57)(96). Además, para mejorar los métodos de evaluación tradicionales, un espacio de trabajo más tecnológico, robotizado o virtual podría optimizar la evaluación objetiva de la funcionalidad del miembro superior y la mano. En adición, nuevas intervenciones que usen ortesis mioeléctricas en pacientes con DCA podrían también contribuir a mejorar el pobre control motor, la coordinación y optimizar el reaprendizaje del movimiento. Sincrónicamente al abordaje de las deficiencias sensoriomotoras, las alteraciones en procesos cognitivos, como la atención visuoespacial, la memoria de trabajo o la función ejecutiva, podrían ser también rehabilitadas mediante el uso de estas novedosas tecnologías adyuvantes (32).

Mediante la presente investigación doctoral se pretende 1) demostrar la eficacia de los modelos teóricos presentados; 2) analizar la evidencia de este robot de mano y mostrar el más alto nivel de evidencia y grado de recomendación para su uso; 3) demostrar la evidencia encontrada en un primer ensayo piloto realizado en 2013 sobre una muestra mayor con un diseño metodológico mejorado, analizando factores asociados en la literatura con una mejor recuperación de la función manual en pacientes con ACV: i) presencia de una mayor capacidad de activación de los dedos y la mano en los primeros días después del evento, ii) lateralidad de la lesión y procesos cognitivos vinculados al síndrome de mano neurológica típica, con el propósito de identificar relaciones entre variables y potenciales factores de pronóstico positivo o negativo para la recuperación de la mano (36); 4) Definir y generar, en caso de ser posible, un modelo predictivo con Amadeo® sobre variables criterio sensoriomotoras y funcionales.

En base a la experiencia clínica adquirida después de 10 años de aplicación clínica con este dispositivo y sobre el fundamento de un trabajo de revisión narrativa cualitativo y cuantitativo, en un ejercicio de inusitada vehemencia, se intentará dar

respuesta a la pregunta que da título a este trabajo doctoral “*Quo Vadis, Amadeo® Robot?*”, a través de un recorrido empírico por los diferentes niveles de investigación hasta alcanzar el más elevado posible, partiendo del *nivel relacional*, donde evitaremos las asociaciones espurias entre variables, identificando diferencias entre grupos en un *nivel explicativo*, intentando pronosticar la recuperación de la mano neurológica típica mediante este robot en un *nivel predictivo*, para finalmente y si fuera posible, alcanzar el *nivel aplicativo* respondiendo a la pregunta inicial a través de oportunas recomendaciones generalizables, o no, para una práctica clínica más universal con este dispositivo en la población con ictus.

CAPÍTULO II

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA EVIDENCIA DEL ROBOT AMADEO®

La versión extendida de este capítulo, con sus figuras y tablas, puede encontrarse publicada en (ver Anexo):

Serrano-Lopez-Terradas PA, Seco-Rubio R. Effectiveness of robotic therapy in the proximal and distal rehabilitation of the upper limb in patients after stroke using the Amadeo® and Armeo® devices: a systematic review of randomized clinical trials (Efectividad de la terapia robótica en la rehabilitación proximal y distal del miembro superior en personas tras un ictus con los dispositivos Amadeo® y Armeo®: una revisión sistemática de ensayos clínicos aleatorizados). *Estud Psicol.* 2022;43(1).

Effectiveness of robotic therapy in the proximal and distal rehabilitation of the upper limb in patients after stroke using the Amadeo® and Armeo® devices: a systematic review of randomized clinical trials (*Efectividad de la terapia robótica en la rehabilitación proximal y distal del miembro superior en personas tras un ictus con los dispositivos Amadeo® y Armeo®: una revisión sistemática de ensayos clínicos aleatorizados*)

Pedro-Amalio Serrano-Lopez-Terradas & Rafael Seco-Rubio



Resumen

Introducción: En base a la evidencia, se evaluará la efectividad del dispositivo robótico Amadeo® en personas con ictus y déficit de funcionalidad de los miembros superiores.

Metodología: Una búsqueda sistemática se llevó a cabo por 2 revisores independientes en las bases de datos *Pubmed, Cochrane Library, EBSCO, Otseeker, SciTePress, PEDrodatabase* y *Google Scholar* siguiendo la norma PRISMA. Discrepancias entre ambos fueron resueltas por consenso. De 805 registros identificados inicialmente, fueron incluidos para revisión 10 ECAs, que cumplían criterios de inclusión y mostraban la más alta calidad metodológica mediante un análisis cualitativo del nivel de evidencia con la escala PEDro y los criterios vanTulder. *Resultados:* Hallazgos relevantes relacionados con variables motoras, cognitivas y funcionales fueron analizados y discutidos sobre un total de 436 pacientes con ictus en diferentes fases, en base a su exposición a dicho dispositivo. Se encontró fuerte evidencia en función motora y destreza, moderada evidencia de mejora en procesos cognitivos, limitada evidencia en neuroplasticidad e insuficiente evidencia de cambios en AVD o participación. *Conclusión:* La terapia robótica del miembro superior con Amadeo® tras un ictus resulta efectiva.

Palabras clave

Efectividad, robótica, miembro superior, rehabilitación, ictus

Effectiveness, robotics, upper limb, rehabilitation, stroke

Highlights

- “La rehabilitación sensoriomotora del miembro superior y su control motor puede optimizarse mediante la aplicación de exoesqueletos y dispositivos de efector final”
- “La terapia asistida por robot permite mediante sus exergames, no sólo la mejora de destrezas motoras específicas sino también de procesos cognitivos, en pacientes con ictus y negligencia”
- “El uso de tecnología robótica permite mejorar la funcionalidad y destreza del miembro superior, mejora procesos cognitivos y produce cambios en el mapa cerebral funcional, pero no garantiza una transferencia de aprendizajes a las actividades de la vida diaria o una mejora en la participación del paciente con ictus”.

Implicaciones clínicas:

Un entrenamiento robótico efectivo y eficiente debería cumplir los requerimientos:

- a) *Accesibilidad Universal:* permitir el acceso a todos los usuarios que puedan beneficiarse de ella, especialmente usuarios en sillas de ruedas y que las opciones de ajuste del dispositivo permitan un óptimo posicionamiento anatómo-fisiológico de los segmentos corporales del paciente en sedestación y en relación a la tarea a desempeñar.
- b) *Tiempo de configuración:* es necesario reducir el tiempo de ajuste de estos procesos (normalmente de 5 a 10 minutos) para garantizar y maximizar el tiempo neto efectivo de terapia y de tratamiento.
- c) *Evaluación estandarizada y validada:* la tecnología robótica permite una más objetiva, rápida y computerizada evaluación estandarizada del estado del paciente, pero no siempre está libre de sesgos ni equiparada con otras pruebas de evaluación ya validadas.
- d) *Motivación:* las aplicaciones de software terapéutico o exergames deben ser más significativas y ecológicas, y estar dirigidas a cumplir los objetivos marcados mientras el paciente se mantiene comprometido e implicado en su tratamiento, ya que la rehabilitación no debería ser aburrida ni tediosa.
- e) *Informes y documentación automatizados:* las nuevas tecnologías proporcionan datos detallados de cada sesión de tratamiento y de los reajustes de algunos parámetros del software, mejorando algunos procesos de monitorización y seguimiento del paciente, frente a otras intervenciones más tradicionales.

- f) *Tiempo de formación del personal*: resulta imprescindible el proceso de aprendizaje del profesional dirigido a adquirir las competencias necesarias para hacer un buen uso del hardware y del software de cada dispositivo.

Conclusiones

La terapia robótica con Amadeo® podría ser una herramienta eficaz en la rehabilitación de la mano tras un ictus. Abordajes distales del miembro superior con robótica podrían ser igualmente efectivos que los aplicados desde segmentos proximales o con terapia más convencional.

Aunque nuestros resultados deberían ser interpretados con cautela debido al número limitado de artículos, factores determinantes para el uso funcional de la mano, como son la biomecánica cinética o cinemática, la capacidad sensoriomotora, la destreza, algunos procesos cognitivos y la neuroplasticidad, podrían verse mejorados mediante el uso de estas técnicas de tratamiento más robóticas y computarizadas. El efecto positivo que tiene la aplicación de la terapia robótica debería ser suficiente para motivar futuras investigaciones (ver **Figura II-3**), siendo deseable que éstas se dirijan a identificar los verdaderos cambios que podría producir en estos parámetros biomecánicos y sensoriomotores (*bottom-up*), en el mapa cerebral funcional (*top to down*) y/o en el desempeño de las actividades de la vida diaria en contexto real, tal y como recomendamos en nuestra publicación (165).

Los notables resultados alcanzados mediante la aplicación de la terapia robótica podrían sugerir que más recursos sanitarios podrían implementar este tipo de intervención para poder tener así un acceso más universalizado a este efectivo tratamiento. Los factores económicos serían relevantes, no solo para la adquisición de

dichos dispositivos y la subsiguiente atención clínica, sino también para reducir algunos costes generales hasta niveles más sostenibles y accesibles.

Actualmente, este dispositivo robótico podría mostrarse como una parte esencial de la terapia de mano clínica moderna y podría ser una pieza clave para mejorar la calidad de algunos procesos y los resultados motores y cognitivos alcanzados con la rehabilitación neurológica.

CAPÍTULO III

ESTUDIO METANALÍTICO POS HOC INCLUYENDO LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

Los principales resultados de esta parte de la investigación serán defendidos y publicados en:

Serrano López-Terradas, P.A. Amadeo robot for hand paresis recovery in stroke. Is gold all that shine? A clinical predictive model. In: 12th World Congress for Neurorehabilitation (WCNR) and WFNR – Robotics and Related Technologies Session [Internet]. WCNR-Book of Abstract: number ID 301. Vienna (Austria), 14-17 Dec 2022. Available from WCNR 2022 www.wfnr-congress.org.

Vienna
14–17 December 2022 | Austria
hybrid



Neurorehabilitation and
Neural Repair

ASNR
AMERICAN SOCIETY OF
NEUROREHABILITATION

WFNR
World Federation for NeuroRehabilitation

4.895 Impact Factor
5-Year Impact Factor 5.781
Journal Indexing & Metrics »

Introducción

En la actualidad, el abordaje distal del miembro superior en neurorrehabilitación se ha convertido en un objetivo prioritario. Las teorías actuales basadas en el control neuromotor y el reaprendizaje motor, en la plasticidad cerebral, en el sistema de las neuronas espejo, en la imaginación motora y en la actualización de las redes neurales que pueden reasignar circuitos neuronales en nuestros cerebros, pueden avalar una rehabilitación aislada y preferencial centrada en la mano neurológica frente al resto del miembro superior, como permite el robot de mano Amadeo®.

La versatilidad de este dispositivo para la rehabilitación de la mano en enfermedades neurológicas, y sus más de 10 años en el mercado de la neurorrehabilitación, han generado una gran cantidad de evidencia internacional relacionada con la aplicabilidad clínica. La viabilidad y usabilidad del dispositivo Amadeo® como herramienta de terapia robótica ha permitido incluirlo en varias revisiones de literatura (245)(252), pero también en las más actuales revisiones sistemáticas de la literatura con meta-análisis sobre la rehabilitación de los miembros superiores (99)(100)(101). El nivel general de evidencia encontrado en los estudios es muy heterogéneo, incluyendo estudios de casos únicos (96)(253)(254), series de casos (255)(256), estudios observacionales transversales, de cohortes o de casos y controles (182)(180)(208)(226)(176)(257), estudios de intervención cuasi-experimental (258), o estudios aleatorizados (3)(259)(210)(204)(36)(205)(240)(201)(241)(203)(237)(242), y otros estudios obtenidos de fuentes de literatura gris, como tesis doctorales internacionales inéditas (260) o la presente tesis doctoral aún no publicada (261). De entre todos ellos, se han encontrado pocos estudios de intervención publicados con alto nivel de evidencia que cumplan con el propósito de esta revisión sistemática cuantitativa y meta-analítica. Algunos de estos estudios válidos, que forman parte como estudios piloto de ensayos clínicos

aleatorizados más grandes, se han incluido de manera práctica en el ensayo metodológicamente más sólido incluido bajo la autoría del investigador principal, cuando se encontró su registro en el registro internacional de ensayos clínicos (NCT) o en *ClinicalTrials.gov*. De alguna manera, se ha intentado incorporar en esta revisión la mayoría de las referencias encontradas válidas, aunque sólo se han seleccionado con el propósito de realizar un análisis cuantitativo de la evidencia aquellos estudios de mayor calidad metodológica, con datos suficientes disponibles y que analizaran los mismos factores sensoriomotores y funcionales objeto de investigación en esta tesis doctoral.

Para determinar la eficacia del robot Amadeo® como potencial *gold standard* para la rehabilitación de la mano neurológica basada en la mejor evidencia científica, fue necesario identificar las principales variables de resultado analizadas en cada estudio y agruparlas para su posterior análisis de efectos, basándonos en el trabajo previo del capítulo II. La mayoría de los estudios incluían variables de resultado cinéticas y cinemáticas sensoriomotoras, como mejoras en el rango de movimiento de la mano o de los dedos, en la fuerza de agarre-suelta de la mano y de los dedos, bien en flexión o en extensión, o en la fuerza de pinza aislada de los dedos.

Los estudios realizados con Amadeo® en comparación con otras terapias convencionales mostraron, como pudo comprobarse en el capítulo anterior, resultados significativamente positivos especialmente en las escalas FMUL, BBT o NHPT, avalando su uso en diferentes tipos de mano neurológica, como las recientes investigaciones en parálisis cerebral infantil (262), mano quemada pediátrica (263), esclerosis múltiple (264)(265)(266), lesión medular (210)(254), enfermedad de Parkinson (267) o lesión cerebral por traumatismo craneo-encefálico (32), siendo especialmente relevante el efecto positivo en personas con ictus en diferentes etapas de

evolución desde la fase más aguda (< 3 meses), sub-aguda (3-6 meses) hasta la crónica (> 6 meses)(165).

Algunos autores describen cambios post-intervención al utilizar el robot de mano Amadeo® en parámetros electrofisiológicos, relacionados con la activación eléctrica cerebral por EEG-BCI (256)(268)(241)(206)(269), con la activación neuromuscular por EMG (258)(208)(270), o con la reasignación del mapa cerebral funcional (271)(256)(272)(273), mediante el uso de diversas técnicas objetivas de neuroimagen.

Esta revisión sistemática con análisis meta-analítico es especialmente importante por ser la primera que aísla el efecto del robot de mano Amadeo® en base a su literatura sin mezclarlo con otros dispositivos robóticos. Las revisiones sistemáticas realizadas hasta la fecha se han centrado más en los efectos proximales del miembro superior, en hombro, codo o muñeca, más que en los efectos alcanzados analíticamente en la mano parética. De este modo, los posibles resultados obtenidos con diferentes tipos de exoesqueletos y dispositivos robóticos de efector final se entremezclan, además de ser incluidos en sus revisiones ensayos sin equivalencia y muy heterogéneos entre miembro superior y mano. De este modo, al no aislar las variables, los posibles efectos proximales o distales del uso de la tecnología robótica resulta difícil de valorar.

Actualmente existen múltiples evidencias basadas en teorías del neurocontrol motor y del reaprendizaje motor que, a través de los cambios neuroplásticos encontrados en el mapa cerebral funcional, refuerzan la hipótesis de que un abordaje distal de la mano no solo es posible, sino efectivo. Los efectos específicos y verdaderos obtenidos en personas con ictus aplicando un enfoque de neurorrehabilitación robótica distal para la mano neurológica, en términos de mejoras sensoriomotoras o funcionales, aún se desconocen actualmente. Se pretende en este capítulo, confirmar los resultados

encontrados con el análisis cualitativo de la evidencia efectuado en el capítulo II, que indicaban la existencia de una *fuerte evidencia* de la eficacia de la robótica de Amadeo® en la funcionalidad del miembro superior y en la destreza, una *moderada evidencia* de cambios cinético-cinemáticos y cognitivos, una *limitada evidencia* de cambios neuroplásticos, así como la presencia de *evidencia contradictoria o insuficiente* sobre la presencia de cambios en el desempeño de las actividades de la vida diaria. Un nuevo análisis, pero cuantitativo de la evidencia, será desarrollado en el presente capítulo, con la intención de ayudar a sostener este nuevo puente construido sobre la identificada brecha de conocimiento.

Métodos

Recopilación y análisis de datos: Al igual que en el proceso de revisión cualitativa de la evidencia, dos revisores independientes seleccionaron los ensayos clínicos aleatorizados (ECAs) para su inclusión, procediendo a la extracción de datos, el análisis de la calidad metodológica y la evaluación del riesgo de sesgos. Se contactó con los autores de los ensayos originales para obtener información adicional cuando fue necesario. Se analizaron los resultados de cada estudio individual en términos de medidas del efecto mediante diferencias estandarizadas de la media (SMDs) para las variables continuas y mediante diferencias en el riesgo (RDs) para variables dicotómicas, en caso de ser necesario. Se aplicó un método estadístico de varianza inversa y un modelo de análisis de efectos aleatorios, con un intervalo de confianza (CI) para el estudio y totales del 95%. Este protocolo de revisión fue registrado con ID 393420040218500125 en la *Cochrane Data Base*.

Técnicas de intervención en comparación incluidas: La terapia asistida por robot (TAR) con el dispositivo Amadeo® fue comparada con cualquier otro tipo de intervención neurorrehabilitadora convencional, incluyendo todos los diferentes enfoques ocupacionales o de fisioterapia (CT/TOM). *Tipos de medidas de resultados incluidas:* Se incluyeron evaluaciones sensoriomotoras funcionales del miembro superior-mano (FMUL, WMFT), evaluaciones biomecánicas de cinética y/o cinemática de la mano (fuerza, ROM), test de evaluación de destreza manual (BBT, NHPT), y medidas de resultado para las actividades de la vida diaria (BI, MAL, AMPS). *Evaluación del riesgo de sesgos de los estudios incluidos:* Dos revisores independientes evaluaron el riesgo de sesgo de cada estudio seleccionado para meta-análisis, según los criterios clave: a) generación de secuencias aleatorias; b) ocultamiento de la asignación; c) cegamiento de los participantes, personal y resultados; d) datos de resultados incompletos; e) informe selectivo de resultados; y f) otras fuentes de sesgo, de acuerdo con los métodos recomendados por *The Cochcrane Collaboration*. Se utilizaron los siguientes juicios: bajo riesgo (en verde), alto riesgo (en rojo) o poco claro (en amarillo, por falta de información o incertidumbre sobre la posibilidad de presencia de sesgo). Los evaluadores resolvieron los desacuerdos por consenso y, de ser necesario, el doctorando actuó mediante arbitraje por ser el profesional más experto (274). *Medidas de efecto del tratamiento:* Siempre que fue posible, el efecto del tratamiento para cada resultado dicotómico se expresó como riesgo relativo (RR) con intervalos de confianza (IC) del 95% y el efecto del tratamiento para cada resultado continuo se expresó como una diferencia de medias (MD) con un IC del 95%. Cuando los resultados continuos fueron medidos mediante escalas diferentes, el efecto del tratamiento se expresó como una diferencia de medias estandarizada (SMD) con un IC del 95%. *Evaluación de la heterogeneidad:* Se evaluó la heterogeneidad clínica de los resultados y solo se realizó

metaanálisis cuando los participantes del estudio, las intervenciones y los resultados fueron suficientemente similares entre las investigaciones. La heterogeneidad estadística se analizó utilizando el estadístico Tau^2 (0-40% baja; 40-60% moderada; >60% alta) que indicaba la presencia de estudios homogéneos o dispares para justificar la idoneidad del proceso de análisis metaanalítico. *Evaluación de informe de sesgos*: La posibilidad de que el sesgo de publicación haya afectado a esta revisión en su conjunto fue evaluada mediante un gráfico en embudo (*funnel plot*), que identificaba los efectos de los estudios pequeños, sobre los 10 estudios que al menos estaban disponibles para metaanálisis. *Síntesis de datos*: Los resultados de los estudios clínicos y estadísticamente más homogéneos fueron metaanalizados con el software *Review Manager* (RevMan v.5.3, 2020). Este metaanálisis se realizó mediante un modelo de efectos aleatorios siguiendo el método de la varianza inversa para los resultados continuos. En caso de identificar variables dicotómicas se utilizaría el método de Mantel-Haenszel para los resultados. Cualquier resultado para los estudios incluidos que no fuera lo suficientemente homogéneo, o para el cual se encontrasen datos insuficientes para metaanalizar, fue presentado en síntesis narrativa (ver capítulo II). Adicionalmente se realizó un *análisis de sensibilidad* para evaluar el efecto del riesgo de sesgo en los estudios incluidos, comparando los estudios calificados con alto o bajo riesgo de sesgo para cada elemento evaluado (275).

Resultados

Características descriptivas y metodológicas, con los principales resultados y hallazgos clínicos para cada estudio pueden verse en las tablas del capítulo II. Con fines metaanalíticos fueron incluidos inicialmente los mismos 18 estudios que se incluyeron

para revisión cualitativa en el capítulo anterior, que versaban sobre la aplicación del robot de mano Amadeo® en ictus, de los cuales fueron 13 ECAs seleccionados para análisis cuantitativo (201)(236)(237)(204)(205)(36)(238)(239)(240)(241)(203)(3).

Después de ser algunos de estos estudios agrupados en sus correspondientes líneas de investigación, al poseer un mismo número de registro en el Registro Nacional de Ensayos Clínicos (NCT), y siendo imposible identificar si las muestras eran diferentes o las mismas en los ensayos, se optó por incluir solamente aquellos estudios de la misma serie que presentaban la mayor calidad metodológica. Siguiendo con la misma línea metodológica, se incluyó también el ECA propio desarrollado en el capítulo IV, al ser metodológicamente más completo que su estudio piloto. Finalmente 10 investigaciones ECAs fueron identificadas para análisis cuantitativo de la evidencia mediante metaanálisis, excluyendo todos aquellos ECAs de Amadeo® sobre otras patologías neurológicas adquiridas o degenerativas. El riesgo de sesgo individual de los estudios incluidos para revisión puede verse en la **Figura III-1**.

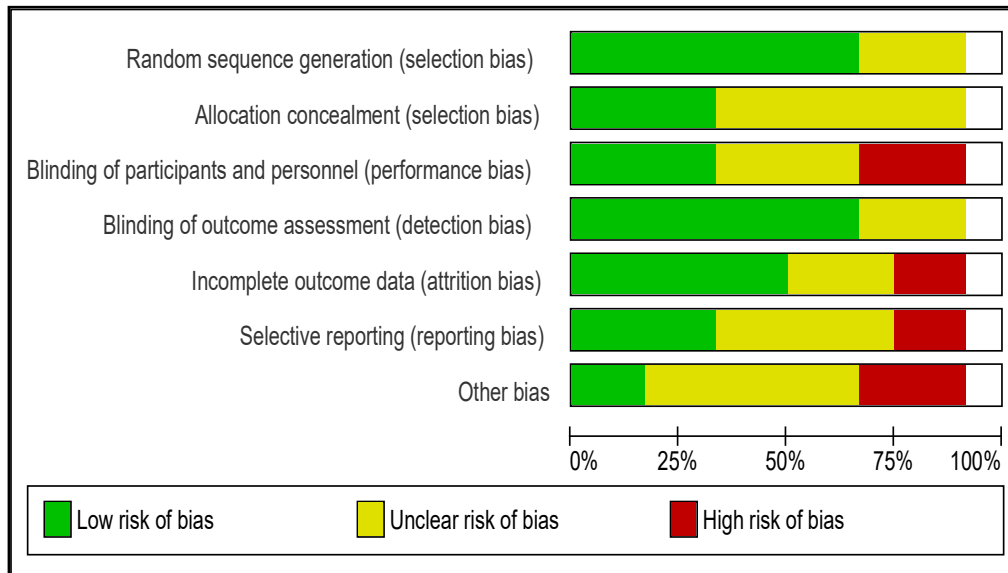


Figura III-1. Gráfico de riesgo de sesgo: juicios de los revisores sobre cada elemento de riesgo de sesgo presentado como porcentajes en todos los estudios incluidos.

Principales efectos de TAR Amadeo® frente a otras intervenciones CT en ictus

a) Mejoras en la función sensoriomotora de la mano-brazo al final de la intervención: efecto proximal y distal entre fase aguda (< 3 meses) y subaguda-crónica (< 3 meses): 9 estudios fueron incluidos (n= 443). El análisis estadístico reveló un moderado efecto de la TAR sobre la terapia CT (SDM=0.7, 95% CI 0.1 a 1.4), siendo pequeño el efecto en fase más aguda (5 estudios; n=340; SDM=0.3, 95% CI -0.2 a 0.8) y grande el efecto en fase subaguda-crónica (4 estudios; n=103; SDM=1.4, 95% CI -0.4 a 3.1). Los resultados muestran a priori un efecto beneficioso de la intervención a favor de la TAR, con un valor para el test de efectos globales de $p=0.03$. Sin embargo, el análisis del *forest plot* revela que habrá pacientes que mejorarán poco con esta intervención frente a otras alternativas en fase más aguda. El análisis de la Tau^2 pone de manifiesto que existe una alta heterogeneidad entre los estudios (71-92%), aunque en el efecto inter-grupo los estudios se comportan homogéneamente (27%) (ver **Figura III-2**, al final de este capítulo). En relación con el riesgo de sesgo de publicación, el *funnel plot* pone de manifiesto que este análisis parece no estar afectado por el efecto de los estudios más pequeños. Valora la sobreestimación del efecto por no haberse encontrado todos los posibles estudios sobre este efecto, y si las asimetrías producidas en el mismo o en su precisión son frutos del azar o por la falta de estudios existentes no incluidos. En este caso, el estudio de Fasoli et al. (2016) debería analizarse más detenidamente por su disposición asimétrica gráfica, típica de baja precisión y calidad, o por tener un IC mayor que plausiblemente desplace sus resultados de la realidad esperada (ver **Figura III-3**). Una prueba de correlación de rangos de

Begg o una regresión lineal de Egger podría aportar datos más objetivos para su interpretación.

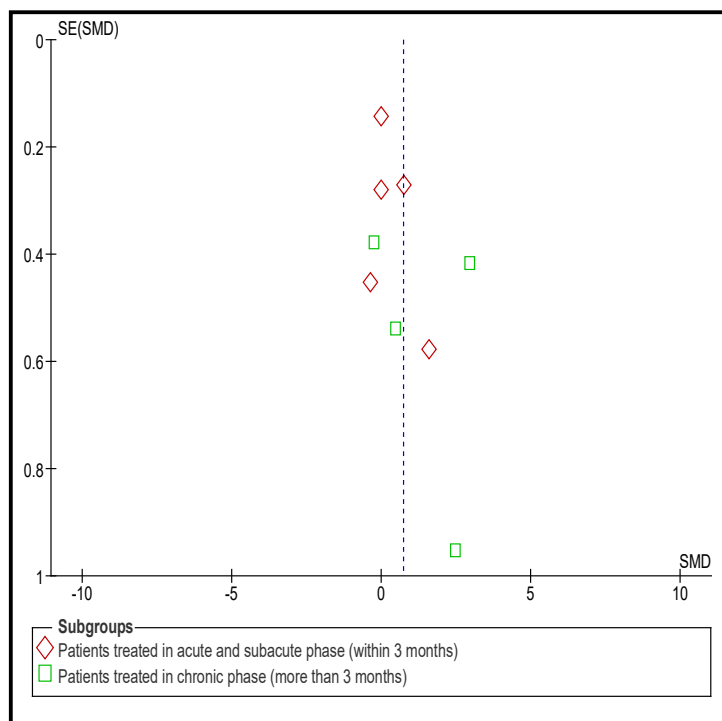


Figura III-3. Funnel plot de los estudios incluidos para analizar el efecto sensoriomotor de Amadeo® al final de la intervención en fases aguda y subaguda-crónica.

b) Mejoras en parámetros cinéticos (FF, FE) al final de la intervención: 5 estudios fueron incluidos (n= 206). El análisis estadístico reveló un pequeño efecto de la TAR sobre la terapia CT (SDM=0.2, 95% CI -0.3 a 0.7), siendo muy pequeño el efecto en FF (5 estudios; n=148; SDM=0.1, 95% CI -0.5 a 0.7) y moderado el efecto para FE (1 estudio; n=58; SDM=0.5, 95% CI -0.1 a 1). Los resultados cuantitativos muestran que no existen diferencias entre las intervenciones TAR y la CT con un valor para el test de efectos globales de $p=0.41$. El análisis del *forest plot* revela que aunque existe una mayor tendencia de mejora con la TAR, el efecto de ambas intervenciones será el mismo en esta variable cinética. El análisis de la Tau^2 pone de manifiesto que existe una muy

alta heterogeneidad entre los estudios (97%) (ver **Figura III-4**, al final de este capítulo). En relación con el riesgo de sesgo de publicación, el *funnel plot* pone de manifiesto que este análisis parece no estar afectado por el efecto de los estudios pequeños, encontrándose todos los datos muy próximos al efecto teórico esperado, a ambos lados del efecto, a pesar de la poca cantidad de estudios disponibles para su análisis en esta variable (ver **Figura III-5**).

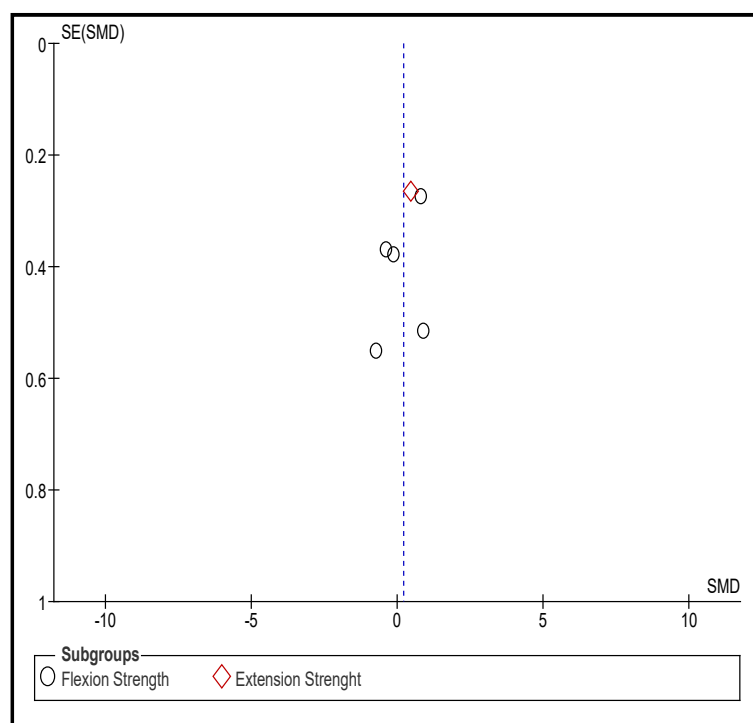


Figura III-5. Funnel plot de los estudios incluidos para analizar el efecto en cinética de la mano al final de la intervención con Amadeo® en pacientes con ictus.

- c) Mejoras en parámetros cinemáticos (ROM) al final de la intervención:** 3 estudios fueron incluidos (n= 52). El análisis estadístico reveló un pequeño efecto de la TAR sobre la terapia CT (SDM=0.3, 95% CI -0.1 a 0.7). Los resultados muestran a priori que no existen diferencias entre las intervenciones TAR y la CT con un valor para el test de efectos globales de $p=0.15$. El análisis del *forest plot* revela que aunque existe una mayor tendencia de mejora con la

TAR, el efecto de ambas intervenciones será el mismo en esta variable cinemática. El análisis de la Tau^2 pone de manifiesto que existe una moderada heterogeneidad entre los estudios (49%) (ver **Figura III-6**, al final de este capítulo). En relación con el riesgo de sesgo de publicación, el *funnel plot* pone de manifiesto que este análisis parece no estar afectado por asimetrías entre el efecto de los estudios pequeños y su precisión, ya que todos ellos se encuentran dentro de las líneas de precisión esperadas (ver **Figura III-7**).

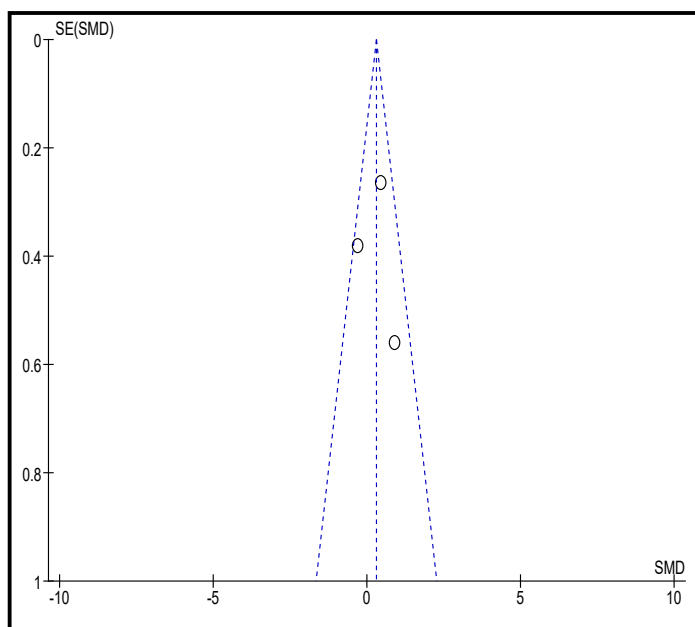


Figura III-7. Funnel plot de los estudios incluidos para analizar el efecto en cinemática de la mano al final de la intervención con Amadeo® en pacientes con ictus.

- d) Mejoras en la destreza manual al final de la intervención:** 3 estudios fueron incluidos (n= 68). El análisis estadístico reveló un tamaño del efecto grande de la TAR sobre la terapia CT (SDM=1.60, 95% CI -0.9 a 4.1). No obstante, los resultados muestran que no existen diferencias significativas entre ambas intervenciones, TAR y CT, al ser el valor para el test de efectos globales de $p=0.2$. El análisis del *forest plot* revela que existe una mayor tendencia de

mejora con la TAR, aunque el efecto de ambas intervenciones será el mismo en esta variable de destreza manual y digital, para ambas intervenciones. El análisis de la Tau^2 pone de manifiesto que existe una muy alta heterogeneidad entre los estudios (97%), por lo que estos resultados deben interpretarse con mucha cautela (ver **Figura III-8**, al final de este capítulo). En relación con el riesgo de sesgo de publicación, el *funnel plot* pone de manifiesto que este análisis bien podría estar afectado por el efecto de los estudios que no se han incluido en la revisión, siendo los IC para los estudios muy grandes y evidenciarse una distribución gráfica asimétrica (ver **Figura III-9**).

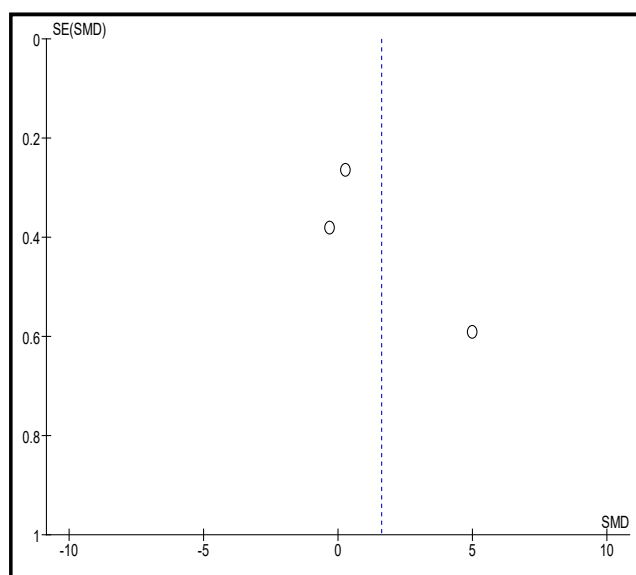


Figura III-9.Funnel plot de los estudios incluidos para analizar el efecto en destreza de la mano al final de la intervención con Amadeo® en pacientes con ictus.

- e) **Mejoras en las actividades de la vida diaria al final de la intervención:** 5 estudios fueron incluidos (n= 73). El análisis estadístico reveló un efecto moderado de la TAR sobre la terapia CT (SDM=0.4, 95% CI 0 a 0.7). Los resultados muestran que existen diferencias significativas entre ambostipos de

intervención a favor de la TAR, con un valor para el test de efectos globales de $p=0.04$. El análisis del *forest plot* revela que existe una mayor tendencia de mejora con la TAR en el desempeño de las actividades de la vida diaria post-intervención. El análisis de la Tau^2 pone de manifiesto que existe una alta heterogeneidad entre los estudios (73%) (ver **Figura III-10**, al final de este capítulo). En relación con el riesgo de sesgo de publicación de este meta-análisis, el *funnel plot* pone de manifiesto que en este análisis sólo el estudio de Hwang et al. (2012), de efecto pequeño y menor precisión, podría estar afectando al efecto global del análisis. Por su parte, el estudio de Stein et al. (2010-17) a pesar de tener mayor tamaño de efecto, cuenta con unos CI que sobrepasan los límites de la precisión esperada para el efecto verdadero esperado para esta variable de resultados (ver **Figura III-11**).

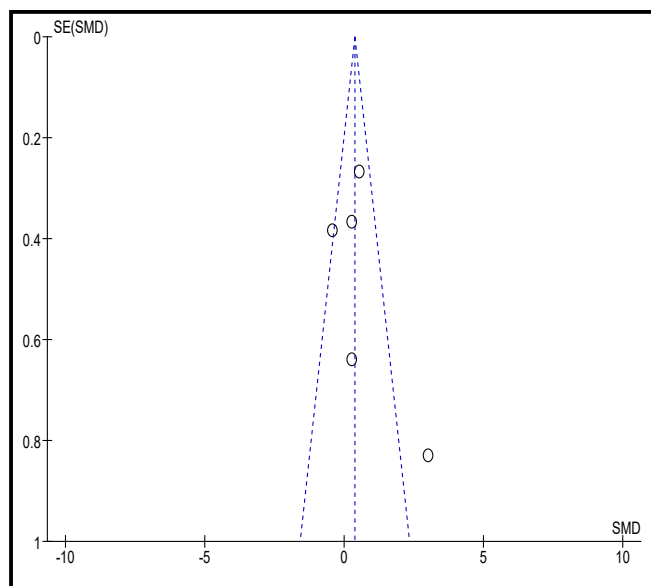


Figura III-11. Funnel plot de los estudios incluidos para analizar el efecto de la intervención sobre la mano en actividades de la vida diaria con Amadeo® en pacientes con ictus.

Figura III-2: Forest plot con los estudios incluidos en meta-análisis para valorar el efecto sensoriomotor al final de la intervención con Amadeo® en ictus.

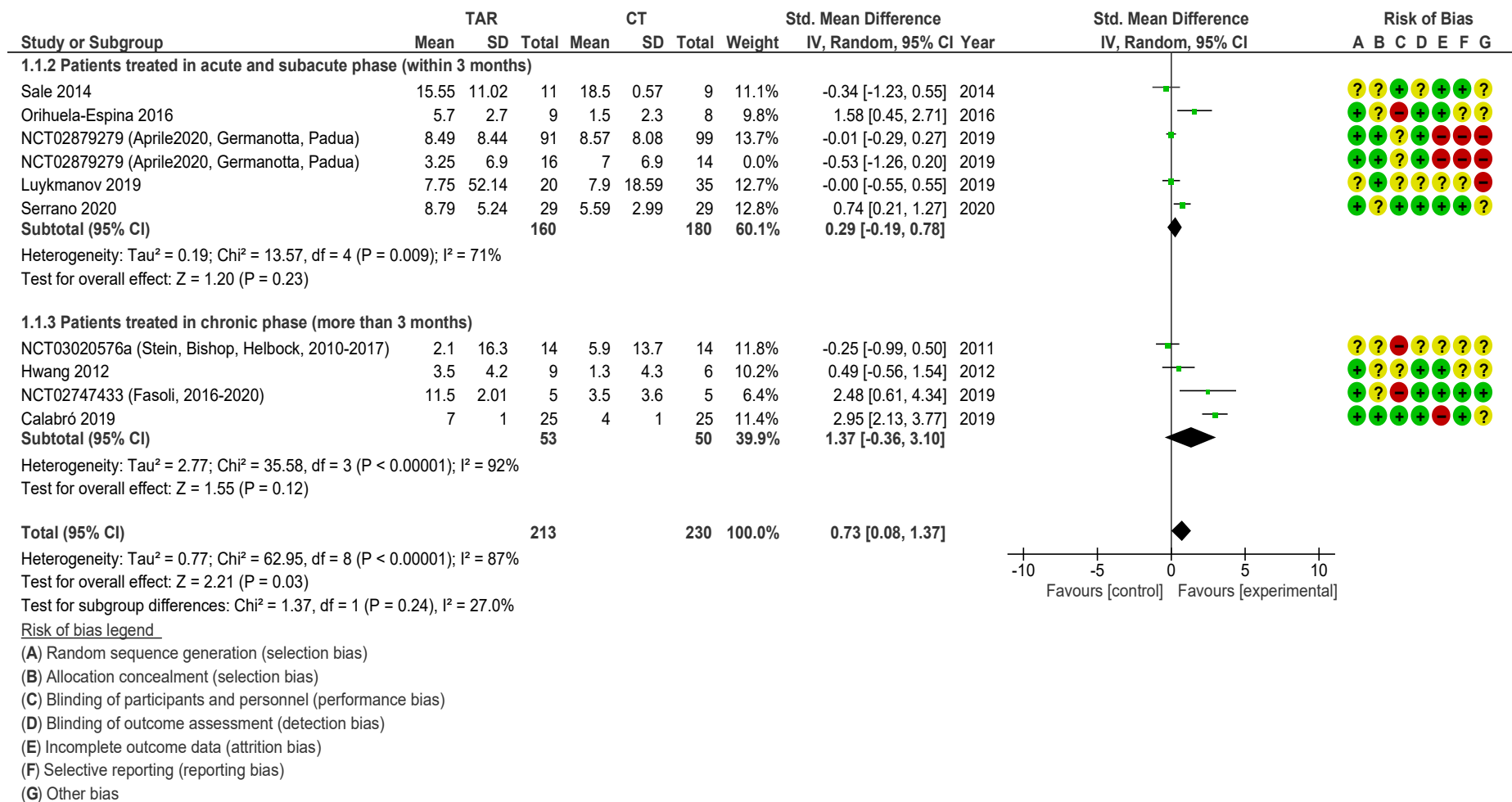
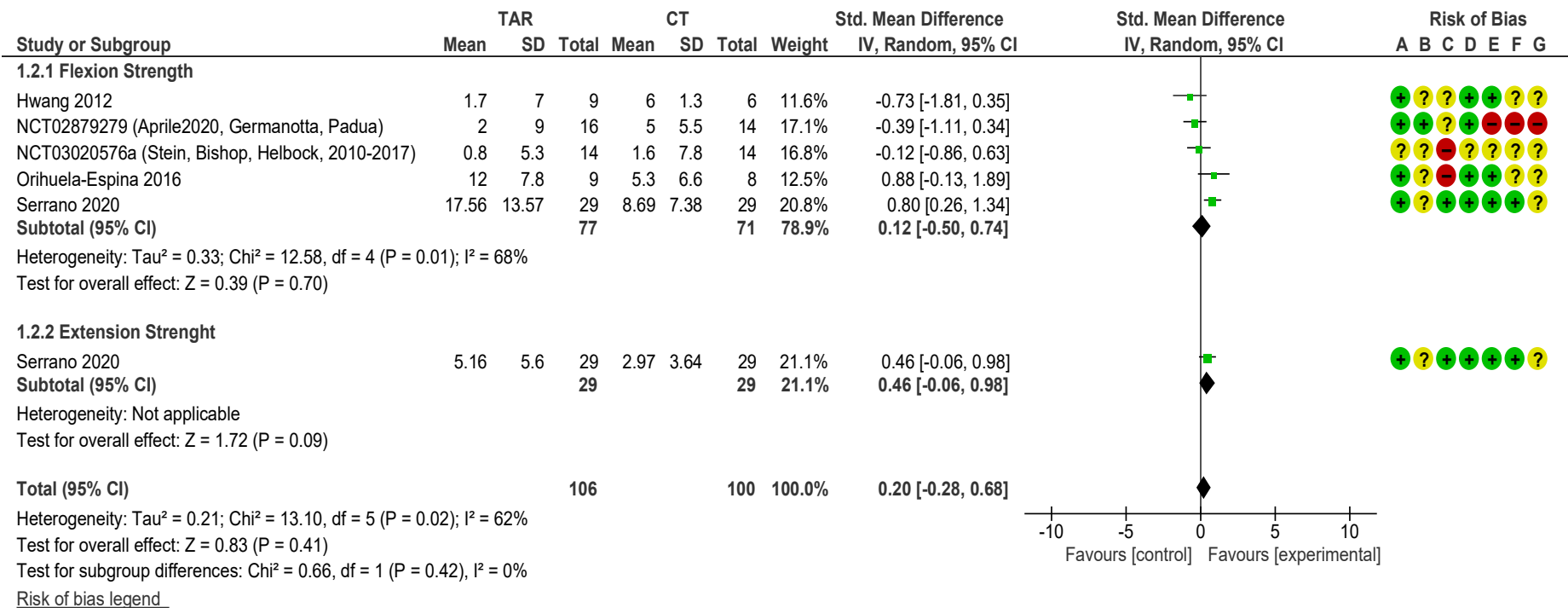


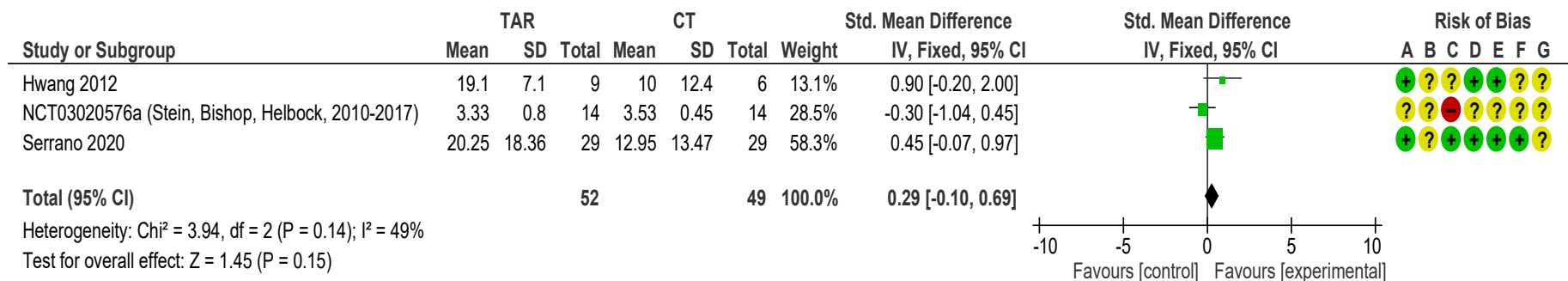
Figura III-4: Forest plot con los estudios incluidos en meta-análisis para valorar el efecto en parámetros cinéticos al final de la intervención con Amadeo® en ictus.



Risk of bias legend

- (A) Random sequence generation (selection bias)
- (B) Allocation concealment (selection bias)
- (C) Blinding of participants and personnel (performance bias)
- (D) Blinding of outcome assessment (detection bias)
- (E) Incomplete outcome data (attrition bias)
- (F) Selective reporting (reporting bias)
- (G) Other bias

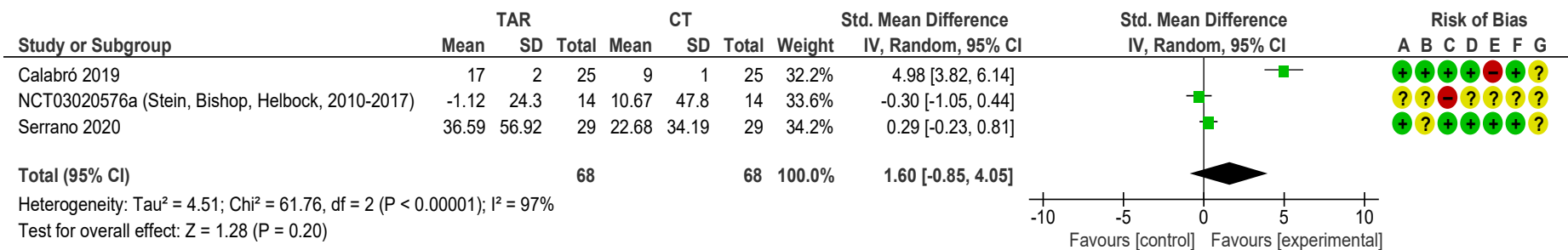
Figura III-6:Forest plot con los estudios incluidos en meta-análisis para valorar el efecto en parámetros cinemáticos al final de la intervención con Amadeo® en ictus.



Risk of bias legend

- (A) Random sequence generation (selection bias)
- (B) Allocation concealment (selection bias)
- (C) Blinding of participants and personnel (performance bias)
- (D) Blinding of outcome assessment (detection bias)
- (E) Incomplete outcome data (attrition bias)
- (F) Selective reporting (reporting bias)
- (G) Other bias

Figura III-8:Forest plot con los estudios incluidos en meta-análisis para valorar el efecto en destreza manual al final de la intervención con Amadeo® en ictus.



Risk of bias legend

- (A) Random sequence generation (selection bias)
- (B) Allocation concealment (selection bias)
- (C) Blinding of participants and personnel (performance bias)
- (D) Blinding of outcome assessment (detection bias)
- (E) Incomplete outcome data (attrition bias)
- (F) Selective reporting (reporting bias)
- (G) Other bias

Discusión

Se procede a continuación a discutir los principales hallazgos encontrados a través del análisis cuantitativo de la evidencia, así como su nivel de concordancia o desacuerdo encontrado en relación a otras investigaciones cualitativas sistemáticas previas, incluyendo la propia, o cuantitativas meta-analíticas disponibles en la literatura.

Entre los métodos de rehabilitación de la función de la mano después del ACV, la rehabilitación basada en técnicas de TAR podría ser ampliamente utilizada, y el uso de robots de mano podría proporcionar un entrenamiento funcional más específico para la mano o ayudar a los segmentos corporales paralizados en las actividades de la vida diaria, tal y como refiere Liu et al. (2022). Resultaría necesario en primer término discutir las razones por las que las necesidades de algunos usuarios con desórdenes en la función manual no han sido cubiertas con rehabilitación robótica a pesar del estado actual de la investigación en los últimos años. Existe una gran variabilidad entre productos comerciales con sus diferentes mecanismos de actuación y control de los robots, entre los protocolos estandarizados de investigación y aplicación clínica, ajustados a las heterogéneas necesidades de cada perfil de usuarios, en las diferentes instituciones, así como una moderada variabilidad de las evidencias en la literatura. El análisis frecuente del estado del arte, así como de las deficiencias de la rehabilitación funcional de la mano con tecnología robótica en la experimentación, resultan fundamentales para el futuro desarrollo de óptimas guías para la práctica clínica (GPC) con esta tecnología. La capacidad de detección de las deficiencias en la capacidad manual con las nuevas tecnologías debe ser comparada con las pruebas estandarizadas de referencia y con los signos clínicos típicos de recuperación ya descritos. En espera de una tendencia futura que permita una mayor aplicabilidad clínica, los esfuerzos se centran en conseguir materiales más ligeros para el soporte de peso que permitan una

mayor adaptabilidad y ajuste, en sistemas de control inteligentes mediante interacciones cerebro-ordenador que mejoren su robustez y precisión, así como en tareas virtuales más inmersivas que podrían aumentar su efectividad mediante abordajes más activos y pseudo-contextualizados (200). Khalid et al. (2021) analizaron sistemáticamente la evidencia disponible sobre la aplicación de las nuevas tecnologías robóticas en el miembro superior, no solo en el ictus sino también en otras patologías neuromusculares y en lesión medular. Se centraron en analizar varios dispositivos disponibles para la recuperación motora y el mantenimiento del nivel funcional, encontrando 26 estudios que determinaban la eficacia de esta asistencia robótica en la gran mayoría de usuarios. Una correcta estrategia y un plan de tratamiento individualizado, junto a un uso apropiado y regular de los dispositivos robóticos para la rehabilitación en el tiempo, permitirían mejorar a la mayoría de los sujetos sus deficiencias motoras en esas diferentes patologías neurológicas. Dichas deficiencias en el miembro superior son altamente impactantes en el desempeño de las AVD, reduciendo la calidad de vida drásticamente, por lo que los avances tecnológicos deberían orientarse al diseño de dispositivos que mejoren o asistan la recuperación motora en el desempeño directo de las AVD, que fueran fáciles de usar por el propio usuario y que pudieran ser portátiles para una utilización más ecológica (248). El robot de mano Amadeo® ha demostrado su efectividad en múltiples patologías neurológicas, mejorando algunas deficiencias sensoriomotoras de la mano neurológica, como la amplitud de movimiento o la fuerza, pero son pocos los estudios que se atrevan a referir cambios en el desempeño de las AVD. Estaríamos lejos aún de poder disponer de una versión portátil de este dispositivo para asistir en la función de agarre de la mano hemiparética durante un desempeño contextualizado de las AVD. No obstante, aunque los resultados de la revisión cualitativa mostraron un nivel de evidencia aún insuficiente para determinar el

verdadero efecto de la TAR con Amadeo® en las AVD, los resultados del metaanálisis evidencian un efecto moderado con un nivel de significación estadística de $p=0.04$ sobre el desempeño de tareas cotidianas después de una intervención con robótica.

Algunos autores como Subramanian et al. (2018), tras revisar 16 estudios de diseño metodológico heterogéneo relacionados con la rehabilitación del miembro superior, centrándose en sus deficiencias y limitaciones en la actividad en una población con DCA, siguen **sin incluir la TAR entre los tratamientos más recomendados**, sugiriendo como abordajes más eficaces intervenciones tradicionales como la CIMT (3 estudios), el entrenamiento específico en recapitación motora del miembro superior (1 estudio), el RMOT (1 estudio), el entrenamiento mediante feedback aumentado (1 estudio) o estrategias para reducir la espasticidad mediante tratamiento farmacológico (2 estudios), admitiendo la relevancia de algunas intervenciones tecnológicas, como la dTCS (1 estudio) o la práctica orientada a tareas basada en gamificación VR (4 estudios). El nivel de evidencia fue excelente para demostrar el efecto de un entrenamiento para recapitar el miembro superior. Del total de los 16 estudios, tan sólo 6 incluían medidas de evaluación del déficit sensoriomotor coincidentes con el estudio propio (cinemática, fuerza, FMUL), 2 de ellos incluían una evaluación de las limitaciones en la participación en las AVD, mientras que solamente 8 incluían ambas medidas de resultados, siendo sólo 7 los estudios que analizaban el fenómeno de retención y transferencia de aprendizajes incluyendo medidas de seguimiento de al menos 1 mes post-intervención. Las limitaciones en la actividad no fueron medidas en contexto real, sino a través de tareas cotidianas simuladas mediante la WMFT y la MAL, lo que incrementa el valor añadido de la presente investigación empírica al incluir el AMPS, así como su efecto en futuros ulteriores análisis cuantitativos (94). Posteriormente a

dicha revisión, este equipo de investigación incrementaría la lista de intervenciones eficaces añadiendo entre otras la IM y la TOA (71).

Por su parte Wattchow et al. (2018) se propone sintetizar la evidencia disponible sobre la efectividad de las intervenciones dirigidas a mejorar la función motora del miembro superior en las primeras 4 semanas post-ictus. Tampoco incluye la TAR como técnica efectiva para la rehabilitación del miembro superior en el ictus en la fase más subaguda. Analizaron en la revisión ECAs, ensayos controlados y estudios de intervención con diseño pre/post-test que incluyeran adultos con ictus que recibieran durante al menos 4 semanas una intervención de alguna técnica específica de TO o FT, con el objetivo de reducir las deficiencias sensoriomotoras o de incrementar la actividad del miembro superior afecto, comparadas con otros programas habituales de rehabilitación, incluyendo placebos u otras técnicas. Utilizaron la herramienta *Risk of Bias Tool de Cochrane* para el análisis del riesgo de sesgo de los estudios incluidos en la revisión. Del total de 104 ensayos, 83 fueron ECAs y 21 estudios no aleatorizados (n=5225 pacientes). Se completó una síntesis narrativa y 20 comparaciones meta-analíticas fueron realizadas. Efectos positivos significativos se encontraron para la aplicación modificada de la CIMT (mCIMT) (SMD=1.09; 95% CI,.21–1.97) y para el entrenamiento motor orientado a tareas (RMOT) (SMD=.37; 95% CI,.05–.68). Adicionalmente, se recomendaba el uso suplementario del biofeedback y de la estimulación eléctrica en la fase más aguda del ictus, pero no se encontraron evidencias que soportaran la recomendación de la terapia Bobath en estas primeras 4 semanas post-ictus en base a los estudios analizados. Recomendaban, por tanto, el uso de una intervención basada en abordajes menos tecnológicos, concluyendo que eran necesarias nuevas investigaciones con mayor calidad metodológica para determinar las terapias más efectivas para mejorar las variables de resultados del miembro superior en el ictus

(93). Aunque esta investigación se ha centrado en analizar el efecto de ambos tipos de intervención, TOM o TAR, intentando evitar esas primeras 4 semanas por considerarse que el efecto verdadero podría no aislarse del efecto de recuperación espontánea, cabe destacar que los resultados propios coinciden en destacar el efecto de la terapia convencional en la rehabilitación del miembro superior post-ictus en fase subaguda dentro de los primeros 3 meses. No obstante, tanto los resultados experimentales propios como los resultados de la síntesis narrativa y del análisis cuantitativo ponen de manifiesto un mayor efecto de la TAR sobre la TOM/CT.

Sin embargo, otros estudios como el de Moggio et al (2020) hacen referencia al creciente número de supervivientes de ictus con discapacidades residuales de la mano que requieren del desarrollo de terapias más eficientes de recuperación donde la **TAR podría jugar un rol muy importante**. Compara el efecto relativo de los dispositivos de mano tipo efectores finales (EE) frente a los exoesqueletos (EXO) en la recuperación motora de pacientes con ictus y deficiencias en la mano o dedos. Analizaron un total de 5 ECAs (n=149) que incluían como medidas de resultados el MI, QuickDASH y FMUL. Completaron un análisis cualitativo de la evidencia, mediante revisión sistemática, un análisis cuantitativo mediante meta-análisis y un análisis de clasificación acumulativa bajo superficie (SUCRA). Los resultados pusieron de manifiesto que el grupo que recibió TAR mostró mejoras significativas en el MI ($p < .05$) en comparación con el grupo control (ES: 9.47; CI: 3.91, 15.03), que el grupo que recibió EXO mostró una reducción significativa en el QuickDASH reportado ($p < .05$) frente al grupo que recibió EE (ES: -6.71; CI: -9.17, -4.25) y que el grupo que recibió una intervención con EE mostró una significativa mejoría en la FMUL ($p < .05$) en comparación con el grupo que recibió EXO (ES:3; CI:1.97, 4.04). El análisis SUCRA del MI demostró que la TAR tienen una mayor probabilidad de ser la mejor opción para la recuperación

motora (97.3% de probabilidad EXO; 48.3% EE; 4.4% control). Concluyeron, a pesar del limitado número de estudios analizados y de la necesidad de futuras investigaciones que comparen directamente ambos tipos de robot para confirmar los hallazgos clínicos encontrados, que los dispositivos robóticos tipo EXO podrían ser una mejor opción que los tipo EE para el tratamiento de los déficit motores de los dedos en pacientes con ictus (276). Los resultados de esta tesis doctoral concuerdan con estos autores, tanto en realzar el potencial de la TAR como importante técnica de intervención del miembro superior en el ictus, como en poner de manifiesto el valor pronóstico de la variable criterio obtenida mediante la FMUL y de los parámetros de medida biomecánicos de Amadeo® como robot del tipo EE. En el presente análisis cuantitativo de la evidencia se ha encontrado un efecto moderado con significación estadística ($p=0.03$) de que la terapia robótica con Amadeo® mejora los resultados de la funcionalidad del miembro superior global medida con la escala FMUL o similares, concordando con los resultados obtenidos también mediante análisis cualitativo de la evidencia en el capítulo anterior. Nuevas investigaciones que permitan comparar los resultados obtenidos de este robot de mano con otros dispositivos tipo exoesqueleto o tipo guante, permitirían hacer más generalizables sus resultados o los propios, así como responder a la pregunta de si este dispositivo es verdaderamente el *gold standard* para la intervención de la mano y los dedos en personas con ictus.

Ferreira et al. (2018) apunta que la TAR es un enfoque innovador para la rehabilitación neurológica al utilizar una práctica individualizada, interactiva, repetitiva e intensiva. Esta revisión registrada (CRD42017054982) analizó la efectividad de la TAR en funciones y estructuras del cuerpo de personas con deficiencias en el miembro superior por ictus. Un total de 38 ECAs ($n=1174$) fueron analizados en base a su calidad metodológica, segmento corporal objetivo, tiempo de evolución, dosis de intervención y

duración del tratamiento (277). El agrupamiento de los efectos estimados (*pooled*) reveló un pequeño efecto de TAR sobre el control motor (SDM=0.3, 95% CI 0.1 to 0.4) y efectos moderados sobre la fuerza (SDM=0.5, 95% CI 0.2 to 0.8) comparados con otras intervenciones (OI) al seguimiento a corto plazo. En otros momentos temporales y sobre otras variables relacionadas con funciones o estructuras corporales no se encontró significación ($p>0.05$). Aunque la fortaleza de la evidencia encontrada fue baja calidad, el análisis de subgrupos puso de manifiesto que una pobre calidad del diseño metodológico, la duración menor de la intervención y dosis inferiores de la TAR podrían afectar negativamente a los efectos estimados (278). Se concuerda con los resultados encontrados en esta investigación en términos de una clara tendencia decambios en el control motor y en la fuerza del miembro superior a nivel distal a favor de la TAR con el robot de mano, aunque los resultados cuantitativos no mostraran en efecto estadísticamente significativo a favor de Amadeo® en ninguna de las dos variables ($p>0.05$). Es plausible que los resultados obtenidos en la presente investigación se deban a los pocos estudios disponibles, y que los obtenidos en otras investigaciones se deban a mayores tamaños muestrales, mayores dosis de intervención en cada fase con el dispositivo robótico Amadeo®, así como a un control mayor en el diseño metodológico del estudio.

Zhan et al. (2019) se refieren al entrenamiento por observación de acciones (AOT) como una intervención novedosa y efectiva para mejorar las funciones motoras del miembro superior en personas con ictus. Analizaron su efecto sobre 7 ECAs ($n=276$), evaluado los estudios incluidos a través de la *Risk of Bias Tool* de la *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Un metaanálisis de efectos aleatorios se desarrolló mediante *pooling* de las diferencias de medias estandarizadas (SMD) de las variables motoras del miembro superior. El metaanálisis mostró un efecto

significativo a favor de la AOT sobre las mejoras de las funciones motoras en pacientes con ictus [SMD = 0.35, 95% CI, 0.10 a 0.61, I2 = 10.14%, p = 0.007]. Aunque estos autores sugieren que nuevos futuros estudios son necesarios para investigar los mecanismos neurales que subyacen a los efectos de la AOT (279), después de varios años de aplicación clínica con el robot de mano Amadeo®, es razonable cuestionarse si este dispositivo de efector final también proporciona sinérgicamente este tipo de intervención, mientras el usuario se concentra en observar el movimiento global de la mano o selectivo de los dedos durante el tratamiento, estimulando sincrónicamente los procesos de plasticidad cerebral subyacentes mediante la observación de la acción.

Por su parte, Mehrholz et al. (2015-2018) afirma que una rehabilitación electromecánica y asistida por robot (EM-TAR) podría ayudar a mejorar la función del miembro superior después del ictus. Se analizaron variables de resultado en la función motora, fuerza muscular y desempeño en las AVD, además de la seguridad y aceptabilidad de la terapia, mediante una revisión sistemática en bases de datos de estudios relevantes, incluyendo todos los ECAs que comparaban la EM-TAR con otros tipos de intervención, placebo o de rehabilitación, o ausencia de comparación, en personas con ictus. Un total de 34 estudios (n=1160) fueron analizados, mostrando que la EM-TAR mejoró las puntuaciones en AVD (SMD 0.37, 95% CI 0.11 to 0.64, P = 0.005, I2 = 62%), la función del brazo (SMD 0.35, 95% CI 0.18 to 0.51, P < 0.0001, I2 = 36%) y la fuerza muscular del brazo (SMD 0.36, 95% CI 0.01 to 0.70, P = 0.04, I2 = 72%), pero la calidad de la evidencia fue de baja a muy baja. La EM-TAR no incrementaba el riesgo de abandono de los pacientes (RD 0.00, 95% CI -0.02 to 0.03, P = 0.84, I2 = 0%) con moderada calidad de la evidencia y los efectos secundarios fueron muy raros. Los autores concluyen que los pacientes con ictus que recibieron EM-TAR y entrenamiento de la mano parética podrían mejorar su desempeño en las AVDs, la

funcionalidad de brazo y de la mano y en la fuerza muscular de ambas estructuras del miembro superior. Recomiendan interpretar los resultados con cautela, ya que la calidad de la evidencia es de baja a muy baja, existiendo una alta heterogeneidad en los ensayos en intensidad, duración y cantidad del entrenamiento, tipo de intervención y características de los participantes (280). En relación a los resultados propios, cabe destacar que los efectos secundarios encontrados fueron mínimos y de baja intensidad durante el ensayo (ver capítulo IV), y que no se objetivaron tasas de abandono elevados, siendo la mortalidad experimental muy baja y no por falta de adherencia al tratamiento, sino por cambios en las condiciones de estabilidad clínica. En la misma línea que la evidencia descrita por estos autores, cambios en el desempeño de las AVDs, en la función motora y en la fuerza de la mano han sido encontrados con un moderado efecto para la funcionalidad global del miembro superior ($p=0.03$) y para el desempeño de las AVD($p=0.04$) a favor de la intervención con Amadeo®. No obstante, el efecto para los parámetros cinético-cinemáticos analizados resultó pequeño y no significativo ($p>0.05$) entre ambas intervenciones.

Los diagramas de árbol proporcionados por el reciente estudio de Everard et al. (2022) ponen de manifiesto que el efecto de **la TAR es superior a la CT para restaurar la función motora post-ictus, pero no la participación en la actividad**. Una revisión previa resaltaba que la experiencia previa en aprendizaje motor junto con la alta intensidad y el nivel de repetición proporcionado en la rehabilitación robótica del miembro superior era la responsable del incremento en la función motora de los pacientes con ictus. Sin embargo esta afirmación no fue apoyada por los resultados proporcionados por el estudio RATULS que no encontró diferencias significativas entre ambos grupos (281). Esta discrepancia podría ser explicada por el hecho de que los pacientes incluidos en este estudio presentaban un peor pronóstico de recuperación a

través de las puntuaciones medias de FMUL (18/66) y un mayor tiempo de evolución desde el evento (22%: < 3 meses, 41% entre 3 meses y un año, 37% >1 año). Además se detectó una cierta heterogeneidad en los estudios incluidos en este metaanálisis, relacionada con el estadio de recuperación de los pacientes, lo que contribuyó con alta probabilidad a condicionar la efectividad de la TAR. Sin embargo, en relación a los efectos sobre la actividad de ambos tipos de intervenciones, este estudio parece estar alineado con otras investigaciones previas, pero no con los resultados encontrados en la investigación propia. Algunos factores podrían explicar la **ausencia de superioridad entre TAR y CT**: a) como los segmentos corporales en los que se centra, sin centrarse frecuentemente en todos los grados de libertad de las manos; b) el uso de tareas computerizadas bi o tridimensionales que no implican acciones significativas orientadas a tareas con clara funcionalidad como el agarre multiplanar, la oposición o la pinza; c) o las limitaciones en la actividad, que se recomienda sea trabajada con tareas específicas funcionales tridimensionales que impliquen objetos más íntimamente relacionados con las AVD; d) las especificaciones técnicas de los dispositivo son diferentes, atendiendo a EE proximales o distales, unilaterales o bilaterales, o EXO. Esto hace que las evidencias de la mayoría de los metaanálisis no puedan demostrar si existen diferencias estadísticamente significativas a favor o en contra entre ambos tipos de dispositivos e intervenciones, al no poder ni deber ser comparados tan liviamente entre ellos. Por este motivo, se ha propuesto este análisis cuantitativo de la evidencia exclusivamente con artículos del dispositivo Amadeo®, al considerarse que las características técnicas entre muchos de los dispositivos no podrían ser comparables. Atendiendo al grado de severidad de afectación sensoriomotora, se encontró que durante la fase subaguda el efecto de la TAR era el mayor, cuando se proporcionaba en pacientes con deficiencias entre severas y moderadas. Se podría asumir por tanto que, la

asistencia proporcionada por los robots podría inducir mayores beneficios entre pacientes con más bajas puntuaciones en la FMUL frente a pacientes que tienen alguna motricidad preservada en línea base. Los hallazgos propios coinciden con esta hipótesis, siendo los resultados alcanzados en el grupo PPN mayores con la TAR que con la CT, aunque también lo fueron en los pacientes del grupo PPP, que mostraban alguna preservación de activación en la mano hemiparética. Por el contrario para estos autores, en una fase más crónica parece que la TAR podría ofrecer mejores resultados cuando se proporcionaba a pacientes con moderada a leve afectación del miembro superior a nivel distal. Este efecto podría atribuirse al hecho de que la aplicabilidad clínica de la asistencia proporcionada por los robots se potencia más durante la fase de recuperación espontánea, por lo que se dificulta poder obtener hallazgos suficientemente consistentes de los efectos que podría tener sobre la severidad de las deficiencias de la mano durante una fase más crónica del ictus (282).

Implicaciones clínicas

Debilidades y fortalezas de este análisis meta-analítico

Quizás en unos pocos años sea plausible hacer un meta-meta-análisis (*umbrella review*) de la evidencia de este dispositivo robótico, pero por el momento y dada la evidencia disponible, tan sólo ha sido posible alcanzar este nivel meta-analítico después de varios años, con un número muy limitado de ensayos clínicos y con alta heterogeneidad, por lo que los hallazgos encontrados a través de este análisis cuantitativo de la evidencia deben ser interpretados con mucha cautela. Nuevas investigaciones cualitativas y cuantitativas serán necesarias para analizar el verdadero efecto de Amadeo® sobre la recuperación de las deficiencias sensoriomotoras en el ictus subagudo en múltiples comparaciones (aislando su efecto o en sinergia con otras

intervenciones), así como para analizar los efectos verdaderos que el tratamiento que este dispositivo robótico puede tener para incrementar participación en las limitaciones del desempeño en la actividad, tanto a través de tareas simuladas como mediante evaluaciones en contexto real.

Con este novedoso y extenso trabajo de revisión sistemática y meta-analítico propuesto en los capítulos II y III de esta tesis doctoral abrimos la puerta para que futuras investigaciones sean realizadas con este mismo objetivo o sobre otras poblaciones con patología neurológica que podrían beneficiarse del aumento del conocimiento sobre la aplicación terapéutica del robot de mano Amadeo®.

Conclusiones

El sumario de tamaños del efecto resulta muy heterogéneo dado el limitado número de estudios disponibles y válidos para ser meta-analizados en la actualidad con alta calidad metodológica. Existe una elevada heterogeneidad entre las investigaciones con este robot de mano, lo que condiciona que los efectos estimados en este trabajo deban ser interpretados con cautela. Aunque con elevada heterogeneidad entre los estudios, se ha podido estimar un efecto significativo y moderado a favor de la TAR con Amadeo® frente a la CT para producir cambios a nivel de funcionalidad sensoriomotora global del miembro superior, así como en el desempeño de las AVD en el ictus, independientemente de su estadio de evolución.

CAPÍTULO IV

ALCANZANDO EL NIVEL EXPLICATIVO:

EXPERIMENTO VERDADERO CRUZADO

ALEATORIZADO Y CONTROLADO

A SIMPLE CIEGO

La versión completa de este capítulo puede encontrarse en:

Serrano-Lopez-Terradas, P.A.; Criado Ferrer, T.; Jakob, I.; Clavo-Vera, A.B; Calvo-Arenillas, J.I.
Quo Vadis Amadeo Robot?. A Randomized Study with Hand Recovery Predictive Model in
Subacute Stroke. Int. J. Environ. Res. Public Health 2022 (In press).

<https://www.mdpi.com/journal/ijerph>



Occupational Therapy: Neurorehabilitation of Children and Adults

Serrano López-Terradas, P.A. Quo Vadis, Amadeum Robot?. In 18th World Federation of Occupational Therapy (WFOT) Congress - Technology Session [Internet]. WFOT Congress; Book of Abstract: number 1733. Paris, 28-31 August 2022. Available from WFOT 2022:

<https://wfotcongress2022.org/>



Introducción

Mejorar la hemiparesia del miembro superior (MS) y su impacto funcional después del accidente-cerebro-vascular (ACV) sigue siendo el principal objetivo en neurorrehabilitación. A los 4 años después del ictus, sólo un 4% de los pacientes se muestran satisfechos con la funcionalidad alcanzada, considerándose déficit crónico en casi un 50% de los casos (1)(283). Localización, extensión y gravedad de la lesión neurológica, más frecuente en arteria cerebral media, conlleva una heterogeneidad de signos y síntomas sensoriomotores, cognitivos, emocionales y funcionales que condicionan el grado de discapacidad de la persona y su nivel de autonomía en la vida cotidiana. La intervención desde fase sub-aguda en este síndrome de pronóstico incierto y lenta recuperación, debe dirigirse a reducir el impacto de los déficit por hemiparesia en el desempeño de las actividades de la vida diaria (AVD)(3). Algunas evidencias ponen de manifiesto que las mejoras a nivel proximal no migran a nivel distal o *viceversa* (207), haciendo más necesario un tipo de abordaje del MS más déficit-específico para optimizar las mejoras en destrezas motoras proximales o distales más concretas, mediante una práctica basada en ejercicios intensivos, repetitivos, motivadores y en alta frecuencia, como podrían proporcionar las nuevas tecnologías frente al abordaje convencional (205). Para una intervención basada en la evidencia, específica de mano y sus déficits sensoriomotores y funcionales, desde terapia ocupacional es frecuente utilizar un abordaje ecléctico, combinando marcos y modelos teóricos con sus técnicas neurorehabilitadoras centradas en individuo, tarea y entorno, como son el reaprendizaje motor orientado a la tarea (RMOT), la terapia por restricción del lado sano (CIMT), el uso forzado (FU) del MS afecto, la terapia por espejo (MT) o un heterogéneo abordaje manual (60)(103).

El uso de nuevas tecnologías robóticas para el tratamiento de la hemiparesia por ictus se ha definido en los últimos años como una técnica sinérgica más, aunque más focalizada en segmentos proximales y medios, que en distales (247)(250)(284). Sólo algunos dispositivos robóticos, como Amadeo® de Tyromotion, o tipo guante como HandTutor® de Meditouch, proporcionan una solución parcial al problema, reduciendo dolor, edema, mejorando velocidad o fuerza. Estos dispositivos en continuo desarrollo integran progresivamente en su diseño nuevos conceptos basados en teorías del aprendizaje y control motor. Pretenden estimular los centros de control motor voluntario más complejos y los núcleos de neuronas espejo, mediante el aumento de estimulación somatosensorial aferente en alta frecuencia que, sumada al incremento de la actividad eferente del hemicuerpo afecto, podría contribuir a activar los procesos de neuroplasticidad, estimular la reorganización del mapa cerebral funcional, mejorar el desequilibrio interhemisférico producido por la lesión y facilitar los procesos de diáquisis o sinaptogénesis, tanto en el cortex sensoriomotor ipsilateral como contralateral (107)(97). Desafortunadamente para algunos pacientes con ACV, la presencia de severos déficits sensoriomotores al ingreso, podrían propiciar su exclusión en este tipo de intervenciones. La mayoría de los estudios no proporcionan indicadores del efecto de transferencia o de generalización de los aprendizajes al contexto funcional, aunque muestran evidencias de la mejora sensoriomotora (283)(250). La falta de unificación y de estandarización de los criterios de aplicación clínica da lugar a una discutible heterogeneidad metodológica en función de especificidad, intensidad, frecuencia o abordaje individualizado, que debería ser revisada.

Nuestra propuesta de investigación pretende valorar la eficacia de un modelo experimental de intervención distal del MS en el ictus mediante metodología específica de terapia ocupacional de mano (TOM) frente a un programa de terapia asistida por

robot (TAR), analizando efectos sensoriomotores y funcionales del tratamiento aislados a los 3 meses y en sinergia a los 6 meses. Se pretende analizar la asociación entre losplausibles factoresde pronóstico “paresia al ingreso” (factor 1) y “lateralidad-cognición” (factor 2) para determinar el “grado de recuperación alcanzado”en variables biomecánicas, sensoriomotoras y funcionalescon el modelo propio de rehabilitación robótica para la mano neurológica denominado RobHand2015.

Hipótesis, objetivos e hitos en esta investigación

Hipótesis

Se pretende, a través de la presente investigación de doctorado, dar respuesta a las siguientes hipótesis de investigación:

H1: El abordaje distal preferente del miembro superior no sólo es posible sino efectivo en la neurorrehabilitación del ictus, ya sea mediante técnicas específicas de tratamiento neurológico o mediante el uso de nuevas tecnologías robóticas como Amadeo AR5®.

H2: El robot de mano Amadeo AR5® utilizado de forma aislada para la rehabilitación de la mano, dentro de un contexto de neurorrehabilitación multidisciplinar, mejora las funciones sensoriomotoras y funcionales a los 3 meses post-ictus, en igual proporción o superior, que la TOM.

H3: El uso combinado y sinérgico de TAR-AR5® y TOM mejora las funciones sensoriomotoras y funcionales de la mano neurológica a los 6 meses post-ictus.

H4: Pueden identificarse bio-marcadores sensoriomotores de pronóstico favorable y desfavorable de recuperación de la mano neurológica durante la primera semana de neurorrehabilitación con TAR mediante AR5®. Su determinación puede contribuir a una mejor selección de usuarios, programas de tratamiento y ajuste de tiempos de rehabilitación.

H5: Existen distintos síndromes de mano neurológica típica y atípica, y por ende diferentes patrones de recuperación de la mano, cuya identificación puede ser facilitada mediante el uso de Amadeo-AR5® como instrumento estandarizado de evaluación, monitorización y tratamiento de la mano neurológica.

Objetivos

Se plantean para dar respuesta a las hipótesis planteadas ut supra, los siguientes objetivos de investigación:

O1: Evaluar la efectividad de un modelo de abordaje distal del miembro superior en pacientes con ictus sub-agudo y hemiparesia de mano, mediante la aplicación asíncrona y bifásicacruzada de TAR con Amadeo® frente a una miscelánea de técnicas específicas de Terapia Ocupacional de Mano de alto nivel de evidencia (TOM).

O2: Determinar la eficacia de la TAR con Amadeo en su uso aislado para restaurar las funciones sensoriomotoras y la participación en las AVD a los 3 meses, frente a otros abordajes eclécticos de TOM.

O3: Determinar la eficacia sinérgica de la TAR con Amadeo® para restaurar las funciones sensoriomotoras y la participación en las AVD a los 6 meses.

O4: Identificar potenciales factores de pronóstico de recuperación de la mano en base a marcadores biomecánicos y tecnológicos presentes durante la primera semana, que permitan determinar un alto grado de asociación, plantear un modelo predictivo plausible y faciliten una definición más honesta de los perfiles de usuarios candidatos a este tipo de rehabilitación, para optimizarlos programas de tratamiento y mejorar los resultados sensoriomotores y funcionales alcanzables a los 3 y 6 meses pos-evento.

O5: Identificar la existencia de diferentes posibles “patrones de recuperación de la mano neurológica” en base a los marcadores descritos y a los mínimos cambios clínicamente relevantes (MCCR) detectados, para establecer futuros plausibles “perfiles pronóstico de recuperación” en base a los marcadores de esa primera semana de intervención.

Hitos

El desarrollo de la presente investigación permitirá alcanzar, a través de la aceptación o rechazo de las hipótesis y la consecución de los objetivos planteados, los siguientes **hitos de investigación**:

- Validación del protocolo RobHand2015 para la priorización de la intervención distal de la mano neurológica. Proporcionar datos de validación en ictus sub-agudo.
- Análisis en profundidad de la potencialidad de Amadeo® como herramienta de evaluación, monitorización y tratamiento de la mano neurológica, de cara a su uso en nuevos y revisados protocolos de TAR con Amadeo® en ictus sub-agudo.
- Grado de asociación entre la presencia de déficit sensoriomotores en línea base (grado de hemiparesia y capacidad de activación, que determinan los grupos de asignación a priori de perfil pronóstico positivo (PPP) y perfil pronóstico negativo (PPN)) y los resultados alcanzados a los 3 y 6 meses post-intervención (*Determinación de factor longitudinal 1*).
- Grado de asociación entre la presencia de alteraciones cognitivas asociadas a lesiones hemisféricas izquierda o derecha (apraxia, neglect) y su repercusión en el nivel de recuperación sensoriomotora/funcional de la mano alcanzada a los 3-6 meses post-intervención (*Determinación de factor longitudinal 2*).
- Grado de asociación entre los factores intra-sesión e intercesión, obtenido el primer día de evaluación y durante la primera semana de intervención, y los resultados alcanzados a los 3 y 6 meses de intervención (*Determinación de factor trasversal 1, para la elaboración de un posible modelo predictivo*)

Implicaciones clínicas, limitaciones del estudio y futuros análisis

Más allá de los cambios que podamos objetivar sobre la conducta sensoriomotora y funcional en la práctica clínica, futuros estudios con diseños metodológicos más novedosos y complejos son necesarios para determinar el verdadero alcance de los cambios a nivel de reactivación por sinaptogénesis cortico-subcortical y por reorganización del mapa cerebral (325)(256). Existen actualmente algunos ensayos clínicos que asocian cambios en la función motora mediante estimulación magnética transcraneal, con efecto fugaz desde 1 semana hasta 3 meses, al mejorar el desequilibrio por hiperexcitabilidad interhemisférica (326)(327)(328). Atendiendo a los indicios de estimulación indirecta de la robótica de los núcleos de control motor complejos, como córtex pre-motor, motor y somatosensorial primarios, o área motora suplementaria, más estudios siguen siendo necesarios que incluyan sistemas de evaluación más objetivos de los cambios neurofisiológicos y de los verdaderos efectos neuroplásticos o neurofuncionales (206)(311)(329) mediante electroencefalografía o resonancia magnética funcional, tanto para analizar la permanencia en el tiempo de los cambios sensoriomotores descritos como para guiar la más óptima práctica clínica con esta metodología propuesta de rehabilitación en sinergia con las nuevas tecnologías (32).

Del mismo modo, el análisis de las mejoras encontradas debería ajustarse al tipo de herramienta de evaluación seleccionada para cada protocolo de investigación estandarizado, evitando así que el sumario de tamaños del efecto sea tan heterogéneo.

La mayoría de las intervenciones actuales se centran en la utilización de técnicas electro-mecánicas, electro-estimulación o terapia por restricción para optimizar la recuperación del paciente con ictus, pero sigue existiendo inconsistencia de datos en los tiempos, dosis y tipos de intervenciones eficaces para los diferentes tipos de

dispositivos, siendo el sumario de efectos heterogéneo y escasos los estudios que reportan ensayos fallidos. La tecnología robótica podría ser utilizada para establecer, mediante sus parámetros de medida cinéticos y cinemáticos, la posible dosis de tratamiento administrada a los pacientes durante las sesiones de rehabilitación. Esto condiciona la necesidad de una mayor estandarización de las modalidades de control de cada dispositivo para mantener un adecuado nivel de dificultad cognitiva y motora en cada tarea, ajustando y re-ajustando repetición e intensidad, a través del software y exer-games de cada robot (277). Así mismo, plantear el posible diseño futuro de un modelo predictivo, tras haber alcanzado este nivel de investigación, no parece descabellado.

Del mismo modo se refuerza la recomendación clínica de que las nuevas tecnologías no deban usarse de forma masiva sino implementada por profesionales expertos de forma individualizada, con apropiados ajustes y un óptimo análisis de resultados, lo que permita controlar la temida presencia de sesgos de evaluación e interpretación (96). Aunque el principal objetivo evolutivo de estos dispositivos resulte en que sean rediseñados en pro de la mayor universalidad para poder beneficiar al mayor número de usuarios con afectación o hemiparesia de la mano, ya sean niños (330)(263) o adultos con diferente etiología (210)(201)(267), siguen siendo tecnologías a implementar de forma selectiva según perfiles individualizados, creados en relación a múltiples factores, como la etiología o el tiempo de evolución (32)(165). Su correcta selección y utilización evitará generar falsas expectativas de recuperación o frustración durante la rehabilitación, y optimizará el proceso de recuperación sensoriomotora y funcional en el ictus desde fase sub-aguda.

Cabe esperar que la evolución de estas nuevas tecnologías nos permitirá aumentar aún más la objetividad de los procesos de evaluación y tratamiento del miembro

superior en el ictus, no sólo a nivel proximal sino también distal, mediante la progresiva integración de futuros nuevos conceptosteóricos de neurorehabilitación (331). Sería necesario destinar más recursos para el desarrollo interdisciplinar de nuevas herramientas tecnológicas, que se encuentren menos encorsetadas al contexto de la ingeniería y más próximas a un abordaje clínico real. Como herramientas vivas con aplicabilidad real, deberían ser revisadas y mejoradas periódicamente en base a la experiencia clínica, para así optimizar su usabilidad en la mayoría de los pacientes con ictus que potencialmente puedan beneficiarse de ellas.

Conclusiones

La terapia asistida por robot con Amadeo® permite mejorar significativamente la funcionalidad sensoriomotora y la destreza manual en personas con ictus subagudo a los 3 meses de intervención, independientemente del grado de afectación sensoriomotora al inicio de la intervención e independientemente del hemisferio cerebral afecto como consecuencia del evento. Cambios significativos en el desempeño de las AVD pueden ser objetivados en la medida de las destrezas motoras AMPS a los 3 meses de intervención en pacientes con mínima preservación de activación al inicio del tratamiento. El efecto sinérgico de la intervención robótica con este dispositivo y la terapia de mano convencional durante 6 meses de tratamiento permitirá mejorar los anteriores resultados sensoriomotores y funcionales en los cuatro perfiles de pacientes descritos en esta investigación (PPP, PPN, HD, HI). A pesar de la alta sensibilidad estadística de los resultados y del tamaño del efecto objetivado, nuestros resultados deben ser interpretados con cautela en términos de implementación clínica, dada la variabilidad de signos clínicos existentes en la población general de personas con ictus.

Nuevos estudios con análisis estadísticos más complejos son necesarios, para aislar las variables y analizar el efecto de co-variables que puedan condicionar los resultados encontrados, así como para determinar el verdadero efecto de una intervención con este robot de mano sobre el dominio sensoriomotor y su efecto de generalización sobre la participación en contexto funcional.

CAPÍTULO V

ALCANZANDO EL NIVEL PREDICTIVO CON EL ROBOT DE MANO AMADEO®

La versión completa de este capítulo puede encontrarse en:

Serrano-Lopez-Terradas, P.A.; Criado Ferrer, T.; Jakob, I.; Calvo-Vera, A.B; Calvo-Arenillas, J.I. Quo Vadis Amadeo Robot?. A Randomized Study with Hand Recovery Predictive Model in Subacute Stroke. Int. J. Environ. Res. Public Health 2022 (In press).



<https://www.mdpi.com/journal/ijerph>

Occupational Therapy: Neurorehabilitation of Children and Adults

Los principales resultados de investigación han sido difundidos y publicados en:

Serrano López-Terradas, P.A. Quo Vadis, Amadeum Robot?. In 18th World Federation of Occupational Therapy (WFOT) Congress- Technology Session [Internet]. WFOT Congress; Book of Abstract: number 1733. Paris, 28-31 Aug 2022. Available from WFOT 2022



<https://wfotcongress2022.org/>

Serrano López-Terradas, P.A. Amadeo robot for hand paresis recovery in stroke. Is gold all that shine? A clinical predictive model. In: 12th World Congress for Neurorehabilitation (WCNR) and WFNR – Robotics and Related Technologies Session [Internet]. WCNR-Book of Abstract: number ID 301. Vienna (Austria), 14-17 Dec 2022. Available from WCNR 2022 www.wfnr-congress.org.



Neurorehabilitation and Neural Repair



4.895 Impact Factor
5-Year Impact Factor 5.781
Journal Indexing & Metrics »

Introducción

En la actualidad existen pocos modelos predictivos de recuperación del miembro superior hemiparético después del ictus, y en particular son aún menos los que se aventuran a intentar predecir el comportamiento que algunas variables predictoras podrían tener sobre variables criterio específicas asociadas al dominio o función de la mano, habitualmente núcleo de la intervención desde terapia ocupacional.

Hasta la fecha, aunque se han desarrollado algunos modelos, se centran exclusivamente en la inclusión de variables predictoras demográficas como la edad (332)(333) y clínicas sensoriomotoras o cinético-cinemáticas como las puntuaciones en las escalas FMUL (334)(335), FAT y NHPT (336), NIHSS (332), la fuerza de agarre (336) o la extensión activa de los dedos (337)(334)(335).

Heller et al. (1987) son los primeros en apuntar que los cambios clínicamente relevantes asociados a la mejora del miembro superior con la escala FAT podrían infraestimarse, y que para optimizar la monitorización de los mismos era recomendable un modelo añadiendo la NHPT y la fuerza de agarre de la mano parética. La no recuperación de éste último parámetro en los primeros 24 días pronosticaba la ausencia de utilidad del miembro superior a los 3 meses de la lesión (336). Nijland et al. (2010) en una cohorte de ictus agudo (n=188) y Veerbeek et al. (2011) en una muestra de ictus subagudo (n=154) encontraron que la presencia temprana de extensión en los dedos en la FMUL 0.89(95% CI= 0.85-0.92) y de abducción de hombro en la MI 0.95(95% CI= 0.91-0.97) eran buenas predictoras de la recuperación sensoriomotora en la ARAT a los 6 meses(334)(335). Sólo el modelo de Shyam et al. (2008) (n=41) ha sido posteriormente validado en personas con ictus y déficits en el miembro superior (n=241). Incluían en el trabajo original como predictores a la puntuación inicial en la

escala FMUL, el volumen de la lesión subcortical, la edad y el tiempo de re-evaluación(338). Según los autores de la validación, éste modelo solo es aplicable a pacientes con ictus de leves a moderados con una precisión excelente ($r^2=0.90$), pero no con severos, demostrando que pacientes más severos no se ajustaban a los perfiles de recuperación pronosticados (339)(340). Byblow et al. (2015) investigó el poder predictivo de los potenciales evocados motores (MEP) en la recuperación del miembro superior de personas con ictus ($n=82$) elaborando un modelo con excelente precisión predictiva ($r^2=0.88-0.90$). Sin embargo, sus resultados podrían estar afectados por el alto número de pérdidas de seguimiento para las comparaciones en los test neuropsicológicos a las 6, 12 y 26 semanas y en los MEP ($n=11$), por lo deberían ser interpretados prudentemente(341). Sus resultados sugieren que la inclusión de otras pruebas neurofisiológicas o clínicas en los modelos de pronóstico podría contribuir a mejorar la precisión predictiva de los mismos(342).

Entre los estudios que incluyen técnicas de neuroimagen o electrofisiológicas como recomendación para los modelos predictivos de recuperación del miembro superior y la mano (285)(310) destacan la TMS (343), la MRI funcional o MRI con tensor de difusión (341)(344), incluyendo medidas de anisotropía fraccional (345)(346).

Tan sólo Kwah et al. (2013) elabora un modelo predictivo a 6 meses incluyendo 2 tareas simuladas de la vida diaria incluídas como ítems en la MAS: mover una copa en la mesa ($n=65$) y comer con cuchara un alimento de consistencia líquida ($n=69$). Ambos modelos mostraron una capacidad predictiva excelente, siendo 0.73 (95% CI= 0.59-0.87) para mover una copa y 0.82 (95% CI= 0.70-0.94) para auto-alimentarse con cuchara. El test de Hosmer-Lemeshow no mostró diferencias estadísticamente entre los modelos de la copa ($p=0.74$) y la auto-alimentación con cuchara ($p=0.38$), por lo que no había evidencia de un fallo de ajuste (332).

Únicamente Baldan et al. (2021) se atreve a desarrollar un modelo predictivo que sirva como referencia para la práctica clínica mediante la aplicación del robot Amadeo® en sinergia con la sEMG en pacientes con ictus (n=174). En su investigación, la capacidad de control de la sEMG pudo ser determinada significativamente (AUC=0.925) por la puntuación de la FMUL motora (>24/66) y la FMUL sensibilidad (>23/24), por la puntuación de la escala de tono MAS (<3/4) y por la puntuación total de la escala de funcionalidad sensoriomotora global MAS (>4/20). Se encontró una alta correlación en el control de la fuerza y la FMUL (AUC=0.928), aunque MAS y FMUL fueron las mejores predictoras de la capacidad motora para controlar el dispositivo de sEMG en 2 modalidades diferentes (329).

Atendiendo al estado del arte descrito ut supra, el propósito de esta sección es alcanzar el nivel predictivo con la presente investigación doctoral, intentando aumentar el conocimiento sobre el potencial predictivo de este robot de mano, no sólo en parámetros sensoriomotores sino también para pronosticar el desempeño en las AVD en contexto real. Para ello, se partirá de una breve exposición de la evolución de esta investigación desde sus orígenes.

Antecedentes de la investigación propia con Amadeo®

Se inicia la experimentación con este dispositivo de mano mediante la realización de un pre-experimento por intención a tratar no controlado ni aleatorizado en HBMA, que fue difundido en unas jornadas científico-técnicas el 21 de junio de 2012 (347). Se considera dicho evento como un **primer nivel exploratorio** para la presente investigación.

Es responsabilidad del investigador intentar alcanzar el mayor nivel de desarrollo experimental de cada investigación en curso. Por ello, considerándose incompletos los objetivos cumplidos mediante dicho *workshop* para dar una respuesta clínica sólida sobre la utilización de este dispositivo, se avanza de una *fase 1* hacia el desarrollo de una *fase 2* para la presente investigación, con el objetivo de profundizar en los resultados alcanzados, y analizar los datos obtenidos en un **nivel descriptivo, relacional y explicativo**, mediante el diseño y realización por parte del doctorando de un experimento verdadero en forma de estudio piloto, cuyos resultados fueron difundidos y presentados en el *International Congress on Neurotechnologies, Electronics and Informatics* (NEUROTECHNIX) en Vilamoura (Portugal) a finales de 2013. Aunque los resultados analizados, relacionados con la efectividad del dispositivo para la neurorrehabilitación de la mano, fueron estadísticamente muy significativos, debido al discreto tamaño muestral en personas adultas con ictus subagudo (n=12), se consideró que debían ser interpretados con cautela y que nuevos resultados en muestras mayores debían ser más profunda y rigurosamente analizados (36).

Desde 2014, y dando prioridad al objetivo de responder con contundencia a las hipótesis planteadas para los **niveles relacional y explicativo**, se dio prioridad en *fase 3* a la continuidad del experimento verdadero cruzado aleatorizado y controlado a simple ciego, sin presión temporal y disfrutando del camino como investigadores en los años ulteriores a 2014 (57), 2015 (96), 2016 (171), 2017 y 2018 hasta alcanzar el tamaño estimado *ad hoc* para la muestra del grupo experimental (n=58) y para el grupo control de sujetos voluntarios sanos (N=30), que pudo completarse a finales de 2019 (202). Dicha investigación ha quedado reflejada en el capítulo IV.

Es a finales de 2019 cuando el HBMA es reconocido con el premio ABCSalud al mejor hospital privado 2019 por la alta dotación tecnológica en su Unidad de Robótica

del Servicio de Daño Cerebral (164). Este hecho motiva para, a pesar de la complejidad de los datos recolectados que requerían de un análisis estadístico en profundidad más complejo y elaborado, y del aprendizaje durante casi 3 años de una estadística más avanzada, para intentar dar respuesta más contundentemente a la pregunta de investigación planteada en un **nivel predictivo** en *fase 4*: “¿puede Amadeo® en su primera sesión predecir el grado de recuperación sensoriomotora y funcional alcanzado a los 3 y 6 meses post-intervención en una mano hemiparética?”. Los resultados preliminares de los análisis predictivos fueron defendidos en *Congreso Internacional de Contextos Clínicos y Salud*, en julio de 2021 (ver Anexo II).

En este capítulo V, y finalizados los últimos análisis estadísticos, se expone el modelo de regresión lineal completo, pretendiendo dar una respuesta clínica a la hipótesis predictiva con el robot de mano Amadeo®.

Discusión

El *objetivo* de este capítulo fue determinar si las variables de medida del robot de mano Amadeo® (AM, FF, FE) permitirían predecir el comportamiento funcional y sensoriomotor de las variables criterio seleccionadas en una anterior fase experimental. Los resultados del análisis estadístico han permitido no sólo encontrar la relación de dependencia entre los factores e identificar por dicha fuerza de asociación las variables predictoras de Amadeo® y variables criterio sensoriomotoras y funcionales, sino también generar un modelo predictivo propio llamado AMADEUS Global, basado en las variables criterio funcionales obtenidas de la evaluación AMPS a 3-6 meses (AMADEUS-A) en sinergia con las variables criterio sensoriomotoras obtenidas de la evaluación con FMUL, BBT y NHPT a 6 meses (AMADEUS-B), con sus respectivos

submodelos (A1, A2, A3 y B1, B2, B3). Tan sólo se ha encontrado un único estudio que incluye las variables cinéticas de este robot de mano, junto con las variables sensoriomotoras obtenidas con la escala FMUL, el tono muscular y las puntuaciones totales de la MAS para predecir la capacidad de control de fuerza mediante sEMG (329). Coincidimos con Baldan et al. (2021) en el poder predictivo de las variables biomecánicas de este robot de mano, aunque en sus estudios no incluya parámetros cinemáticos. Por otro lado, no se han encontrado antecedentes previos en la literatura de ningún estudio que incluya este tipo de modelopredictivo de la recuperación funcional en contexto real, incluyendo variables predictivas cinético-cinemáticas de índole tecnológica con el robot de mano Amadeo®, lo que incrementa el **valor añadido** de la presente investigación. El comportamiento de la mano en la primera sesión con este robot, en términos de cambios en la amplitud de movimiento, fuerza flexora y extensora podrían predecir la capacidad de desempeño en las AVD en contexto real del paciente con ictus a los 3 y 6 meses, como la auto-alimentación, el cepillado dental y el vestido de la mitad superior, evaluado mediante la estandarización AMPS. Exclusivamente Kwah et al. (2013) es capaz de elaborar un modelo predictivo de recuperación de la funcionalidad del miembro superior en el ictus subagudo mediante variables criterio relacionadas con tareas simuladas de la vida diaria, como mover una copa o transportar alimento con consistencia líquida con una cuchara, que en ningún caso es fiel reflejo del desempeño completo de esas AVD en contexto real.

En relación al *modelo predictivo AMADEUS-Global* propuesto (ver **Figura V-9**), con sus submodelos AMADEUS-A y AMADEUS-B, cabe destacar la contribución homogénea de las variables tanto al modelo general como a sus versiones A y B, así como la contribución más heterogénea de las variables predictoras a los 6 submodelos y su precisión, analizada a través del coeficiente estandarizado β obtenido mediante el

análisis de regresión lineal, como puede verse en la **Figura V-10**. La aportación y relación de las variables predictivas no ha sorprendido al investigador después de casi una década de experiencia clínica con el robot de mano Amadeo®. La contribución al modelo predictivo AMADEUS-Global de las variables independientes relacionadas con el primer “efecto intra-sesión” fue para AM (AMImprov1d, un 33%), para FF (FFImprov1d, un 66%) y para FE (FEImprov1d, un 83%) sobre el modelo AMADEUS-A con variables criterio de funcionalidad en AVD (AMPS) a los 3-6 meses. La contribución es para FF (FFImprov1d, un 100%) y para FE (FEImprov1d, un 100%) sobre el modelo AMADEUS-B con variables criterio de capacidad sensoriomotora medidas con las escalas FMUL, BBT, NHPT a los 6 meses. El *poder predictivo* de la variable independiente AMImprov1d es el menor, seguido de la variable FFImprov1d. La variable FEimprov1d resulta indudablemente la variable con mayor poder predictivo.

Importantes *implicaciones para la práctica clínica* podrían discutirse atendiendo a los resultados de esta investigación. Focalizar nuestros esfuerzos en la recuperación de los parámetros cinéticos de la mano (FE, FF) asociados a la recuperación de los parámetros cinemáticos de la misma (AM) mediante una neurorrehabilitación propositiva, centrada en la tarea funcional y técnico-específica para potenciar los componentes sensoriomotores, resultaría una apuesta segura conociendo esta relación de dependencia. Una apropiada selección de las técnicas de intervención con cada paciente, entendido éste como caso único de investigación, resulta fundamental. Técnicas de reaprendizaje motor orientado a tareas, imaginería motora, observación de acciones, restricción del lado sano y uso forzado, junto con un abordaje biomecánico centrado en los componentes cinético-cinemáticos de la mano, podrían focalizar en una mejor integración funcional del residuo motor del miembro superior y de la mano, así como en un óptimo entrenamiento del desempeño de las actividades de la vida diaria en un

contexto natural. Es probablemente esta acertada selección de técnicas de TOM/CT la que ha contribuido a obtener estos resultados tan esperanzadores en este estudio.

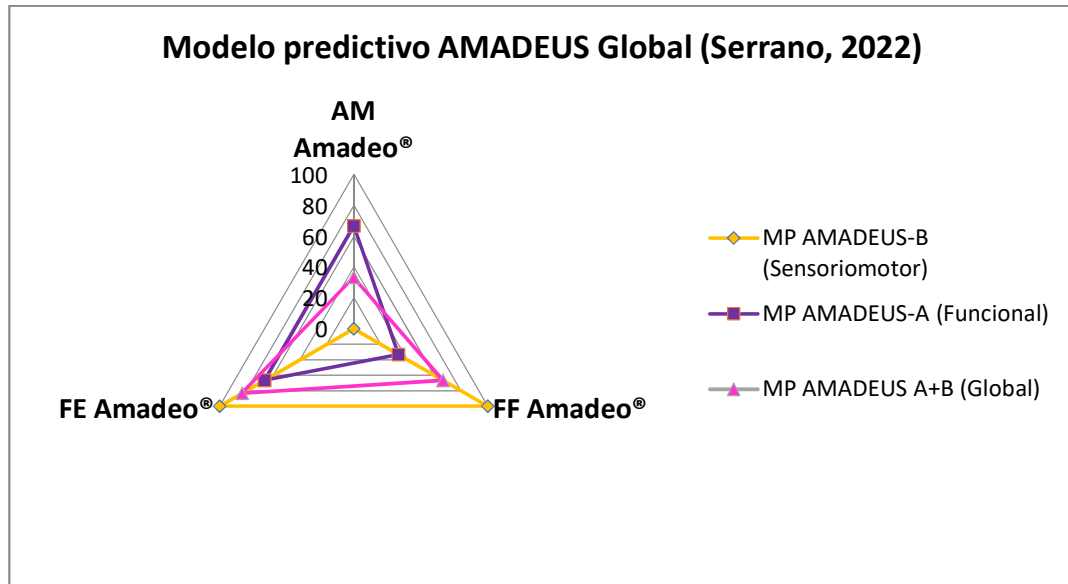


Figura V-9: Contribución porcentual (%) de las variables predictivas del robot Amadeo® sobre las variables criterio incluidas en los 2 submodelos predictivos AMADEUS-A (Funcional) y AMADEUS-B (Sensoriomotor), así como en el modelo predictivo AMADEUS-Global.

Es un hito para esta investigación proponer el *primer modelo predictivo* AMADEUS-Global de recuperación y/o ausencia de recuperación para la *mano neurológica típica* en pacientes con ictus en fase subaguda mediante la aplicación clínica estandarizada del robot Amadeo®. Este modelo no sólo se basa en los procesos ya protocolizados de aplicación clínica de la intervención robótica ya descritos en la literatura, sino que también proporciona un nuevo protocolo estandarizado de medidas repetidas intra-sesión, cuya efectividad ha sido demostrada a lo largo de esta tesis doctoral (96)(32)(261). Dicho protocolo permitiría al investigador poder identificar los mínimos *cambios clínicamente relevantes* para dirimir entre el *beneficio terapéutico de la TAR o la TOM/CT*, así como facilitar la *pronosticación de resultados*. Aumentar la

participación y competencia de la mano afectada en las AVD mediante RMOT, utilizar evaluaciones AMPS, incrementar la cantidad y calidad del movimiento global del miembro superior en la escala FMUL, mejorar la destreza motora gruesa y el transporte de cubos en el BBT o recuperar la destreza motora fina reduciendo el tiempo de ejecución en el NHPT, son ahora objetivos que pueden predecirse mediante este modelo basado en las primeras medidas de evaluación del robot Amadeo®. Los mínimos cambios clínicamente relevantes encontrados durante la primera sesión, y atendiendo estrictamente a nuestros resultados en una población muy concreta, podrían predecir los resultados del tratamiento rehabilitador convencional o con robótica seleccionado por el profesional experto, que se alcanzarían los 3 y 6 meses. La correcta utilización de esta información permitirá más apropiadamente *ajustar los programas de tratamiento, optimizar los tiempos de intervención, establecer objetivos funcionales realistas* con el usuario y crear *adecuados perfiles de pacientes* que potencialmente puedan beneficiarse de una neurorrehabilitación más convencional o más tecnológica. Mientras que otros modelos predictivos se han creado a través de muestras de pacientes con ictus con una afectación sensoriomotora del miembro superior de leve a moderado, en el presente modelo se ha incluido una muestra equiparada entre pacientes con menor y mayor afectación sensoriomotora (PPP/PPN), lo que contribuye a que los efectos no hayan sido sobreestimados y se pueda predecir tanto la recuperación como la ausencia de recuperación sensoriomotora y funcional de los pacientes con mano parética en fase subaguda.

Componentes sensoriomotores y funcionales no deberían ser *evaluados ni tratados separadamente* durante la intervención, pues cuentan con los mismos factores contribuyentes de resultado. Una correcta selección de técnicas de rehabilitación convencionales (TOM/CT), con alto nivel de evidencia y fuerte grado de

recomendación, focalizadas en el reaprendizaje motor orientado a tareas, la terapia por restricción y de uso forzado, la imaginería motora o la observación de acciones, puede contribuir al éxito adyuvante del tratamiento del miembro superior hemiparético típico, con neglect o apraxia. Adicionalmente, otros síndromes de mano neurológica más atípicos, como *síndromes de mano alien*, *somatoparafrenias* o *Gerstmann*, deben ser también rehabilitados, y es responsabilidad del profesional experto dirimir entre las diferentes alternativas terapéuticas para aplicar la más acertada. Resultados pre-experimentales muy recientes en este perfil de usuarios ponen también de manifiesto un beneficio terapéutico de ambos tipos de abordaje TOM/CT y tecnológico robótico o tipo guante (164)(32), aunque el modelo predictivo desarrollado en esta tesis doctoral no pueda ser generalizable *a priori* hasta su completa validación.

Como ambos tipos de tratamientos han demostrado ser efectivos para producir cambios funcionales significativos a los 3 meses de forma aislada con tratamiento convencional ($.40 \pm .19$ logits) ó tratamiento robótico ($.60 \pm .33$ logits), así como a los 6 meses en sinergia ($1.04 \pm .50$ logits), queda demostrada que ninguna de las intervenciones es mejor que otra, como se discutía en un capítulo anterior. No obstante, aunque el tamaño del efecto para la robótica sea discretamente mayor, éste resultado no debería condicionar nuestras decisiones terapéuticas, ya que existen perfiles muy heterogéneos de pacientes con daño cerebral que se benefician más de una intervención convencional que tecnológica en la práctica clínica diaria. Las nuevas tecnologías robóticas potencialmente seleccionadas para su implementación, dependiendo del objetivo rehabilitador más funcional o sensoriomotor que se quiera alcanzar, deberían incidir en un trabajo biomecánico más equilibrado entre cinética y cinemática, si se pretenden alcanzar mejores resultados funcionales o focalizar en una intervención más puramente cinética, si lo que se pretenden alcanzar son resultados más propiamente

sensoriomotores, en base al modleo propio AMADEUS-Global. Los resultados de investigación encontrados incrementan el futuro abanico de posibilidades terapéuticas con este robot de mano, tendiendo un puente hacia una aplicación clínica orientada hacia otras poblaciones etiológicas no neurológicas o neurológicas, adquiridas o degenerativas, que deberían explorarse, dada la multiplicidad de resultados obtenidos con otras intervencionesy atendiendo a otras o a las mismas variables criterio estudiadas en la presente investigación.

Algunas limitaciones en el estudio deben ser reconocidas. En primer lugar, aunque la naturaleza del diseño metodológico de esta investigación es aleatorizado y controlado, ampliando el estudio piloto original (36), no está libre de sesgos; futuras investigaciones deberían emplear diseños metodológicos más robustos revisando los protocolos y procedimientos propios administrados. En segundo lugar, la validez externa de este modelo no ha sido analizada en profundidad, y podría estar reducida asumiendo que la muestra representa a una población de ictus de un mismo hospital y área geográfica; Se recomienda reproducir el diseño en muestras mayores y multicéntricas, para que no queden impedidas las consideraciones de algunos potenciales predictores. Se debería evitar la dicotomización de variables continuas, así como limita el número de predictores incluidos en los modelos para no exceder el número de eventos de resultados estimado teóricamente, para no sobreestimar los efectos. En este trabajo se ha intentado evitar el riesgo de sobreajuste (*overfitting bias*), por lo que se han mostrado los modelos sin eliminación de los *outliers*, para que la inflación no afectase a la exactitud predictiva de cada modelo. Esto ha podido contribuir, sin embargo, a la infraestimación de algunos posibles efectos verdaderos. Del mismo modo, un correcto análisis relacional previo de las variables predictoras, así como su ajuste al número de eventos de resultado, ha permitido controlar el *riesgo de*

sesgo de selección predictora. En tercer lugar, diferentes herramientas pueden ser utilizadas para medir las variables criterio sensoriomotoras y funcionales que no han sido incluidas en esta investigación, por lo que se recomienda su selección en futuros estudios predictivos. Se reconoce el posible efecto covariable de la cognición, la motivación o la percepción subjetiva de mejora, que no han sido analizados. En cuarto lugar, la presente investigación ha acotado la muestra de estudio a ictus en fase subaguda con hemiparesia típica de mano, siendo excluidos todos aquellos casos atípicos; Otros perfiles de pacientes vulnerables con síndromes de mano neurológica atípica deberían ser incluidos en futuras investigaciones. En quinto lugar, también debería valorarse adicionalmente el efecto que algunas variables podrían tener sobre los resultados alcanzados, especialmente aquellas con potencial de cambio en el curso normativo de la rehabilitación, como las intervenciones quirúrgicas (pe. *síndrome del trefinado*) o la presencia de complicaciones en el proceso clínico, que bien pueden tener un efecto de covariable. Finalmente, todos los pacientes han continuado recibiendo durante este ensayo el tratamiento fisioterápico habitual sin perjuicio alguno de su programa de rehabilitación planificado, por lo que el efecto de dicha covariable, aunque aparece en ambos grupos de intervención, no ha sido aislado, por lo que debería tenerse en consideración para futuras investigaciones con carácter explicativo o predictivo.

Conclusiones

Las variables cinético-cinemáticas (AM, FF y FE) del robot de mano Amadeo®, obtenidas en una primera sesión de intervención, pueden predecir los cambios funcionales en las AVD a 3 y 6 meses de intervención, así como los resultados sensoriomotores a los 6 meses en personas con hemiparesia en la mano por ictus en fase

subaguda. Las variables predictoras que mejor explican los cambios sensoriomotores son FE y FF, mientras que AM y FE son mejores predictores de los resultados en el desempeño de las AVD en contexto real.

CAPÍTULO VI

IMPLICACIONES CLÍNICAS Y CONCLUSIONES FINALES

IMPLICACIONES CLÍNICAS DE “QUO VADIS, AMADEO® ROBOT”

Varios hitos se han cumplido mediante la presente investigación. Se ha realizado específicamente la primera revisión sistemática cualitativa sobre este dispositivo robótico en el capítulo II. En el capítulo III aumentamos la complejidad del mismo, completando un análisis meta-analítico de los mismos estudios (el primero de su género), incluyendo los resultados propios de investigación en el análisis cuantitativo de la evidencia. Aunque el estudio experimental propio, desarrollado en el capítulo IV, se suma a una serie de ensayos clínicos ampliando la evidencia ya existente, aporta resultados novedosos sobre el efecto aislado y combinado de la TAR sobre los resultados sensoriomotores y el desempeño de las AVD en contexto real a los 3 y 6 meses de evolución. Finalmente, en el capítulo V, revisadas las variables predictivas y potenciales factores criterio, se genera el primer modelo clínico predictivo de recuperación sensoriomotora y funcional que integra los parámetros de medida cinético-cinemáticos del robot de mano Amadeo®, modelo al que se decide bautizar como “AMADEUS”. Es en este momento en el que, al final de la *fase 4* de esta tesis doctoral, llegamos al más alto nivel de investigación, el *aplicativo*, sumun de cualquier experimentación, y donde el objetivo fundamental resulta en efectuar *recomendaciones para una práctica clínica en la población general*.

Limitaciones de la investigación narrativa y empírica

Aunque se ha cuidado con esmero la metodología aplicada en los procesos elaborados de **revisión sistemática y metaanalítica** incluidos en esta tesis doctoral no están libres de sesgos. Dos evaluadores expertos independientes y un tercer evaluador para arbitraje en casos de desacuerdo podrían no ser suficientes para evitar errores por

sobrestimación o infraestimación en la evaluación de la calidad metodológica. La limitada existencia de evidencia disponible dificultó el proceso de selección e inclusión de estudios, siendo necesario por un lado apoyar la búsqueda en bases de datos con búsquedas manuales. Incluso, para determinadas investigaciones planificadas como la propia, resultó necesario esperar años hasta poder disponer del número suficiente de estudios primarios para implementar el análisis. La tendencia a no reportar resultados estadísticamente no significativos dificulta el acceso a los datos primarios de los estudios, por lo que el contacto con los trialistas resultó necesario para poder completar algunos datos necesarios para la investigación, lo que después de tiempo puede conllevar en sesgos de notificación o información. La utilización de programas informáticos específicos para el análisis meta-analítico no libera de la posible sobrestimación de los tamaños del efecto, que en la actualidad siguen siendo muy heterogéneos.

La investigación **empírica** incluida en esta tesis doctoral no está libre de sesgos ni limitaciones desde su pre-experimento, y sus resultados, a pesar de lo explicitado en capítulos anteriores deben ser interpretados con cautela. Para favorecer el proceso de **transparencia** en la investigación, los principales resultados estadísticos obtenidos con SPSS han sido incluídos en sus respectivas tablas en cada capítulo correspondiente. Otros múltiples contrastes estadísticos podrían haberse aplicado para dar explicación a las mismas hipótesis analizadas en este trabajo científico o a otras decenas de hipótesis investigativas aún no respondidas con el robot Amadeo®. Nuevas investigaciones, con una muestra más grande, mayor robustez metodológica y multicéntricas, serían recomendables para poder generalizar los resultados.

Otros análisis de **regresión** podrían haberse realizado para confirmar el valor predictivo de las variables cinético-cinemáticas del robot de mano y explicar así la

varianza de los cambios a nivel sensoriomotor entre 1 y 3 meses post-intervención, aunque en este trabajo de investigación no se consideró oportuno, al alcanzar el nivel predictivo de la varianza de las variables criterio funcional y sensoriomotora a los 6 meses en los resultados en las cuatro escalas de evaluación: AMPS, FMUL, BBT y NHPT. La presencia de muy pocas investigaciones centradas en los verdaderos cambios medidos en la funcionalidad de la mano durante el desempeño de las actividades de la vida diaria en contexto real, como consecuencia de la transferencia de aprendizajes y su generalización después de la intervención con robótica o en sinergia con aquella, enfatizó el esfuerzo puesto en pronosticar los resultados funcionales obtenidos después de una intervención robótica (TAR), después de una intervención específica sin robótica (CT) y después de una intervención sinérgica combinada (CT y TAR). Nuevas investigaciones sobre modelos predictivos son necesarias, evitando los riesgos por sobreajuste de los modelos y los sesgos en la selección de las potenciales variables predictoras.

Aunque el nivel de evidencia encontrado es moderado-alto, aún se encuentran profesionales clínicos que discuten el efecto verdadero que la terapia robótica puede tener sobre las variables cinético-cinemáticas y sobre su transferencia de aprendizaje durante el desempeño de las actividades de la vida diaria, refiriendo la existencia de cambios en destrezas motoras específicas pero no su generalización en las AVD (referencias). Sirva este humilde documento científico para iluminar el camino a aquellos profesionales más excépticos y para demostrar el **efecto que podría tener la terapia robótica frente a la convencional** sobre los resultados en destrezas motoras biomecánicas específicas de la mano (AM, FF, FE) medidas con el robot Amadeo®, en los resultados sensoriomotores alcanzados con las escalas FMUL, BBT y NHPT, así como en el desempeño en contexto real de las AVD, no sólo en su administración

aislada, sino también en su **efecto sinérgico adyuvante** mediante la suma de ambos tratamientos, a los 3 y 6 meses respectivamente.

Resultaría necesaria la validación de los cambios clínicamente relevantes encontrados a través de esta investigación mediante nuevas investigaciones, que valoren la efectividad del modelo predictivo AMADEUS-Global en personas con ictus en diferentes estadios de evolución y con diferentes síndromes de mano neurológica, típica y atípica, atendiendo al heterogéneo comportamiento de la función manual en diferentes patologías. Del mismo modo, la creación de otros modelos predictivos en otras patologías neurológicas podría permitir generar nuevos modelos de intervención clínica más ajustados a cada perfil etiológico de usuarios. No obstante, nuevas y más complejas investigaciones con este dispositivo de mano siguen siendo necesarias. Aunque se ha dado respuesta a múltiples preguntas e hipótesis de investigación, muchas de ellas siguen aún sin respuesta, atendiendo a la enorme heterogeneidad que podemos encontrar a nivel poblacional.

Recomendaciones para la aplicación clínica

Necesidades de actualización de los protocolos de evaluación del miembro superior y la mano neurológica, mediante la selección de las más óptimas escalas de evaluación de la función de la mano a nivel global, específico y/o funcional. Mediante comité de expertos, sería recomendable establecer un protocolo estandarizado de evaluación del miembro superior y de la mano neurológica con diferentes líneas de actuación, atendiendo a los resultados o efectos que se espera alcanzar en nuestros pacientes. Las características específicas de cada instrumento de evaluación, preferiblemente estandarizado y validado para la población a investigar, determinará la sensibilidad de

las evaluaciones, y por extensión de los resultados sensoriomotores. Del mismo modo, mezclar herramientas de medida, objetivas y subjetivas, para las AVD podría ser un error, al igual que describir cambios en el desempeño de las AVD mediante pruebas que simulan acciones o secuencias de tareas cotidianas y no el desempeño de la actividad completa en su contexto real.

Necesidad de actualización de los sistemas tecnológicos y computarizados basados en nuevas tecnologías implicados en los protocolos de evaluación del miembro superior en el paciente neurológico. Algunos procesos relacionados con la aplicación estandarizada de este dispositivo mediante su manual protocolizado de administración deberían ser revisados, para aumentar la *objetividad del proceso de evaluación* e incrementar el control sobre el sesgo de medición, creando nuevos protocolos por perfil de paciente y procedimientos claramente tipificados. Adicionalmente, algunos *elementos técnicos del robot deberían ser revisados*, relacionados especialmente con el sistema de fijación de los dedos en los rieles y el sistema de medición vinculado al mismo, para convertirla en una verdadera evaluación libre de sesgos de medición. Nuevos estudios que comparen las características técnicas de anteriores y nuevas versiones de Amadeo®, así como de sus evaluaciones cuantitativas, podrían resultar de interés.

Necesidad de actualización del modelo de intervención: El modelo teórico actual de aplicación de la terapia robótica debería ser analizado y revisado. El uso de las nuevas tecnologías en neurorrehabilitación es y seguirá siendo una técnica adyuvante para la rehabilitación y su utilización no supe la figura del profesional experto. Hace casi una década advertían del riesgo de caer en una gimnasia robótica, de eximir de responsabilidad o carga de trabajo al profesional experto, o incluso de reducir los costes de la intervención. En los últimos años se ha evolucionado hacia modelos de

rehabilitación tecnológica más impersonales, globalizados, menos individualizados y más centrados en los procesos de tratamiento que de evaluación. Atendiendo a nuestra experiencia, los modelos teóricos actuales deben cambiarse en relación a tres pilares básicos: a) el *conocimiento teórico con su nivel de evidencia*; b) la *experiencia clínica práctica*; y c) *los resultados propios de investigación*. Elaborar un modelo o cambiarlo en base a algunos de estos pilares denostando otros, sólo pondrá de manifiesto nuestra ignorancia y la inestabilidad de nuestro modelo. Con los años, ha sido necesario modificar por el investigador un primer modelo teórico de aplicación de la terapia robótica (**RobHand2015®**), ideado por el investigador en la Unidad de Daño Cerebral del Hospital Beata María Ana desde 2012, basado en una administración *ad libitum* de las nuevas tecnologías basadas en robótica, exergames o realidad virtual donde el profesional, una vez adquirido el conocimiento experto, selecciona a placer, a voluntad y en función de gustos e intereses del paciente cada dispositivo, por un nuevo modelo teórico más complejo y teórico. A medida que la evidencia científica ha ido desarrollándose, y el modelo nutriéndose de nuevos conocimientos teóricos, basados en práctica clínica y como resultado de la investigación, un nuevo modelo **IS-BRAIN®** se ha abierto camino, fundamentado en una administración *ex juvantibus* de las nuevas tecnologías basadas en robótica, exergames o realidad virtual donde el profesional, después de un exhaustivo proceso de evaluación y diagnóstico, sugiere el tratamiento tecnológico más apropiado en función de las características de cada usuario y ajustando su dosificación y respuesta esperada. Se apuesta a través de esta tesis doctoral por un futuro con modelos de intervención basados *ex juvantibus* en terapias robóticas individualizadas frente a la última tendencia internacional hacia una intervención holística basada en terapias intensivas y menos individualizadas con estas nuevas tecnologías.

Prevención y seguridad

Mejorar la **calidad asistencial** debe ser el fin último de cualquier investigación. Se debe conseguir aproximar lo máximo posible aquello que el paciente espera, es decir sus necesidades y expectativas, con la atención sanitaria que recibe, en base a la mejor gestión posible de conocimientos, tecnología y recursos. Sirva este ensayo científico como un humilde intento de mejora de los procesos de *efectividad*, al fundamentar nuestro modelo predictivo en la más actualizada y mejor evidencia posible con el objetivo de incrementar la capacidad del sistema robótico y de sus procedimientos para mejorar el estado de salud de los usuarios con ictus; de *eficiencia*, para poder obtener el máximo de mejoras posibles por unidad de recursos, evitando el desperdicio de recursos, tiempo y dispositivos por un uso ineficiente de los mismos; de *equidad/universalidad*, al determinar perfiles pronósticos más ajustados, la posibilidad de acceso a una atención tecnológica se focaliza en función de la presencia de problemas sensoriomotores y funcionales semejantes como consecuencia del daño cerebral y no a razón de distinciones sociales, geográficas, económicas o de otra naturaleza; de *oportunidad*, al presentar la atención tecnológica en el momento más apropiado de evolución se optimiza la recuperación y se evitan demoras innecesarias en perjuicio del paciente; de *atención centrada en el paciente*, con humildad y transparencia, estableciendo objetivos de intervención realistas y personalizados, así como con respeto a la dignidad, las creencias, los valores y la capacidad para tomar decisiones de cada usuario; de *seguridad*, estableciendo una *checklist* de recomendaciones relacionadas con una actividad asistencial con dispositivos robóticos realista y lo más estandarizada posible, que reduzca no solo la posibilidad de daños físicos hasta el mínimo aceptable (cero) sino también los psicológicos por la creación de falsas expectativas de mejora. Atendiendo a la experiencia clínica reportada en este

ensayo, una *inspección visual, vigilancia de la implementación y control de las actuaciones más noveles* resulta necesaria, para optimizar resultados y evitar mínimos perjuicios innecesarios por un mal posicionamiento de la mano o por la presencia de compensaciones en el paciente. Disponer la mano en la órtesis de la consola y fijar los dedos en los rieles atendiendo a la particular biomecánica de la mano definida por sus arcos y ejes funcionales, podría resultar como *solución estandarizada* ante situaciones repetidas de malestar inter-metacarpiano. Es responsabilidad del profesional garantizar una asistencia sanitaria de calidad y segura mediante esta tecnología robótica, *previniendo errores, evitando mínimos efectos adversos* de molestia o fatiga ligados a la actividad muscular, inestabilidad articular o a la intensidad/dificultad cognitiva de la tarea seleccionada e *implantando todas aquellas medidas de mejora* que crea oportunas para ello. Evitar errores de posicionamiento al inicio o durante la asistencia, así como monitorizar la presencia mínima de errores técnicos que puedan interferir en la sesión de rehabilitación de la mano en curso por falta de adherencia de los pulpejos o por hiperhidrosis, resultan prioritarios. Nuevas, adicionales o alternativas soluciones de fijación de los dedos deberían ser estudiadas por el equipo técnico de Tyromotion, para evitar que el robot de mano Amadeo® cometa errores por falta de cuidado del tipo “*ex artis ad hoc*” durante la administración de su tratamiento sanitario. Cabe destacar en este punto, que ese tipo de error en una máquina sin conciencia resulta excusable, considerándose inexcusable en el profesional al cargo de la utilización del dispositivo si se produjo por falta de supervisión.

Esperamos, en este punto de la disertación y basándonos en otras recomendaciones del *Institute of Healthcare Improvement (IHI)*, que nuestro *bundle o conjunto estructurado de medidas, recomendaciones e intervenciones*, basados en la experiencia clínica e investigación durante 10 años, sirvan para mejorar estos procesos en otros

equipos profesionales que cuentan con la misma tecnología robótica para la rehabilitación. Lejos de poder ser considerada una *guía de práctica clínica*, se espera que este trabajo académico sirva para insistir en la transparencia con la que deben aplicar estas nuevas tecnologías basadas en robótica, exergames y realidad virtual. La negociación consensuada de los objetivos de rehabilitación de la mano hemiparética optimizará la adherencia al tratamiento, la motivación e implicación en el mismo, así como el bienestar emocional y relacional en el binomio terapeuta-paciente. El conocimiento del mejor nivel de evidencia y del más alto grado de recomendación en la implementación clínica reducirá al mínimo la presencia de errores asistenciales, que no necesariamente deben vincularse al éxito o no de la intervención tecnológica propuesta. Debemos ser conscientes del proceso de aprendizaje permanente que conlleva para el profesional la utilización de estas nuevas tecnologías robóticas o virtuales en la neurorrehabilitación, novedosas hoy pero obsoletas mañana. Focalizar, a modo de reflexión, en que la clave podría encontrarse en la continua y sensible monitorización de cada usuario vulnerable, así como en la continua mejora tecnológica y académica del profesional en base al conocimiento.

Recomendaciones para la población general

Aunque los resultados encontrados son prometedores y esperanzadores, cabe destacar que no todos los pacientes con **hemiparesia típica** por ictus en fase subaguda van a ser candidatos de utilizar este dispositivo. Su aplicación dentro del programa de intervención dependerá de múltiples factores, así como de la decisión clínica última del profesional experto que determinará si procede o no su implementación clínica. Los resultados mostrados en la presente investigación, así como su modelo predictivo, debe

ser validado en una muestra mayor de personas con ictus, y atendiendo a nuevos factores, determinar su sensibilidad y especificidad, y poder así ser generalizables en otras poblaciones con ictus o con otras patologías neurológicas. Estos resultados deben ser interpretados con cautela.

Nuevas indicaciones

Dedicar algo de atención a la amplia variedad de tecnologías basadas en electrofisiología que están surgiendo en las últimas décadas y su notable potencial para la neurorrehabilitación de pacientes con DCA. Las tecnologías de interfaz cerebro-computadora se exploran constantemente en la investigación y se incorporan progresivamente a la práctica clínica actual para intentar predecir resultados funcionales en la enfermedad neurológica. Las señales de *EEG no invasivas* de alta calidad durante la rehabilitación robótica se han utilizado en proyectos de investigación como BCI4REHAB® (256) y ARTE® con AMADEO® (209) para analizar la activación de la corteza motora, su nivel de compromiso (*engagement*) y el índice de (a)simetría del cerebro. Los patrones corticales ERD/ ERS reflejan activación y desactivación sincrónica de la corteza sensoriomotora. Se ha demostrado que existen diferencias entre los movimientos asistidos y no asistidos de la función de agarre en sujetos sanos y con ictus, ya que el patrón asociado a movimientos desincronizados (ERD) en pacientes neurológicos durante los programas no asistidos se podría alterar y asociar con una potente capacidad de recuperación funcional (206)(306)(352).

El efecto de la terapia manual asistida por robot también podría mejorar mediante el uso sinérgico de electromiografía de superficie (sEMG), estableciéndose así otro potencial predictor para la recuperación del miembro superior (208)(258)(329).

Finalmente, aún se desconoce el efecto de la combinación de la *estimulación magnética transcraneal* (TMS) y *estimulación magnética transcraneal de corriente directa* (TDCs) junto a una terapia asistida por robot con Amadeo® para promover la recuperación motora del miembro superior en el ictus, pero los hallazgos preliminares apuntan hacia efectos beneficiosos en la fase subaguda usando otros dispositivos robóticos como ARMEO®. Para pacientes con DCA, la aplicación de TDCs, ya sea para disminuir la excitabilidad en el hemisferio sano o para aumentar la excitabilidad cortical en el lesionado, mejora la función motora de 1-3 semanas hasta 3 meses después de la última sesión recibida. Se han descrito efectos locales y distantes, a nivel cortical, subcortical y cerebelar (326)(353)(354)(355). Los resultados en el equipo de Romero-Muñoz et al. (2020) con TMS aplicada en pacientes con ictus para la recuperación del miembro superior son esperanzadores (328).

El uso combinado de dispositivos robóticos pasivos o activo-asistidos para soportar el peso del brazo y de la mano contra la gravedad con *estimulación eléctrica funcional* (FES) podría mejorar la tarea de agarre o alcance, aumentando el aprendizaje basado en errores por la retroalimentación aumentada, combinada ésta con el ajuste de control adaptativo del dispositivo (93)(166).

Se ha demostrado que las señales de intención de movimiento de la mano y los dedos son más pronunciadas durante actividades más atractivas, como los videojuegos, tanto en sujetos sanos como con accidente cerebrovascular (226)(356)(357). Una completa evaluación electrofisiológica de la mano neurológica, utilizando parámetros como la frecuencia cardíaca del paciente, el intervalo entre latidos, la respuesta galvánica de la piel, la coherencia relacionada con la tarea y la inhibición aferente de latencia corta, sugiere una potencial remodelación de la plasticidad sensoriomotora y de

la inhibición interhemisférica entre las cortezas sensoriomotoras después de la aplicación de terapias manuales intensivas asistidas por robot (206).

La futura combinación de la rehabilitación robótica de la mano con Amadeo® con otros procedimientos y técnicas específicos de neurorrehabilitación, como la imaginería motora y la terapia por observación de acciones, podría contribuir a tender nuevos puentes de plasticidad cerebral hacia una mejor recuperación sensoriomotora y funcional del miembro superior afecto y de la mano parética en personas con ictus (65)(68)(72)(75)(358).

Futuro de esta investigación

Tres claras líneas de investigación futura parten de la presente investigación:

- a) **Validación del modelo predictivo AMADEUS-Global:** Resulta necesario comprobar que el modelo predictivo generado en esta investigación es válido para predecir el efecto sensoriomotor y funcional a los 3 y 6 meses con la evaluación de resultados obtenida con la primera sesión del robot Amadeo®.
- b) **Proyecto post-doctoral REHandMAP:** Se está desarrollando en colaboración con HBMA, Tyromotion, CSIC y CSEULS (nº ref. 2022A36002) durante los 3 años ulteriores a la defensa de la presente tesis doctoral, entre 2022 y 2025. Se encuentra en la primera fase de desarrollo (ver **Figura VI-1**), y pretende demostrar si existen diferencias entre los movimientos asistidos y no asistidos de la función de agarre en sujetos sanos y con ictus, atendiendo a que el patrón asociado a movimientos desincronizados (ERD) en pacientes neurológicos durante los programas no asistidos se podría alterar y asociar con una potente capacidad de

recuperación funcional (191). Utilizará medidas electrofisiológicas para cuantificar el mapa cerebral funcional y otras variables determinantes de resultados. Los patrones de activación medidos a través de la qEEG se están estudiando actualmente, tanto en pacientes neurológicos como en sujetos sanos, para el establecimiento de protocolos más completos y objetivos de evaluación. Como referíamos *ut supra*, los patrones corticales ERD/ ERS reflejan activación y desactivación sincrónica de la corteza sensoriomotora. Las oscilaciones en las bandas alfa y beta (<35Hz) muestran patrones espaciotemporales que se producen de forma característica durante el procesamiento sensoriomotor. Mientras que la desincronización relacionada con el evento (*event-related desynchronization*, ERD) que se produce durante la preparación motora, la ejecución y la imaginación puede verse asociada a la activación de áreas corticales, la sincronización asociada al evento (*event-related synchronization*, ERS) de componentes de frecuencia entre 10 y 13 Hz puede representar la desactivación de esas áreas corticales o la inhibición de las redes neurales implicadas, al menos bajo ciertas condiciones experimentales. Los ritmos beta inducidos (13-35 Hz, beta ERS) pueden encontrarse en áreas sensoriomotoras seguidas tanto al movimiento voluntario como a la estimulación somatosensorial. Pueden asumirse distintos patrones de reactividad relacionados con la reducción (*focal ERD*) o el incremento en sincronía (*surround ERS*) de regiones corticales localmente restringidas asociadas con la concentración mental o la atención focalizada sobre los movimientos de las manos. Los patrones antagónicos ERD/ERS pueden interpretarse como un mecanismo talamo-cortical para facilitar la activación cortical focal mediante una desactivación simultánea o la inhibición de áreas

corticales circundantes, las cuales están fuera del foco de atención. En relación a este hecho, las demandas de la tarea a desempeñar podrían tener mucha relevancia, y para ejecutar repetidos movimientos de agarre con la mano podría requerirse una menor atención que para tareas concretas de imaginación motora. Una clara supresión de la estimulación inducida beta ERS es indicativa de un estado de actividad incrementada en las áreas sensoriomotoras, observable durante la manipulación activa de cubos, mientras que una temprana supresión ocurriría durante condiciones de imaginación mental del agarre de cubos (359)(360).

- c) Adicionalmente, el efecto de la terapia de mano asistida por este robot también podría mejorar mediante el **uso sinérgico de sEMG**, estableciéndose así otro potencial predictor para la recuperación del miembro superior, como refiere Baldan et al. (2021) en sus investigaciones.

Los hallazgos experimentales y la definición de estas futuras líneas de investigación ponen de manifiesto tanto la necesidad de optimizar el proceso de evaluación objetiva de la mano neurológica en ictus, en términos de mapeo cerebral cuantitativo y sincrónico que mida la activación cerebral real durante la evaluación robótica, como la necesidad de valorar la viabilidad y practicabilidad del procedimiento descrito con esta metodología específica en sinergia con el dispositivo robótico Amadeo®, con la finalidad, independientemente de la intervención TOM/CT o TAR finalmente seleccionada, de mejorar los procesos de evaluación objetiva, intervención, medida de resultados sensoriomotores y funcionales, así como los procesos predictivos de recuperación de la mano hemiparética en el ictus.

CONCLUSIONES FINALES

A) Atendiendo al análisis cualitativo, existe un fuerte nivel de evidencia para recomendar el robot de mano Amadeo® para la evaluación y rehabilitación de la mano neurológica en el ictus, con el objetivo de mejorar función sensoriomotora y destreza. El nivel de evidencia es moderado para mejorar las variables cinético-cinemáticas de la mano, así como los procesos cognitivos. La evidencia es limitada para demostrar cambios asociados a la neuroplasticidad. La evidencia es insuficiente o no existe en relación a la participación y al desempeño en las AVD.

B) El análisis cuantitativo de la evidencia pone de manifiesto que, aunque existe una alta heterogeneidad entre los estudios analizables actualmente, se ha encontrado un moderado tamaño del efecto estadísticamente significativo en relación a los resultados sensoriomotores encontrados en escalas de funcionalidad global y en el desempeño de las actividades de la vida diaria, a favor de la TAR frente a TOM/CT. En el resto de comparaciones no se encontraron diferencias entre ambas intervenciones.

C) De la presente investigación empírica en pacientes con ictus en fase subaguda puede concluirse que:

a. En relación al factor *ad hoc* que investigaba la presencia y severidad de la hemiparesia (PPP vs PPN) en línea base:

i. El perfil de recuperación es diferente (PPP>PPN)

- ii. PPP y PPN se benefician de la intervención basada en TOM
 - iii. PPP y PPN se benefician de la intervención basada en TAR
 - iv. El efecto de la intervención es significativamente mayor (TAR>TOM) en ambos grupos
 - v. TOM+TAR en sinergia optimizan hasta en un 50% los resultados sensoriomotores a los 6 meses.
 - vi. TOM+TAR en sinergia produce cambios significativos en las AVD a los 6 meses en ambos grupos
 - vii. TOM o TAR producen cambios significativos en las AVD a los 3 meses
- b. En relación al factor *ad hoc* que investigaba la lateralidad de la lesión y sus procesos de cognición asociados (HI vs HD) en línea base:
- i. El perfil de recuperación es el mismo (HI=HD)
 - ii. HI y HD se benefician de la intervención basada en TOM
 - iii. HI y HD se benefician de la intervención basada en TAR
 - iv. El efecto de la intervención es discretamente mayor en ambos grupos para la robótica (TAR>TOM), aunque no significativo
 - v. TOM+TAR en sinergia optimizan hasta en un 40% los resultados sensoriomotores a los 6 meses.
 - vi. TOM+TAR en sinergia produce cambios significativos en las AVD a los 6 meses en ambos grupos
 - vii. TOM o TAR producen cambios significativos en las AVD a los 3 meses

- c. Existen diferencias estadísticamente muy significativas en relación al grupo control de sujetos voluntarios sanos ($p < .001$), en las medidas biomecánicas del robot de mano (AM, FF, FE), en las pruebas sensoriomotoras del miembro superior (FMUL, BBT, NHPT) y en la medida funcional AMPS.
- D) Las medidas de evaluación cinéticas y cinemáticas del robot de mano permiten la creación del modelo predictivo AMADEUS-Global y de sus submodelos Amadeus-A y Amadeus-B, que permiten pronosticar la recuperación sensoriomotora y funcional de la mano a los 3 y 6 meses de rehabilitación, respectivamente.
- a. El efecto intra-sesión de la primera intervención es variable predictiva
 - b. Las medidas cinéticas FF y FE del robot de mano contribuyen a predecir el comportamiento de las variables criterio de resultados sensoriomotores y funcionales
 - c. La medida cinemática AM del robot de mano contribuye a predecir el comportamiento de la variable criterio de resultados funcionales
- E) El abordaje puramente distal de la mano neurológica es efectivo, migrando parcialmente las mejoras a nivel medio y proximal del miembro superior.
- F) Los modelos ROBHAND2015 e IS-BRAIN 2020 son válidos para planificar la intervención en personas con ictus en fase subaguda

REFERENCIAS

1. Broeks JG, Lankhorst GJ, Rumping K, Prevo AJH. The long-term outcome of arm function after stroke: Results of a follow-up study. *Disabil Rehabil.* 1999;21(8):357–64.
2. Kwakkel G, Boudewjin K, Krebs HI. Effects of Robot-assisted therapy on upper limb recovery after stroke: A Systematic Review. *IEEE Int Conf Rehabil Robot.* 2013;7(1).
3. Hwang CH, Seong JW, Son D-S. Individual finger synchronized robot-assisted hand rehabilitation in subacute to chronic stroke: a prospective randomized clinical trial of efficacy. *Clin Rehabil* [Internet]. 2012 Aug 19;26(8):696–704. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0269215511431473>
4. de Noreña Martínez D, Arias Calderón C, González de Antonio M, Serrano López- Terradas P, Solorzano Menéndez MC. Caso clínico desde un enfoque multidisciplinar. In: Ed. Síntesis, editor. In González, B (coord) *Daño Cerebral Adquirido Ed Síntesis* [Internet]. 1st ed. Madrid, España; 2012. p. 341–74. Available from: <http://www.sintesis.com>
5. Cunha BP, de Freitas SMSF, de Freitas PB. Assessment of the Ipsilesional Hand Function in Stroke Survivors: The Effect of Lesion Side. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2017;26(7).
6. Heydrich L, Blanke O. Distinct illusory own-body perceptions caused by damage to posterior insula and extrastriate cortex. *Brain.* 2013;136(3).
7. Jenkinson, PM, Fotopoulou A. Understanding Babinski’s anosognosia: 100 years later. *Cortex.* 2014;61:1–4.
8. Jenkinson PM, Edelstyn NMJ, Drakeford JL, Roffe C, Ellis SJ. The Role of Reality Monitoring in Anosognosia for Hemiplegia. *Behav Neurol.* 2010;23(4):241–3.
9. Besharati S, Forkel SJ, Kopelman M, Solms M, Jenkinson PM, Fotopoulou A. Corrigendum to “The affective modulation of motor awareness in anosognosia for hemiplegia: Behavioural and lesion evidence” [*Cortex*, 61, (2014), 127-140], DOI: 10.1016/j.cortex.2014.08.016. Vol. 66, *Cortex*. Masson SpA; 2015. p. 176.
10. Jehkonen M, Laihosalo M, Kettunen J. Anosognosia after stroke: Assessment, occurrence, subtypes and impact on functional outcome reviewed. Vol. 114, *Acta Neurologica Scandinavica.* 2006.
11. Noé E, Ferri J, Caballero MC, Villodre R, Sanchez A, Chirivella J. Self-awareness after acquired brain injury: Predictors and rehabilitation. *J Neurol.* 2005;252(2).
12. Vossel S, Weiss PH, Eschenbeck P, Fink GR. Anosognosia, neglect, extinction and lesion site predict impairment of daily living after right-hemispheric stroke. *Cortex.* 2013;49(7).
13. Ronchi R, Bolognini N, Gallucci M, Chiapella L, Algeri L, Spada MS, et al. (Un)awareness of unilateral spatial neglect: A quantitative evaluation of performance in visuo-spatial tasks. *Cortex.* 2014;61.

14. Spalletta G, Serra L, Fadda L, Ripa A, Bria P, Caltagirone C. Unawareness of motor impairment and emotions in right hemispheric stroke: A preliminary investigation. *Int J Geriatr Psychiatry*. 2007;22(12).
15. Kerkhoff G, Bucher L, Brasse M, Leonhart E, Holzgraefe M, Völzke V, et al. Smooth pursuit “bedside” training reduces disability and unawareness during the activities of daily living in Neglect: A randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair*. 2014;28(6).
16. Gialanella B, Monguzzi V, Santoro R, Rocchi S. Functional recovery after hemiplegia in patients with neglect: The rehabilitative role of anosognosia. *Stroke*. 2005;36(12).
17. Beschin N, Cocchini G, Allen R, Sala S Della. Anosognosia and neglect respond differently to the same treatments. *Neuropsychol Rehabil*. 2012;22(4).
18. Appelros P, Karlsson GM, Hennerdal S. Anosognosia versus unilateral neglect. Coexistence and their relations to age, stroke severity, lesion site and cognition. *Eur J Neurol*. 2007;14(1).
19. Jang SH, Seo JP. Limb-kinetic apraxia in a patient with mild traumatic brain injury. *Med (United States)*. 2017;96(51).
20. Buchmann I, Dangel M, Finkel L, Jung R, Makhkamova I, Binder A, et al. Limb apraxia profiles in different clinical samples. *Clin Neuropsychol*. 2020;34(1).
21. Choi EB, Kim JY, Jang SH. Motor recovery of hemiparetic leg by improvement of limb-kinetic apraxia in a chronic patient with traumatic brain injury: A case report. *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(19).
22. Shriberg LD, Strand EA, Jakielski KJ, Mabile HL. Estimates of the prevalence of speech and motor speech disorders in persons with complex neurodevelopmental disorders. *Clin Linguist Phonetics*. 2019;33(8).
23. McKenna C, Thakur U, Marcus B, Barrett AM. Assessing limb apraxia in traumatic brain injury and spinal cord injury. *Front Biosci - Sch*. 2013;5 S(2).
24. Falchook AD, Porges EC, Nadeau SE, Leon SA, Williamson JB, Heilman KM. Cognitive-motor dysfunction after severe traumatic brain injury: A cerebral interhemispheric disconnection syndrome. *J Clin Exp Neuropsychol*. 2015;37(10).
25. Brugger F, Galovic M, Weder BJ, Kägi G. Supplementary motor complex and disturbed motor control - A retrospective clinical and lesion analysis of patients after anterior cerebral artery stroke. *Front Neurol*. 2015;6(OCT):1–12.
26. Ridley B, Beltramone M, Wirsich J, Le Troter A, Tramoni E, Aubert S, et al. Alien hand, restless brain: Salience network and interhemispheric connectivity disruption parallel emergence and extinction of diagonistic dyspraxia. *Front Hum Neurosci*. 2016;10(June):1–9.
27. Alfaro A, Bernabeu Á, Badesa FJ, García N, Fernández E. When playing is a problem: An atypical case of alien hand syndrome in a professional pianist. *Front Hum Neurosci*. 2017;11(April):1–6.
28. Gao X, Li B, Chu W, Sun X, Sun C. Alien hand syndrome following corpus

- callosum infarction: A case report and review of the literature. *Exp Ther Med*. 2016;12(4):2129–35.
29. McBride J, Sumner P, Jackson SR, Bajaj N, Husain M. Exaggerated object affordance and absent automatic inhibition in alien hand syndrome. *Cortex* [Internet]. 2013;49(8):2040–54. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2013.01.004>
 30. Olszewska DA, McCarthy A, Murray B, Magennis B, Connolly S, Lynch T. A wolf in sheep's clothing: An “alien leg” in corticobasal syndrome. *Tremor and Other Hyperkinetic Movements*. 2017;7.
 31. Kahn MB, Mentiplay BF, Clark RA, Bower KJ, Williams G. Methods of assessing associated reactions of the upper limb in stroke and traumatic brain injury: A systematic review. Vol. 30, *Brain Injury*. 2016.
 32. Serrano PA, Criado T, Aranda V, Fernández-Pinedo N, Riendas A, Sevilla MM, et al. Robotics and Virtual Reality Exer-Games for the Neurorehabilitation of Children and Adults with Traumatic Brain Injury: The IS-BRAIN Model. In: *Engineering Biomaterials for Neural Applications*. Springer International Publishing; 2022. p. 243–76.
 33. Mollayeva T, Xiong C, Hanafy S, Chan V, Hu ZJ, Sutton M, et al. Comorbidity and outcomes in traumatic brain injury: Protocol for a systematic review on functional status and risk of death. *BMJ Open*. 2017;7(10).
 34. Hanafi MH. Acute rehabilitation in traumatic brain injury. Vol. 24, *Malaysian Journal of Medical Sciences*. 2017.
 35. Flanagan S, Cantor J, Ashman T. Traumatic brain injury: Future assessment tools and treatment prospects. Vol. 4, *Neuropsychiatric Disease and Treatment*. 2008.
 36. Serrano López-Terradas PA, Moya Rosendo D, Ríos Lago M. Hand Functional Recovery in Sub-acute Brain Injury Stage Patients using AMADEO® Robotic-assisted Therapy A Pilot Clinical Study with Apraxic and Neglect Patients. In: Rita Londral A, Encarnação P, Pons J, editors. *NEUROTECHNIX 2013 - International Congress on Neurotechnology, Electronics and Informatics (Special Session on Virtual and Augmented Reality for Upper Limbs Rehabilitation)* [Internet]. Vilamoura, Algarve, Portugal: SCITEPRESS – Science and Technology Publications & SCITEPRESS Digital Library; 2013. p. Short paper number 6, pp.1–4. Available from: <http://www.neurotechnix.org>
 37. Marklund N, Bellander BM, Godbolt AK, Levin H, McCrory P, Thelin EP. Treatments and rehabilitation in the acute and chronic state of traumatic brain injury. *J Intern Med*. 2019;285(6).
 38. Seel RT, Sherer M, Whyte J, Katz DI, Giacino JT, Rosenbaum AM, et al. Assessment scales for disorders of consciousness: Evidence-based recommendations for clinical practice and research. In: *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2010.
 39. Thomas C. Low awareness conditions: Their assessment and treatment. *Pract Neuropsychol Rehabil Acquir brain Inj A Guid Work Clin*. 2013;
 40. Chatelle C, Schnakers C, Bruno MA, Gosseries O, Laureys S, Vanhaudenhuyse

- A. The Sensory Modality Assessment and Rehabilitation Technique (SMART): A behavioral assessment scale for disorders of consciousness. *Rev Neurol (Paris)*. 2010;166(8–9).
41. Gill-Thwaites H. The Sensory Modality Assessment Rehabilitation Technique - A tool for assessment and treatment of patients with severe brain injury in a vegetative state. *Brain Inj*. 1997;11(10).
 42. Gill-Thwaites H, Munday R. The Sensory Modality Assessment and Rehabilitation Technique (SMART): A comprehensive and integrated assessment and treatment protocol for the vegetative state and minimally responsive patient. *Neuropsychol Rehabil*. 1999;9(3–4).
 43. Wilson SL, Gill-Thwaites H. Early indication of emergence from vegetative state derived from assessments with the SMART - A preliminary report. *Brain Inj*. 2000;14(4).
 44. Gill-Thwaites H, Munday R. The sensory modality assessment and rehabilitation technique (SMART): A valid and reliable assessment for vegetative state and minimally conscious state patients. *Brain Inj*. 2004;18(12).
 45. Kempny A, Da Teixeira L, Gill-Thwaites H, Yelden K, Duport S, Playford D. What component of the sensory modality assessment and rehabilitation technique (SMART) is the best predictor of diagnosis? *Brain Inj*. 2012;26(4–5).
 46. Godbolt AK, Stenson S, Winberg M, Tengvar C. Disorders of consciousness: Preliminary data supports added value of extended behavioural assessment. *Brain Inj*. 2012;26(2).
 47. Serrano López-Terradas P, Cuéllar Requejo LA, Gill-Thwaites H. Técnica SMART para la evaluación y el tratamiento de personas con disfunción física y sensorial grave. In: Panamericana M, editor. In Polonio López, B *Terapia Ocupacional en disfunciones físicas: teoría y práctica [Internet]*. 2nd ed. Madrid, España; 2015. p. 295–309. Available from: <http://www.medicapanamericana.com>
 48. Garlick G. Assessment for disorders of consciousness - more than just a diagnostic tool?...College of Occupational Therapists Conference, June 28-30, 2016. *Br J Occup Ther*. 2016;79.
 49. Tennant A, Gill-Thwaites H. A study of the internal construct and predictive validity of the SMART assessment for emergence from vegetative state. *Brain Inj*. 2017;31(2).
 50. da Conceição Teixeira L, Gill-Thwaites H, Reynolds F, Duport S. Can behavioural observations made during the SMART assessment detect the potential for later emergence from vegetative state? *Neuropsychol Rehabil*. 2018;28(8).
 51. Gill-Thwaites H, Elliott KE, Munday R. SMART–Recognising the value of existing practice and introducing recent developments: leaving no stone unturned in the assessment and treatment of the PDOC patient. *Neuropsychol Rehabil*. 2018;28(8).
 52. Morrissey AM, Gill-Thwaites H, Wilson B, Leonard R, McLellan L, Pundole A, et al. The role of the SMART and WHIM in behavioural assessment of disorders

- of consciousness: clinical utility and scope for a symbiotic relationship. *Neuropsychol Rehabil.* 2018;28(8).
53. Serrano López-Terradas P. Terapia Ocupacional en los Desórdenes de Conciencia. *RETOCYL-Revista of Ter Ocup del Col Of Ter Ocup of Castilla-León (COPTOCYL)* [Internet]. 2010;Marzo(0):22–33. Available from: www.aptocyl.com
 54. Billeri L, Naro A, Leo A, Galletti B, Tomasello P, Manuli A, et al. Looking toward predicting functional recovery in disorders of consciousness: can sensorimotor integration help us? *Brain Inj.* 2019;33(3).
 55. Maggio MG, Naro A, La Rosa G, Cambria A, Lauria P, Billeri L, et al. Virtual reality based cognitive rehabilitation in minimally conscious state: A case report with EEG findings and systematic literature review. Vol. 10, *Brain Sciences.* 2020.
 56. Carmeli E, Peleg S, Bartur G, Elbo E, Vatine J-J. HandTutor™ enhanced hand rehabilitation after stroke - a pilot study. *Physiother Res Int* [Internet]. 2011 Dec;16(4):191–200. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/pri.485>
 57. Serrano-LópezTerradas P, Criado-Ferrer T, Andrés Balsera L, Ramírez M, Cobollo N. Terapia asistida por robot y neurorrehabilitación de la mano y el equilibrio: Evidencia y Experiencia Clínica con AMADEO© y TYMO©. *RETOCYL-Revista Of Ter Ocup del Col Of Ter Castilla-León (COPTOCYL)* [Internet]. 2014;December(5):4–7. Available from: <http://www.terapeutas-ocupacionales.es/coptocyl/documentos/reTOcyl>
 58. Mendigutía A, Criado T, Andrés L, Serrano P, Fernández P, Oliva P, et al. Virtual reality: Immediate effect in the improvement of the balance. In: *NEUROTECHNIX 2014 - Proceedings of the 2nd International Congress on Neurotechnology, Electronics and Informatics.* 2014.
 59. NCT02975804, Net, NCT02975804. RCT on Interactive Computer Play on Trunk Control in CP. <https://clinicaltrials.gov/show/NCT02975804>. 2016;
 60. Bennett S, McKenna K, McCluskey A, Tooth L, Hoffmann T, Strong J. Evidence for occupational therapy interventions: Effectiveness research indexed in the OTseeker database. *Br J Occup Ther.* 2007;70(10):426–30.
 61. Case-Smith J. Building the evidence for occupational therapy interventions. Vol. 28, *OTJR Occupation, Participation and Health.* 2008. p. 98–9.
 62. Varas Diaz G. Effect of Cognitive, Impairment-Oriented and Task-Specific Interventions on Balance and Locomotion Control [Internet]. ProQuest Dissertations and Theses. University of Illinois at Chicago; 2021. Available from: <http://login.ezproxy.lib.umn.edu/login?url=https://www.proquest.com/dissertations-theses/effect-cognitive-impairment-oriented-task/docview/2557585155/se-2?accountid=14586>
 63. Horak FB, Henry SM, Shumway-Cook A. Postural perturbations: New insights for treatment of balance disorders. Vol. 77, *Physical Therapy.* 1997.
 64. Díaz-Arribas MJ, Martín-Casas P, Cano-de-la-Cuerda R, Plaza-Manzano G.

- Effectiveness of the Bobath concept in the treatment of stroke: a systematic review. Vol. 42, Disability and Rehabilitation. 2020.
65. Hardwick R, Caspers S, Eickhoff S, Swinnen S. Neural correlates of action: Comparing meta-analyses of imaginery, observation, and execution. *Neurosci Biobehav Rev.* 2018;Nov(94):31–44.
 66. De Diego C, Puig S, Navarro X. A sensorimotor stimulation program for rehabilitation of chronic stroke patients. *Restor Neurol Neurosci.* 2013;31(4).
 67. Emerson JR, Binks JA, Scott MW, Ryan RP, Eaves DL. Combined action observation and motor imagery therapy: A novel method for post-stroke motor rehabilitation. *AIMS Neurosci.* 2018;5(4).
 68. Sun Y, Wei W, Luo Z, Gan H, Hu X. Improving motor imagery practice with synchronous action observation in stroke patients. *Top Stroke Rehabil.* 2016;23(4).
 69. Balconi M, Crivelli D, Cortesi L. Transitive Versus Intransitive Complex Gesture Representation: A Comparison Between Execution, Observation and Imagination by fNIRS. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2017;42(3).
 70. Errante A, Saviola D, Cantoni M, Iannuzzelli K, Ziccarelli S, Togni F, et al. Effectiveness of action observation therapy based on virtual reality technology in the motor rehabilitation of paretic stroke patients: a randomized clinical trial. *BMC Neurol.* 2022;22(1).
 71. Anandan AD, Selvaraj SK, Regan R, Subramanian SS, Neelam S, Gaowgeh RAM. Efficacy of Action Observation for Upper Limb Motor Deficit in Acute Stroke Participants. *J Pharm Res Int.* 2021;
 72. Zhu JD, Cheng CH, Tseng YJ, Chou CC, Chen CC, Hsieh YW, et al. Modulation of Motor Cortical Activities by Action Observation and Execution in Patients with Stroke: An MEG Study. *Neural Plast.* 2019;2019.
 73. Kim J, Lee B, Lee HS, Shin KH, Kim MJ, Son E. Differences in brain waves of normal persons and stroke patients during action observation and motor imagery. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(2).
 74. Zhu MH, Wang J, Gu XD, Shi MF, Zeng M, Wang CY, et al. Effect of action observation therapy on daily activities and motor recovery in stroke patients. *Int J Nurs Sci.* 2015;2(3).
 75. Tani M, Ono Y, Matsubara M, Ohmatsu S, Yukawa Y, Kohno M, et al. Action observation facilitates motor cortical activity in patients with stroke and hemiplegia. *Neurosci Res.* 2018;133.
 76. Buccino G. Action observation treatment: a novel tool in neurorehabilitation. *Philos Trans R Soc B Biol Sci [Internet].* 2014 Jun 5;369(1644):20130185. Available from: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2013.0185>
 77. Zeng W, Guo Y, Wu G, Liu X, Fang Q. Mirror therapy for motor function of the upper extremity in patients with stroke: A meta-analysis. *J Rehabil Med [Internet].* 2018;50(1):8–15. Available from: <https://www.medicaljournals.se/jrm/content/abstract/10.2340/16501977-2287>

78. Abedi S, Akbarfahimi N. The Effect of Modified Constraint-Induced Movement Therapy on Upper Extremity Function of a Patient With Severe Acquired Brain Injury. *J Rehabil.* 2020;
79. van der Lee JH, Wagenaar RC, Lankhorst GJ, Vogelaar TW, Devillé WL, Bouter LM. Forced Use of the Upper Extremity in Chronic Stroke Patients. *Stroke.* 1999;30(11).
80. Abdollahi F, Corrigan M, Lazzaro EDC, Kenyon R V., Patton JL. Error-augmented bimanual therapy for stroke survivors. *NeuroRehabilitation.* 2018;43(1).
81. Lee S, Bae S, Jeon D, Kim KY. The effects of cognitive exercise therapy on chronic stroke patients' upper limb functions, activities of daily living and quality of life. *J Phys Ther Sci.* 2015;27(9).
82. Ranzani R, Lambercy O, Metzger JC, Califfi A, Regazzi S, Dinacci D, et al. Neurocognitive robot-assisted rehabilitation of hand function: A randomized control trial on motor recovery in subacute stroke. *J Neuroeng Rehabil.* 2020;17(1).
83. Lo WLA, Mao YR, Li L, Lin AH, Zhao JL, Chen L, et al. Prospective clinical study of rehabilitation interventions with multisensory interactive training in patients with cerebral infarction: Study protocol for a randomised controlled trial. *Trials.* 2017;18(1).
84. K. B. Effectiveness of rood's approach on spasticity in post-intracerebral haemorrhagic patients in Guwahati, Assam. *Int J Stroke.* 2016;11(Supplement 3).
85. Bastier-David A, Boyer F, Belassian G, Potet A. Hand splints and spasticity in hemiplegic patients. *Ann Phys Rehabil Med.* 2011;54.
86. Cini A, De Vasconcelos GS, Soligo MC, Felappi C, Rodrigues R, Aurélio Vaz M, et al. Comparison between 4 weeks passive static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation programmes on neuromuscular properties of hamstring muscles: A randomised clinical trial. *Int J Ther Rehabil.* 2020;27(3).
87. Yuli Yanti RI, Aktifah N. Gambaran Activity Daily Living Pada Pasien Pasca Stroke Non Hemoragic Setelah Pemberian Propioceptive Neuromuscular Facilitation : Literature Review. *Pros Semin Nas Kesehat.* 2021;1.
88. Pan B, Sun Y, Xie B, Huang Z, Wu J, Hou J, et al. Alterations of muscle synergies during voluntary arm reaching movement in subacute stroke survivors at different levels of impairment. *Front Comput Neurosci.* 2018;12.
89. Huang CY, Lin GH, Huang YJ, Song CY, Lee YC, How MJ, et al. Improving the utility of the Brunnstrom recovery stages in patients with stroke: Validation and quantification. *Med (United States).* 2016;95(31).
90. Sakai K, Ikeda Y. Clinical assessment of motor imagery and physical function in mild stroke patients. *J Phys Ther Sci.* 2019;31(12).
91. Folkerts MA, Hijmans JM, Elsinghorst AL, Mulderij Y, Murgia A, Dekker R. Effectiveness and feasibility of eccentric and task-oriented strength training in individuals with stroke. *NeuroRehabilitation.* 2017;40(4).

92. Sabbah A, El Mously S, Elgendy HHM, Farag MAAE, Elwishy AAB. Functional outcome of joint mobilization added to task-oriented training on hand function in chronic stroke patients. *Egypt J Neurol Psychiatry Neurosurg.* 2020;56(1).
93. Wattochow KA, McDonnell MN, Hillier SL. Rehabilitation Interventions for Upper Limb Function in the First Four Weeks Following Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis of the Evidence. *Arch Phys Med Rehabil [Internet].* 2018;99(2):367–82. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2017.06.014>
94. Subramanian S, Fountain M, Hood A. Interventions to augment upper extremity motor improvement in individuals with a traumatic brain injury: A systematic review. *Neurorehabil Neural Repair [Internet].* 2018;32(12):1110–1. Available from: <https://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&id=L625968088&from=export>
95. Roe C, Tverdal CB, Howe EI, Andelic N. Effective rehabilitation services in the post-acute phase of moderate and severe traumatic brain injury. *Ann Phys Rehabil Med.* 2018;61.
96. Serrano-LópezTerradas P, Oliva-Navarrete P, Moreno-Barbás J. Terapia asistida por robot con Amadeo para la rehabilitación de la mano. In: *Medica Panamericana, editor. Terapia ocupacional en las disfunciones físicas: teoría y práctica.* 2nd ed. Madrid. España; 2015. p. 449–57.
97. Basteris A, Amirabdollahian F, Nijenhuis S, Buurke J, Prange G, Stienen A. Training modalities in robot-mediated upper limb rehabilitation in stroke: A framework for classification based on a systematic review. *J Neuroeng Rehabil [Internet].* 2014;11(1):1–15. Available from: [http://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-0003-11-111%0Ahttp://europepmc.org/search?query=\(DOI:10.1186/1743-0003-11-111\)](http://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-0003-11-111%0Ahttp://europepmc.org/search?query=(DOI:10.1186/1743-0003-11-111))
98. Debert CT, Herter TM, Scott SH, Dukelow S. Robotic assessment of sensorimotor deficits after traumatic brain injury. *J Neurol Phys Ther.* 2012;36(2).
99. Mehrholz J, Pohl M, Platz T, Kugler J, Elsner B. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2018.
100. Archambault PS, Norouzi-Gheidari N, Kairy D, Levin MF, Milot MH, Monte-Silva K, et al. Upper extremity intervention for stroke combining virtual reality, robotics and electrical stimulation. In: *International Conference on Virtual Rehabilitation, ICVR.* 2019.
101. Norouzi-Gheidari N, Archambault P, Fung J. Effects of robot-assisted therapy on stroke rehabilitation in upper limbs: Systematic review and meta-analysis of the literature. *J Rehabil Res Dev.* 2012;49(4).
102. Tay EL, Lee SWH, Yong GH, Wong CP. A systematic review and meta-analysis of the efficacy of custom game based virtual rehabilitation in improving physical functioning of patients with acquired brain injury. Vol. 30, *Technology and Disability.* 2018.

103. Wattochow KA, McDonnell MN, Hillier SL. Rehabilitation Interventions for Upper Limb Function in the First Four Weeks Following Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis of the Evidence. Vol. 99, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. W.B. Saunders; 2018. p. 367–82.
104. Rahman HA, Yeong CF, Khor KX, Su ELM. Important parameters for hand function assessment of stroke patients. *Telkomnika (Telecommunication Comput Electron Control.* 2017;15(4).
105. Eraifej J, Clark W, France B, Desando S, Moore D. Effectiveness of upper limb functional electrical stimulation after stroke for the improvement of activities of daily living and motor function: A systematic review and meta-analysis. *Syst Rev.* 2017;6(1).
106. McCreary JK, Rogers JA, Forwell SJ. Upper limb intention tremor in multiple sclerosis: An evidence-based review of assessment and treatment. *Int J MS Care.* 2018;20(5).
107. Burridge J, Murphy MA, Buurke J, Feys P, Keller T, Klamroth-Marganska V, et al. A systematic review of international clinical guidelines for rehabilitation of people with neurological conditions: What recommendations are made for upperlimb assessment? Vol. 10, *Frontiers in Neurology.* 2019.
108. Kelly G, Moys R, Burrough M, Hyde S, Randall S, Wales L. Rehabilitation in practice: improving delivery of upper limb rehabilitation for children and young people with acquired brain injuries through the development and implementation of a clinical pathway. *Disabil Rehabil.* 2020;
109. Rehabilitation Medicine-University of Gothenburg.The Fugl-Meyer Upper Extremity (FMA-UE) Assessment of sensorimotor function *Scand J Rehabil Med.* 2019;(max 36), 2-4.
110. Van Der Lee JH, Beckerman H, Lankhorst GJ, Bouter LM. The responsiveness of the Action Research Arm test and the Fugl-Meyer Assessment scale in chronic stroke patients. *J Rehabil Med.* 2001;33(3).
111. Gladstone DJ, Danells CJ, Black SE. The fugl-meyer assessment of motor recovery after stroke a critical review of its measurement properties. - *Neurorehabilitation and neural repair - 2002 - Gladstone, Danells, Black.pdf.* *Neurorehabil Neural Repair.* 2002;16.
112. Chae J, Labatia I, Yang G. Upper limb motor function in hemiparesis: Concurrent validity of the Arm Motor Ability Test. *Am J Phys Med Rehabil.* 2003;82(1).
113. Poole JL, Whitney SL. Physical & Occupational Therapy In Geriatrics Assessments of Motor Function Post Stroke Assessments of Motor Function Post Stroke: A Review. *Phys Occup Ther Geriatr.* 2001;19(2).
114. Hsieh YW, Hsueh IP, Chou YT, Sheu CF, Hsieh CL, Kwakkel G. Development and validation of a short form of the Fugl-Meyer motor scale in patients with stroke. *Stroke.* 2007;38(11).
115. Crow JL, Harmeling-Van Der Wel BC. Hierarchical properties of the motor function sections of the Fugl-Meyer assessment scale for people after stroke: A

- retrospective study. *Phys Ther.* 2008;88(12).
116. McKenzie AL, Der Yeghiaian L, See J, Nguyen D, Le V, Cramer SC. Predicting and detecting arm motor gains in a trial of robotic therapy. *Stroke.* 2011;42(3).
 117. Wei XJ, Tong KY, Hu XL. The responsiveness and correlation between Fugl-Meyer Assessment, Motor Status Scale, and the Action Research Arm Test in chronic stroke with upper-extremity rehabilitation robotic training. *Int J Rehabil Res.* 2011;34(4).
 118. Alt Murphy M, Willén C, Sunnerhagen KS. Relationships between kinematics of upper extremity movements and impairment severity as well activity limitations after stroke. *Physiother (United Kingdom).* 2011;97.
 119. Higgins J, Mayo NE, Desrosiers J, Salbach NM, Ahmed S. Upper-limb function and recovery in the acute phase poststroke. *J Rehabil Res Dev.* 2005;42(1).
 120. Mathiowetz V, Volland G, Kashman N, Weber K. Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *Am J Occup Ther Off Publ Am Occup Ther Assoc.* 1985;39(6).
 121. Sullivan JE, Crouner BE, Kluding PM, Nichols D, Rose DK, Yoshida R, et al. Outcome measures for individuals with stroke: Process and recommendations from the American physical therapy association neurology section task force. Vol. 93, *Physical Therapy.* 2013.
 122. Desrosiers J, Bravo G, Hébert R, Dutil É, Mercier L. Validation of the Box and Block Test as a measure of dexterity of elderly people: Reliability, validity, and norms studies. *Arch Phys Med Rehabil.* 1994;75(7).
 123. Lin KC, Chuang LL, Wu CY, Hsieh YW, Chang WY. Responsiveness and validity of three dexterous function measures in stroke rehabilitation. *J Rehabil Res Dev.* 2010;47(6).
 124. Platz T, Pinkowski C, van Wijck F, Kim IH, di Bella P, Johnson G. Reliability and validity of arm function assessment with standardized guidelines for the Fugl-Meyer Test, Action Research Arm Test and Box and Block Test: A multicentre study. *Clin Rehabil.* 2005;19(4).
 125. Grice KO, Vogel KA, Le V, Mitchell A, Muniz S, Vollmer MA. Adult norms for a commercially available nine hole peg test for finger dexterity. *Am J Occup Ther.* 2003;57(5).
 126. Mathiowetz V, Weber K, Kashman N, Volland G. Adult norms for the nine hole peg test of finger dexterity. *Occup Ther J Res.* 1985;5(1).
 127. Kellor M, Frost J, Silberberg N, Iversen I, Cummings R. Hand strength and dexterity. *Am J Occup Ther Off Publ Am Occup Ther Assoc.* 1971;25(2).
 128. Jacob-Lloyd HA, Dunn OM, Brain ND, Lamb SE. Effective measurement of the functional progress of stroke clients. *Br J Occup Ther.* 2005;68(6).
 129. Sommerfeld DK, Eek EUB, Svensson AK, Holmqvist LW, Von Arbin MH. Spasticity after Stroke: Its Occurrence and Association with Motor Impairments and Activity Limitations. *Stroke.* 2004;35(1).
 130. Turtle B, Porter-Armstrong A, Stinson M. A systematic review of the application

- and psychometric properties of the graded Wolf Motor Function Test. Vol. 83, British Journal of Occupational Therapy. 2020.
131. Wolf SL, Catlin PA, Ellis M, Archer AL, Morgan B, Piacentino A. Assessing Wolf Motor Function Test as outcome measure for research in patients after stroke. *Stroke*. 2001;32(7).
 132. Wolf SL, Thompson PA, Morris DM, Rose DK, Winstein CJ, Taub E, et al. The EXCITE trial: Attributes of the Wolf Motor Function Test in patients with subacute stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2005;19(3).
 133. Whitall J, Savin DN, Harris-Love M, Waller SMC. Psychometric Properties of a Modified Wolf Motor Function Test for People With Mild and Moderate Upper-Extremity Hemiparesis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006;87(5).
 134. Lyle RC. A performance test for assessment of upper limb function in physical rehabilitation treatment and research. *Int J Rehabil Res*. 1981;4(4).
 135. Behrendt F, Schuster-Amft C. Using an interactive virtual environment to integrate a digital Action Research Arm Test, motor imagery and action observation to assess and improve upper limb motor function in patients with neuromuscular impairments: A usability and feasibility study protocol. *BMJ Open*. 2018;8(7).
 136. Pike S, Lannin NA, Wales K, Cusick A. A systematic review of the psychometric properties of the Action Research Arm Test in neurorehabilitation. *Aust Occup Ther J*. 2018;65(5).
 137. Poole JL, Whitney SL. Motor Assessment Scale for stroke patients: Concurrent validity and interrater reliability. *Arch Phys Med Rehabil*. 1988;69:195–7.
 138. Sığırtmaç İC, Öksüz Ç. Investigation of reliability, validity, and cutoff value of the Jebsen-Taylor Hand Function Test. *J Hand Ther*. 2021;34(3).
 139. Araneda R, Ebner-Karestinis D, Paradis J, Saussez G, Friel KM, Gordon AM, et al. Reliability and responsiveness of the Jebsen-Taylor Test of Hand Function and the Box and Block Test for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2019;61(10).
 140. Jebsen RH, Taylor N, Trieschmann RB, Trotter MJ, Howard LA. An objective and standardized test of hand function. *Arch Phys Med Rehabil*. 1969;50(6).
 141. Hummel F, Celnik P, Giroux P, Floel A, Wu WH, Gerloff C, et al. Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke. *Brain*. 2005;128(3).
 142. Escalona D, Naranjo O, Lagos S, Solís FF. Parámetros de normalidad en fuerzas de presión de mano en sujetos de ambos sexos de 7 a 17 años de edad. ; *Rev Chil pediatría*. 80(5).
 143. Shin H, Moon SW, Kim GS, Park JD, Kim JH, Jung MJ, et al. Reliability of the pinch strength with digitalized pinch dynamometer. *Ann Rehabil Med*. 2012;36(3).
 144. Bustos-Viviescas BJ, Acevedo-Mindiola AA, Lozano-Zapata RE. Valores de fuerza prensil de mano en sujetos aparentemente sanos de la ciudad de Cúcuta,

Colombia. *MedUNAB*. 2019;21(3).

145. Nordin N, Xie SQ, Wünsche B. Assessment of movement quality in robot-Assisted upper limb rehabilitation after stroke: A review. Vol. 11, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2014.
146. Ustinova KI, Chernikova LA, Dull A, Perkins J. Physical therapy for correcting postural and coordination deficits in patients with mild-to-moderate traumatic brain injury. *Physiother Theory Pract*. 2015;31(1).
147. Kahn MB, Clark R, Bower K, Mentiplay B, Williams G. Measurements scales for associated reactions of the upper limb in stroke and traumatic brain injury (TBI): a systematic review. *Physiotherapy*. 2015;101.
148. De-La-torre R, Oña ED, Balaguer C, Jardón A. Robot-aided systems for improving the assessment of upper limb spasticity: A systematic review. Vol. 20, *Sensors (Switzerland)*. 2020.
149. Hudak PL, Amadio PC, Bombardier C. Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) [corrected]. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG). *Am J Ind Med*. 1996;29(6).
150. Angst F. Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Questionnaire (DASH). In: *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research*. 2014.
151. Veehof MM, Slegers EJA, Van Veldhoven NHMJ, Schuurman AH, Van Meeteren NLU. Psychometric qualities of the Dutch language version of the disabilities of the arm, shoulder, and hand questionnaire (DASH-DLV). *J Hand Ther*. 2002;15(4).
152. Atroshi I, Gummesson C, Andersson B, Dahlgren E, Johansson A. The disabilities of the arm, shoulder and hand (DASH) outcome questionnaire: Reliability and validity of the Swedish version evaluated in 176 patients. *Acta Orthop Scand*. 2000;71(6).
153. Beaton DE, Katz JN, Fossel AH, Wright JG, Tarasuk V, Bombardier C. Measuring the whole or the parts? Validity, reliability, and responsiveness of the disabilities of the arm, shoulder and hand outcome measure in different regions of the upper extremity. *J Hand Ther*. 2001;14(2).
154. Lozano-Berrio V, Alcobendas-Maestro M, Polonio-López B, Gil-Agudo A, de la Peña-González A, de los Reyes-Guzmán A. The Impact of Robotic Therapy on the Self-Perception of Upper Limb Function in Cervical Spinal Cord Injury: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Heal* [Internet]. 2022;19. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijerph19106321>
155. Galvin J, Catroppa C, McDonald R, Anderson V. Does intervention using virtual reality improve upper limb function in children with neurological impairment? *Brain Inj*. 2014;28(5–6).
156. Rizzo AA, Buckwalter JG, Bowerly T, Van Der Zaag C, Humphrey L, Neumann U, et al. The virtual classroom: A virtual reality environment for the assessment and rehabilitation of attention deficits. In: *Cyberpsychology and Behavior*. 2000.
157. Barco A, Albo-Canals J, Garriga-Berga C, Vilasis-Cardona X, Callejón L, Turón

- M, et al. A drop-out rate in a long-term cognitive rehabilitation program through robotics aimed at children with TBI. In: IEEE RO-MAN 2014 - 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication: Human-Robot Co-Existence: Adaptive Interfaces and Systems for Daily Life, Therapy, Assistance and Socially Engaging Interactions. 2014.
158. Colegate J, Ward R, Valentine J. The robotic arm in activity based rehabilitation for children. *Dev Med Child Neurol.* 2016;58.
 159. Cesareo A, Beretta E, Biffi E, Strazzer S, Reni G. A comparative study among constraint, robot-aided and standard therapies in upper limb rehabilitation of children with acquired brain injury. In: IFMBE Proceedings. 2016.
 160. Beretta E, Cesareo A, Biffi E, Schafer C, Galbiati S, Strazzer S. Rehabilitation of upper limb in children with acquired brain injury: A preliminary comparative study. *J Healthc Eng.* 2018;2018.
 161. Cimolin V, Germiniasi C, Galli M, Condoluci C, Beretta E, Piccinini L. Robot-Assisted Upper Limb Training for Hemiplegic Children with Cerebral Palsy. *J Dev Phys Disabil.* 2019;31(1).
 162. Falzarano V, Marini F, Morasso P, Zenzeri J. Devices and Protocols for Upper Limb Robot-Assisted Rehabilitation of Children with Neuromotor Disorders. *Appl Sci* [Internet]. 2019 Jul 1;9(13):2689. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/13/2689>
 163. Medvedeva E, Olkhina E. Использование аппарата Hand Tutor в логопедической работе с детьми с дизартрией (Using the appliance Hand Tutor in speech therapy to children with dysarthria). *Перспективы науки и образования (Perspectives Sci Educ.* 2017;(6 (30)).
 164. Soto J. Realidad virtual y robótica para para reparar el cerebro tras una lesión. *ABC Salud Periódico ABC* [Internet]. 2019 Dec 14;3; 16–7; 32. Available from: abc.es/salud
 165. Serrano-Lopez-Terradas PA, Seco-Rubio R. Effectiveness of robotic therapy in the proximal and distal rehabilitation of the upper limb in patients after stroke using the Amadeo® and Armeo® devices: a systematic review of randomized clinical trials (Efectividad de la terapia robótica en la rehabilitación proximal y distal del miembro superior en personas tras un ictus con los dispositivos Amadeo® y Armeo®: una revisión sistemática de ensayos clínicos aleatorizados). *Estud Psicol.* 2022;43(1).
 166. Mazzoleni S, Duret C, Grosmaire AG, Battini E. Combining Upper Limb Robotic Rehabilitation with Other Therapeutic Approaches after Stroke: Current Status, Rationale, and Challenges. *Biomed Res Int* [Internet]. 2017;2017:1–11. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2017/8905637/>
 167. Bertani R, Melegari C, De Cola MC, Bramanti A, Bramanti P, Calabrò RS. Effects of robot-assisted upper limb rehabilitation in stroke patients: a systematic review with meta-analysis. *Neurol Sci.* 2017;38(9).
 168. Chien W tong, Chong Y yu, Tse M kei, Chien C woon, Cheng H yu. Robot-assisted therapy for upper-limb rehabilitation in subacute stroke patients: A systematic review and meta-analysis. Vol. 10, *Brain and Behavior.* 2020.

169. Carmeli E, Jacques Vatine J-, Peleg S, Bartur G, Elbo E. Upper limb rehabilitation using augmented feedback: Impairment focused augmented feedback with HandTutor. In: 2009 Virtual Rehabilitation International Conference [Internet]. IEEE; 2009. p. 220–220. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5174258/>
170. Rodríguez-Hernández M, Fernández-Panadero C, López-Martín O, Polonio-López B. Hand Rehabilitation after Chronic Brain Damage: Effectiveness, Usability and Acceptance of Technological Devices: A Pilot Study. In: Physical Disabilities - Therapeutic Implications [Internet]. InTech; 2017. Available from: <http://www.intechopen.com/books/physical-disabilities-therapeutic-implications/hand-rehabilitation-after-chronic-brain-damage-effectiveness-usability-and-acceptance-of-technologic>
171. Serrano López-Terradas P, Gonzalez A. Advanced synergic neurorehabilitation based on robotic and gamed systems with augmented feedback: functional improvements in activities of daily living. In: APTO, APETO (number 61), editors. I Congresso Iberico de Terapia Ocupacional [Internet]. Béja, Portugal; 2016. Available from: <https://dañocerebral.es/terapeutas-ocupacionales-de-la-red-menni-presentan-en-cito-2016-estudios-proprios-sobre-nuevas-tecnologias-en-rehabilitacion/>
172. Nica AS, Brailescu CM, Scarlet RG. Virtual reality as a method for evaluation and therapy after traumatic hand surgery. *Stud Health Technol Inform.* 2013;191.
173. Brăilescu C, Scarlet R, Nica A, Lascăr I. A study regarding the results of a rehabilitation program in patients with traumatic lesions of the hand after surgery. *Palestrica Third Millenn - Civiliz Sport.* 2013;
174. Seitz A, J R. Monitoring of Visuomotor Coordination in Healthy Subjects and Patients with Stroke and Parkinson’s Disease: An Application Study Using the PABLOR-Device. *Int J Neurorehabilitation* [Internet]. 2014;01(02):113. Available from: <http://www.omicsgroup.org/journals/monitoring-of-visuomotor-coordination-in-healthy-subjects-and-patients-2376-0281-1000113.php?aid=32013>
175. Brackenridge J, Bradnam L V., Lennon S, Costi JJ, Hobbs DA. A review of rehabilitation devices to promote upper limb function following stroke. *Neurosci Biomed Eng.* 2016 Mar 1;4(1):25–42.
176. Germanotta M, Cruciani A, Pecchioli C, Loreti S, Spedicato A, Meotti M, et al. Reliability, validity and discriminant ability of the instrumental indices provided by a novel planar robotic device for upper limb rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil.* 2018 May 16;15(1).
177. Aprile I, Pecchioli C, Loreti S, Cruciani A, Padua L, Germanotta M. Improving the efficiency of robot-mediated rehabilitation by using a new organizational model: An observational feasibility study in an Italian rehabilitation center. *Appl Sci.* 2019;9(24).
178. Aprile I, Cruciani A, Germanotta M, Gower V, Pecchioli C, Cattaneo D, et al. Upper limb robotics in rehabilitation: An approach to select the devices, based on rehabilitation aims, and their evaluation in a feasibility study. *Appl Sci.* 2019;9(18).

179. Chaudhary P, Hamdani N, Sharma P. The effects of visuomotor training using Pablo System on hand grip strength and wrist movements in adults and elderly. *Iran Rehabil J.* 2019;17(3).
180. Ward NS, Brander F, Kelly K. Intensive upper limb neurorehabilitation in chronic stroke: outcomes from the Queen Square programme. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* [Internet]. 2019 May;90(5):498–506. Available from: <https://jnnp.bmj.com/lookup/doi/10.1136/jnnp-2018-319954>
181. Aprile I, Germanotta M, Cruciani A, Loreti S, Pecchioli C, Cecchi F, et al. Upper Limb Robotic Rehabilitation after Stroke: A Multicenter, Randomized Clinical Trial. *J Neurol Phys Ther.* 2020;44(1):3–14.
182. Jakob I, Kollreider A, Germanotta M, Benetti F, Cruciani A, Padua L, et al. Robotic and Sensor Technology for Upper Limb Rehabilitation. Vol. 10, PM and R. Elsevier Inc.; 2018. p. S189–97.
183. Maguire C. Moderate Intensity Aerobic Training in Sub-acute and Chronic Stroke Patients - the Influence on Brain Derived Neurotrophic Factor (BDNF) and Upper-limb Rehabilitation. A Protocol for a Randomized Control Trial and Health Economic Evaluation. Available from: [https://clinicaltrials.gov/show/NCT03701035\(2018\)](https://clinicaltrials.gov/show/NCT03701035(2018))
184. Rogelj P, Zajc D. Effectiveness of robotics or sensory-supported training in improving upper extremity functions among people with multiple sclerosis - Case study. *Mult Scler J.* 2019;25(7).
185. Lamers I, Raats J, Spaas J, Meuleman M, Kerkhofs L, Schouteden S, et al. Intensity-dependent clinical effects of an individualized technology-supported task-oriented upper limb training program in Multiple Sclerosis: A pilot randomized controlled trial. *Mult Scler Relat Disord* [Internet]. 2019 Sep;34:119–27. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211034819302585>
186. Passon A, Seel T, Massmann J, Freeman C, Schauer T. Iterative learning vector field for FES-supported cyclic upper limb movements in combination with robotic weight compensation. In: *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. Madrid, Spain: IEEE; 2018. p. 5169–74.
187. Feys P, Straudi S. Beyond therapists: Technology-aided physical MS rehabilitation delivery. *Mult Scler J* [Internet]. 2019 Sep 30;25(10):1387–93. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1352458519848968>
188. Mace M, Guy S, Hussain A, Playford E, Ward N, Balasubramanian S, et al. Validity of a sensor-based table-top platform to measure upper limb function. In: *International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*. London, UK: IEEE; 2017. p. 652–7.
189. Ščurić I, Blažinčić V, Klepo I, Franić M, Levanić D, Mikšić B, et al. Hand function recovery with sensor-based task specific feedback training in patients after acute stroke or traumatic brain injury: preliminary results. In: *NR*. 2018.
190. Perry BE, Evans EK, Stokic DS. Weight compensation characteristics of Armeo®Spring exoskeleton: implications for clinical practice and research. *J Neuroeng Rehabil.* 2017;14(1).

191. Bocanová R, Gueye T, Švestková O, Oktábcová A. Efficiency of robot-assisted therapy through the device armeo spring in patients after stroke in acute phase of early rehabilitation. *Rehabil Fyz Lek.* 2018;25(3).
192. Colomer C, Baldoví A, Torromé S, Navarro MD, Moliner B, Ferri J, et al. Efficacy of Armeo®Spring during the chronic phase of stroke. Study in mild to moderate cases of hemiparesis. *Neurol (English Ed.)* 2013;28(5).
193. Aziatskaya G, Kovyazina M, Khizhnikova A, Klochkov A, Chernikova L, Suponeva N, et al. Virtual Reality Efficacy During Zero Gravity Arm Training in Post Stroke. *Brain Inj.* 2017;31(S. 6-7, 719-1017).
194. Adomavičienė A, Daunoravičienė K, Kubilius R, Varžaitytė L, Raistenskis J. Influence of new technologies on post-stroke rehabilitation: A comparison of Armeo spring to the kinect system. *Med.* 2019;55(4).
195. NCT04383873. Effectiveness Analysis of Armeo Spring Device as a Rehabilitation Treatment in Spinal Cord Injured Patients. <https://clinicaltrials.gov/show/NCT04383873> [Internet]. 2020; Available from: <https://www.cochranelibrary.com/central/doi/10.1002/central/CN-02124537/full>
196. Zariffa J, Kapadia N, Kramer JLK, Taylor P, Alizadeh-Meghbrazi M, Zivanovic V, et al. Feasibility and efficacy of upper limb robotic rehabilitation in a subacute cervical spinal cord injury population. *Spinal Cord.* 2012;50(3).
197. Wuennemann MJ, Mackenzie SW, Lane HP, Peltz AR, Ma X, Gerber LM, et al. Dose and staffing comparison study of upper limb device-assisted therapy. *NeuroRehabilitation.* 2020;46(3).
198. Nerz C, Schwickert L, Becker C, Studier-Fischer S, Müßig JA, Augat P. Effectiveness of robot-assisted training added to conventional rehabilitation in patients with humeral fracture early after surgical treatment: protocol of a randomised, controlled, multicentre trial. *Trials.* 2017;18(1).
199. Filippi LL. Early Implementation of Sensorimotor Retraining for Cortical Reintegration in Postoperative Rehabilitation in an Bilateral Above Elbow Allotransplantation. *J Hand Ther.* 2019;32(4).
200. Liu C, Lu J, Yang H, Guo K. Current State of Robotics in Hand Rehabilitation after Stroke: A Systematic Review. Vol. 12, *Applied Sciences (Switzerland)*. MDPI; 2022.
201. Aprile I, Germanotta M, Cruciani A, Loreti S, Pecchioli C, Cecchi F, et al. Upper Limb Robotic Rehabilitation after Stroke: A Multicenter, Randomized Clinical Trial. *J Neurol Phys Ther.* 2020 Jan 1;44(1):3–14.
202. Serrano López-Terradas P. Rehabilitación de la mano neurológica con Amadeo Hand Robot y Hand Tutor Glove: Resultados sensoriomotores y funcionales de 5 años de investigación. In: *APETO Journal (number 63)*, APTO, editors. II Congreso Ibérico de Terapia Ocupacional [Internet]. Madrid, España; 2018. p. 95. Available from: <https://dañocerebral.es/nuestra-aportacion-al-ii-congreso-iberico-de-terapia-ocupacional/>
203. Fasoli SE, Adans-Dester CP. A paradigm shift: Rehabilitation robotics, cognitive skills training, and function after stroke. *Front Neurol.* 2019;10(OCT).

204. Sale P, Lombardi V, Franceschini M. Hand robotics rehabilitation: Feasibility and preliminary results of a robotic treatment in patients with hemiparesis. *Stroke Res Treat.* 2012;
205. Sale P, Mazzoleni S, Lombardi V, Galafate D, Massimiani MP, Posteraro F, et al. Recovery of hand function with robot-assisted therapy in acute stroke patients: A randomized-controlled trial. *Int J Rehabil Res.* 2014;37(3).
206. Calabrò RS, Accorinti M, Porcari B, Carioti L, Ciatto L, Billeri L, et al. Does hand robotic rehabilitation improve motor function by rebalancing interhemispheric connectivity after chronic stroke? Encouraging data from a randomised-clinical-trial. *Clin Neurophysiol.* 2019 May 1;130(5):767–80.
207. Takahashi CD, Der-Yeghiaian L, Le V, Motiwala RR, Cramer SC. Robot-based hand motor therapy after stroke. *Brain* [Internet]. 2008 Feb 1;131(2):425–37. Available from: <https://academic.oup.com/brain/article-lookup/doi/10.1093/brain/awm311>
208. Baldan F, Turolla A, Pregolato G, Agostini M, Maistrello L, Jakob I, et al. REHABILITATION ROBOTICS OF HAND FUNCTION, AFTER STROKE: DIAGNOSTIC CRITERIA FOR REFERENCE TO THERAPY. In: WCPT Congress [Internet]. Geneve; 2019. p. PLR5-1048. Available from: <https://www.abstractstosubmit.com/wcpt2019/archive/#/viewer/abstract/1048>
209. Calcagno A, Coelli S, Tacchino G, Baratto M, Molteni F, Guanziroli E, et al. Arte project: eeg analysis during robotic rehabilitation. In: IFMBE Proceedings. 2020.
210. Jung JH, Lee HJ, Cho DY, Lim J-E, Lee BS, Kwon SH, et al. Effects of Combined Upper Limb Robotic Therapy in Patients With Tetraplegic Spinal Cord Injury. *Ann Rehabil Med* [Internet]. 2019 Aug 31;43(4):445–57. Available from: <http://e-arm.org/journal/view.php?doi=10.5535/arm.2019.43.4.445>
211. Speth S, Wahl M. Evaluation of specified rhythmic auditory stimulation for robot-assisted hand function training in stroke therapy. In: *Neurology and Rehabilitation (NR)*. 2014. p. 320.
212. Ward NS, Brander F, Kelly K. Intensive upper limb neurorehabilitation in chronic stroke: Outcomes from the Queen Square programme. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2019 May 1;90(5):498–506.
213. Fisher AG, Liu Y, Velozo CA, Pan AW. Cross-cultural assessment of process skills. *Am J Occup Ther Off Publ Am Occup Ther Assoc.* 1992;46(10).
214. Fisher AG. The assessment of IADL motor skills: an application of many-faceted Rasch analysis. *Am J Occup Ther Off Publ Am Occup Ther Assoc.* 1993;47(4).
215. Fisher AG. Overview of performance skills and client factors. In: Pendleton H, Schultz-Krohn W, editors. *Pedretti's occupational therapy: Practice skills for physical dysfunction*. 6th ed. St. Louis: Mosby-Elsevier; 2006. p. 372–402.
216. Fioravanti AM, Bordignon CM, Pettit SM, Woodhouse LJ, Ansley BJ. Comparing the responsiveness of the Assessment of Motor and Process Skills and the Functional Independence Measure. Vol. 79, *Canadian Journal of Occupational Therapy*. 2012.

217. Ávila Álvarez A, Canosa N, Groba B, Martínez R, Matilla R, Máximo Bocanegra N, et al. Marco de trabajo para la práctica de terapia ocupacional. Vol. 2da Edició, Dominio y proceso. 2010.
218. American Occupational Therapy Asociation A. Occupational therapy practice framework: Domain and process (2nd ed.). *Am J Occup Ther.* 2008;62:625–83.
219. Amini DA, Kannenberg K, Bodison S, Chang PF, Colaianni D, Goodrich B, et al. Occupational therapy practice framework: Domain & process 3rd edition. Vol. 68, *American Journal of Occupational Therapy.* 2014.
220. Fernández-López JA, Fernández-Fidalgo M, Reed G, Gerold S, Alarcos C. Funcionamiento y discapacidad: la clasificación internacional del funcionamiento (CIF). *Rev Esp Salud Publica [Internet] [Internet].* 83(6):775–83. Available from: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272009000600002&lng=es
221. Herrera-Castanedo S, Vázquez-Barquero JL, Gaite Pindado L. La Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF). *Rehabilitación.* 2008 Dec;42(6):269–75.
222. Sucar LE, Luis R, Leder R, Hernández J, Sánchez I. Gesture therapy: A vision-based system for upper extremity stroke rehabilitation. In: 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC'10. 2010.
223. Jiménez Buñuales MT, González Diego P, Martín Moreno JM. La clasificación internacional del funcionamiento de la discapacidad y de la salud (CIF) 2001. *Rev Esp Salud Publica.* 2002;76(4).
224. Lu EC, Wang RH, Hebert D, Boger J, Galea MP, Mihailidis A. The development of an upper limb stroke rehabilitation robot: Identification of clinical practices and design requirements through a survey of therapists. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2011;6(5).
225. Robertson JVG, Roche N, Roby-Brami A. Influence of the side of brain damage on postural upper-limb control including the scapula in stroke patients. *Exp Brain Res [Internet].* 2012 Apr 14;218(1):141–55. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00221-012-3014-y>
226. Butt M, Naghdy G, Naghdy F, Murray G, Du H. Investigating the detection of intention signal during different exercise protocols in robot-assisted hand movement of stroke patients and healthy subjects using EEG-BCI system. *Adv Sci Technol Eng Syst.* 2019;4(4).
227. Urrútia G, Bonfill X. Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Med Clin (Barc).* 2010;135(11).
228. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. Vol. 339, *BMJ (Online).* 2009. p. 332–6.
229. Sherrington C, Herbert RD, Maher CG, Moseley AM. PEDro. A database of randomized trials and systematic reviews in physiotherapy. *Man Ther.* 2000;5(4).

230. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther.* 2003;83(8).
231. Cohen J. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educ Psychol Meas.* 1960 Apr;20(1):37–46.
232. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics.* 1977;33(1):159–74.
233. Clark HD, Wells GA, Huët C, McAlister FA, Salmi LR, Fergusson D, et al. Assessing the Quality of Randomized Trials. *Control Clin Trials.* 1999;20(5).
234. Clark HD, Wells GA, Huët C, McAlister FA, Salmi LR, Fergusson D, et al. Assessing the quality of randomized trials: Reliability of the Jadad scale. *Control Clin Trials.* 1999;20(5).
235. van Tulder M, Furlan A, Bombardier C, Bouter L. Updated Method Guidelines for Systematic Reviews in the Cochrane Collaboration Back Review Group. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003;28(12).
236. Aprile, Irene; Don Carlo Gnocchi Fondazione F (organization/institution). New Publication – Aprile et al. 2019. 2019;
237. Aprile I, Germanotta M, Cruciani A, Pecchioli C, Loreti S, Padua L. Multicenter randomized controlled trial of multi-segmental robotic and technological upper limb rehabilitation in stroke. *Neurorehabil Neural Repair.* 2018;32(4-5 CC-Stroke).
238. Park JH. The effects of robot-assisted left-hand training on hemispatial neglect in older patients with chronic stroke: A pilot and randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore).* 2021;100(9).
239. Calabrò RS, Accorinti M, Porcari B, Carioti L, Ciatto L, Billeri L, et al. Does hand robotic rehabilitation improve motor function by rebalancing interhemispheric connectivity after chronic stroke? Encouraging data from a randomised-clinical-trial. *Clin Neurophysiol.* 2019;130(5).
240. Orihuela-Espina F, Roldán GF, Sánchez-Villavicencio I, Palafox L, Leder R, Sucar LE, et al. Robot training for hand motor recovery in subacute stroke patients: A randomized controlled trial. *J Hand Ther.* 2016 Jan 1;29(1):51–7.
241. Lyukmanov RK, Mokienko OA, Aziatskaya GA, Suponeva NA, Piradov MA. Post stroke rehabilitation: clinical efficacy of BCI-driven hand exoskeleton in comparison with Amadeo robotic mechanotherapy. *Phys Rehabil Med Med Rehabil.* 2019;1(3).
242. Stein J, Bishop L, Guillen G, Helbok R. Robot-assisted exercise for hand weakness after stroke: a pilot study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2011;90(11):887–94.
243. Fasoli SE, Adans-Dester CP. A paradigm shift: Rehabilitation robotics, cognitive skills training, and function after stroke. *Front Neurol.* 2019;10(OCT).
244. Jakob I, Kollreider A, Germanotta M, Benetti F, Cruciani A, Padua L, et al. Robotic and Sensor Technology for Upper Limb Rehabilitation. *PM&R*

- [Internet]. 2018 Sep;10:S189–97. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1016/j.pmrj.2018.07.011>
245. Aggogeri F, Mikolajczyk T, O’Kane J. Robotics for rehabilitation of hand movement in stroke survivors. *Adv Mech Eng.* 2019;11(4).
 246. Caimmi M, Visani E, Digiacomo F, Scano A, Chiavenna A, Gramigna C, et al. Predicting Functional Recovery in Chronic Stroke Rehabilitation Using Event-Related Desynchronization-Synchronization during Robot-Assisted Movement. *Biomed Res Int.* 2016;2016.
 247. Esquenazi A. Robotics in neurorehabilitation, professor stefan hesse memorial lecture. *Neurol und Rehabil* [Internet]. 2017;23 (Supple:S14–5. Available from: http://www.hippocampus.de/media/316/cms_5a33b1be87b54.pdf
<http://sfxeu05.hosted.exlibrisgroup.com/44RCS?sid=OVID:embase&id=pmid&id=doi:&issn=0947-2177&isbn=&volume=23&issue=Supplement+1&spage=S14&pages=S14-S15&date=2017&title=Neurologie+und+Rehabilitatio>
 248. Khalid S, Alnajjar F, Gochoo M, Shimoda S. Robotic assistive and rehabilitation devices leading to motor recovery in upper limb: a systematic review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology.* Taylor and Francis Ltd.; 2021.
 249. Mazzoleni S, Duret C, Grosmaire AG, Battini E. Combining Upper Limb Robotic Rehabilitation with Other Therapeutic Approaches after Stroke: Current Status, Rationale, and Challenges. *Biomed Res Int* [Internet]. 2017;2017:1–11. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2017/8905637/>
 250. Veerbeek JM, Langbroek-Amersfoort AC, Van Wegen EEH, Meskers CGM, Kwakkel G. Effects of Robot-Assisted Therapy for the Upper Limb after Stroke. Vol. 31, *Neurorehabilitation and Neural Repair.* SAGE Publications Inc.; 2017. p. 107–21.
 251. Widmer M, Held JP, Wittmann F, Lamercy O, Lutz K, Luft AR. Does motivation matter in upper-limb rehabilitation after stroke? ArmeoSensio-Reward: Study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 2017;18(1).
 252. Domen K, Yosida N. Robot-aided Upper-limb Rehabilitation Promoting Motor Learning in Hemiplegia. *Jpn J Rehabil Med.* 2017;54(1), 4-8.
 253. González E, Moya D. Terapia ocupacional y terapia robótica asistida con Amadeo en la atención sostenida y el nivel de consciencia y alerta en un niño con traumatismo craneoencefálico infantil. 2017;14(25):80–96. Available from: www.revistatog.com
 254. Hyejin L, Boram L. The Effect Of Combined Upper Limb Robot Treatment In Patient with Spinal Cord Injury: Case report. *Arch Phys Med Rehabil.* 2017;98(12).
 255. Gonzalo Domínguez M. Evaluabilidad de los programas del robot amadeo en la rehabilitación de la mano del hemipléjico. *Rev electrónica Ter Ocup Galicia, TOG.* 2014;(20).
 256. Scherer R, Grieshofer P, Enzinger C, Müller-Putz GR. Predicting Functional Stroke-Rehabilitation Outcome by means of Brain-Computer Interface

- Technology: The BCI4REHAB Project. In: World Congress for NeuroRehabilitation. 2012.
257. Aprile I, Cruciani A, Germanotta M, Gower V, Pecchioli C, Cattaneo D, et al. Upper limb robotics in rehabilitation: An approach to select the devices, based on rehabilitation aims, and their evaluation in a feasibility study. *Appl Sci.* 2019 Sep 1;9(18).
 258. Dziemian K, Kiper A, Baba A, Baldan F, Alhelou M, Agostini M, et al. The effect of robot therapy assisted by surface EMG on hand recovery in post-stroke patients. A pilot study. *Rehabil Med.* 2017;21(4).
 259. Helbok R. Robot-assisted hand training (AMADEO) compared with conventional physiotherapy techniques in chronic ischemic stroke patients:A pilot study. *Neurol und Rehabil.* 2010;16.
 260. Huang X. Robot Assisted Fine Hand Motion Rehabilitation in Post-Stroke Patients Robot Assisted Fine Hand Motion Rehabilitation in Post-Stroke Patients Xianwei Huang Award of the Degree of Doctor of Philosophy University of Wollongong. 2017.
 261. Serrano-LópezTerradas P. Quo Vadis, Amadeo? Universidad de Salamanca (USAL); 2022.
 262. Pin TW, Butler PB. The effect of interactive computer play on balance and functional abilities in children with moderate cerebral palsy: a pilot randomized study. *Clin Rehabil.* 2019;33(4):704–10.
 263. Samhan AF, Abdelhalim NM, Elnaggar RK. Effects of interactive robot-enhanced hand rehabilitation in treatment of paediatric hand-burns: A randomized, controlled trial with 3-months follow-up. *Burns.* 2020;46(6).
 264. Gandolfi M, Valè N, Dimitrova EK, Mazzoleni S, Battini E, Benedetti MD, et al. Effects of high-intensity Robot-assisted hand training on upper limb recovery and muscle activity in individuals with multiple sclerosis: A randomized, controlled, single-blinded trial. *Front Neurol.* 2018;9(OCT).
 265. Gandolfi M, Valè N, Dimitrova E, Mazzoleni S, Battini E, Benedetti MD, et al. High-intensity robot-assisted hand training in individuals with multiple sclerosis: A randomized, controlled, single-blinded trial. In: *Biosystems and Biorobotics.* 2019.
 266. Tramontano M, Morone G, De Angelis S, Casagrande Conti L, Galeoto G, Grasso MG. Sensor-based technology for upper limb rehabilitation in patients with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. *Restor Neurol Neurosci.* 2020;38(4).
 267. Bevilacqua R, Maranesi E, Di Rosa M, Luzi R, Casoni E, Rinaldi N, et al. Rehabilitation of older people with Parkinson’s disease: An innovative protocol for RCT study to evaluate the potential of robotic-based technologies. *BMC Neurol.* 2020;20(1).
 268. Butt M, Naghdy G, Naghdy F, Murray G, Du H. Patient-Specific Robot-Assisted Stroke Rehabilitation Guided by EEG - A Feasibility Study. In: *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and*

Biology Society, EMBS. 2020.

269. Kim GJ, Taub M, Creelman C, Cahalan C, O'Dell MW, Stein J. Feasibility of an electromyography-triggered hand robot for people after chronic stroke. *Am J Occup Ther.* 2019;73(4).
270. Celadon N, Dosen S, Paleari M, Farina D, Ariano P. Individual finger classification from surface EMG: Influence of electrode set. In: *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.;* 2015. p. 7284–7.
271. Grieshofner P, Nowak T, Ranner S, M. T. Robotic device (amadeo) in hand rehabilitation after stroke a new opportunity to improve the functional outcome? Preliminary functional and fMRI results with 11 patients. *Neurorehabil Neural Repair* [Internet]. 2012;26(6):773. Available from: <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L70838264>
272. Ortner R, Ram D, Kollreider A, Pitsch H, Wojtowicz J, Edlinger G. Human-computer confluence for rehabilitation purposes after stroke. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics).* 2013.
273. Pinter D, Pegritz S, Pargfrieder C, Reiter G, Wurm W, Gattringer T, et al. Exploratory study on the effects of a robotic hand rehabilitation device on changes in grip strength and brain activity after stroke. *Top Stroke Rehabil.* 2013;20(4).
274. Higgins JPT, J S, MJ P, RG E, JAC S. Chapter 8: Assessing risk of bias in a randomized trial. *Cochrane Handb Syst Rev Interv.* 2021;
275. Higgins J, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page M. Chapter 10: Analysing data and undertaking meta-analyses | *Cochrane Training. Cochrane Handb Syst Rev Interv* version 62. 2021;1(September).
276. Moggio L, de Sire A, Marotta N, Demeco A, Ammendolia A. Exoskeleton versus end-effector robot-assisted therapy for finger-hand motor recovery in stroke survivors: systematic review and meta-analysis. *Topics in Stroke Rehabilitation.* Taylor and Francis Ltd.; 2021.
277. Jamin P, Duret C, Hutin E, Bayle N, Koeppel T, Gracies J, et al. Using Robot-Based Variables during Upper Limb Robot-Assisted Training in Subacute Stroke Patients to Quantify Treatment Dose. *Sensors (Switzerland).* 2022;22(2989).
278. Ferreira F, Chaves M, Oliveira V, Petten A, Vimieiro C. Effectiveness of robot therapy on body function and structure in people with limited upper limb function: A systematic review and meta-analysis [Internet]. Vol. 13, *PLoS ONE.* 2018. Available from: [http://europepmc.org/search?query=\(DOI:10.1371/journal.pone.0200330\)%0Ahttps://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0200330](http://europepmc.org/search?query=(DOI:10.1371/journal.pone.0200330)%0Ahttps://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0200330)
279. Zhang B, Kan L, Dong A, Zhang J, Bai Z, Xie Y, et al. The effects of action observation training on improving upper limb motor functions in people with stroke: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2019;14(8).

280. Mehrholz J, Pohl M, Platz T, Kugler J, Elsner B. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 2015;2015(11). Available from: <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L620561619%0Ahttp://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD006876.pub4>
281. Rodgers H, Bosomworth H, Krebs HI, van Wijck F, Howel D, Wilson N, et al. Robot assisted training for the upper limb after stroke (RATULS): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet*. 2019;394(10192).
282. Everrad G, Declerk L, Detrembleur C, Leonard S, Bower G, Dehem S, et al. New technologies promoting active upper limb rehabilitation after stroke – An overview and network meta-analysis. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2022;(in press).
283. Kwakkel G, Kollen BJ, Van der Grond J V., Prevo AJH. Probability of regaining dexterity in the flaccid upper limb: Impact of severity of paresis and time since onset in acute stroke. *Stroke*. 2003;34(9):2181–6.
284. Held JPO, Van Duinen J, Luft AR, Veerbeek JM. Eligibility screening for an early upper limb stroke rehabilitation study. *Front Neurol*. 2019;10(JUL).
285. Coupar F, Pollock A, Rowe P, Weir C, Langhorne P. Predictors of upper limb recovery after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil* [Internet]. 2012 Apr 24;26(4):291–313. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0269215511420305>
286. Woodbury M, Velozo C, Rochards L, Duncan P, Studenski S, Lai S. Longitudinal Stability of the Fugl Meyer Assessment of the Upper Extremity. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008;89:1563–9.
287. Poole JL, Whitney SL. Motor assessment scale for stroke patients: Concurrent validity and interrater reliability. *Arch Phys Med Rehabil*. 1988;69(3 I):195–7.
288. Hoonhorst MH, Nijland RH, Van Den Berg JS, Emmelot CH, Kollen BJ, Kwakkel G. How Do Fugl-Meyer Arm Motor Scores Relate to Dexterity According to the Action Research Arm Test at 6 Months Poststroke? *Arch Phys Med Rehabil*. 2015;96(10).
289. Parneix E, Sorita E, Maupas E, Dehail P, Joseph PA, Mazaux J-M. Comparing pre- post-treatment effects of constraint induced movement therapy (CIMT) in a patient after stroke: A qualitative analysis of performance in instrumental activities of daily living using the situational assessment AMPS. *Ann Phys Rehabil Med*. 2012;55(2012):e132.
290. Fisher A. Overview of Performance Skills and Client Factors. In: *Pedretti's Occupational Therapy*. 7th Editio. St. Louis: Mosby; 2006. p. 372–402.
291. Choo SX, Stratford P, Richardson J, Bosch J, Pettit SM, Ansley BJ, et al. Comparison of the sensitivity to change of the Functional Independence Measure with the Assessment of Motor and Process Skills within different rehabilitation populations. *Disabil Rehabil*. 2018;40(26).
292. Ahn S. Association between daily activities, process skills, and motor skills in community-dwelling patients after left hemiparetic stroke. *J Phys Ther Sci*.

- 2016;28(6).
293. Dawson DR, Binns MA, Hunt A, Lemsky C, Polatajko HJ. Occupation-based strategy training for adults with traumatic brain injury: A pilot study. In: *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2013.
 294. Bernspång B, Fisher AG. Validation of the assessment of motor and process skills for use in Sweden. *Scand J Occup Ther*. 1995;2(1).
 295. Bernspång B, Fisher AG. Differences between persons with right or left cerebral vascular accident on the assessment of motor and process skills. *Arch Phys Med Rehabil*. 1995;76(12).
 296. Fisher AG, Bray Jones K. *Assessment of Motor and Process Skills*. Vol. 1: Development, standardization, and administration manual. (7th rev. Fort Collins, CO: Three Star Press.; 2012.
 297. Poulin V, Korner-Bitensky N, Dawson DR. Stroke-specific executive function assessment: A literature review of performance-based tools. *Aust Occup Ther J*. 2013;60(1).
 298. Marom B, Jarus T, Josman N. The relationship between the Assessment of Motor and Process Skills (AMPS) and the Large Allen Cognitive Level (LACL) test in clients with stroke. *Phys Occup Ther Geriatr*. 2006;24(4).
 299. Lindén A, Boschian K, Eker C, Schalén W, Nordström CH. Assessment of motor and process skills reflects brain-injured patients' ability to resume independent living better than neuropsychological tests. *Acta Neurol Scand*. 2005;111(1).
 300. Merritt BK. Validity of using the Assessment of Motor and Process Skills to determine the need for assistance. *Am J Occup Ther*. 2011;65(6).
 301. Dickerson A, Reistetter T, Trujillo L. Using an IADL assessment to identify older adults who need a behind-the-wheel driving evaluation. *J Appl Gerontol*. 2010;29(4).
 302. Dickerson AE, Reistetter T, Davis ES, Monahan M. Evaluating Driving as a Valued Instrumental Activity of Daily Living. *Am J Occup Ther*. 2011;65(1).
 303. Kizony R, Katz N. Relationships between cognitive abilities and the process scale and skills of the assessment of motor and process skills (AMPS) in patients with stroke. *Occup Ther J Res*. 2002;22(2).
 304. Björkdahl A, Sunnerhagen KS. Process skill rather than motor skill seems to be a predictor of costs for rehabilitation after a stroke in working age; a longitudinal study with a 1 year follow up post discharge. *BMC Health Serv Res*. 2007;7.
 305. Björkdahl A, Åkerlund E, Svensson S, Esbjörnsson E. A randomized study of computerized working memory training and effects on functioning in everyday life for patients with brain injury. *Brain Inj*. 2013;27(13–14).
 306. Kaiser V, Kreilinger A, Müller-Putz GR, Neuper C. First steps toward a motor imagery based stroke BCI: New strategy to set up a classifier. *Front Neurosci*. 2011;(JUL).
 307. (Austria) TG. Amadeo ® instrucciones de uso. 2018. p. 46.

308. Peduzzi P, Concato J, Kemper E, Holford TR, Feinstein AR. A simulation study of the number of events per variable in logistic regression analysis. *J Clin Epidemiol.* 1996 Dec;49(12):1373–9.
309. Portney L, Watkins M. *Foundations of Clinical Research: Applications to Practice.* 3rd ed. Connecticut: Appleton & Lange; 1993.
310. Kumar P, Kathuria P, Nair P, Prasad K. Prediction of upper limb motor recovery after subacute ischemic stroke using diffusion tensor imaging: A systematic review and meta-analysis. Vol. 18, *Journal of Stroke.* 2016.
311. Celadon N, Došen S, Binder I, Ariano P, Farina D. Proportional estimation of finger movements from high-density surface electromyography. *J Neuroeng Rehabil.* 2016;13(1).
312. Schieber MH, Lang CE, Reilly KT, McNulty P, Sirigu A. Selective activation of human finger muscles after stroke or amputation. *Adv Exp Med Biol.* 2009;629.
313. Lang CE, Edwards DF, Birkenmeier RL, Dromerick AW. Estimating Minimal Clinically Important Differences of Upper-Extremity Measures Early After Stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008 Sep;89(9):1693–700.
314. Nakayama H, Stig Jørgensen H, Otto Raaschou H, Skyhøj Olsen T. Recovery of upper extremity function in stroke patients: The Copenhagen stroke study. *Arch Phys Med Rehabil.* 1994;75(4).
315. Veerbeek JM, Langbroek-Amersfoort AC, van Wegen EEH, Meskers CGM, Kwakkel G. Effects of Robot-Assisted Therapy for the Upper Limb After Stroke. *Neurorehabil Neural Repair* [Internet]. 2017 Feb 24;31(2):107–21. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1545968316666957>
316. Zhang C, Tsang L, Cecilia WP, Au R. Robotic approaches for the rehabilitation of upper limb recovery after stroke. *JRR.* 2017;40(1):19–28.
317. Fisher AG, Bray Jones K. *Assessment of Motor and Process Skills. Vol. 2: User manual.* 8th ed. Fort Collins, CO: Three Star Press.; 2014.
318. Padua L, Imbimbo I, Aprile I, Loreti C, Germanotta M, Coraci D, et al. Cognitive reserve as a useful variable to address robotic or conventional upper limb rehabilitation treatment after stroke: a multicentre study of the Fondazione Don Carlo Gnocchi. *Eur J Neurol.* 2020;27(2).
319. Rexroth P, Fisher AG, Merritt BK, Gliner J. ADL differences in individuals with unilateral hemispheric stroke. *Can J Occup Ther.* 2005;72(4).
320. Van Der Wijst E, Wright J, Steultjens E. The suitability of the Montreal Cognitive Assessment as a screening tool to identify people with dysfunction in occupational performance after mild stroke. *Br J Occup Ther.* 2014;77(10).
321. Maritz R, Baptiste S, Darzins SW, Magasi S, Weleschuk C, Prodingier B. Linking occupational therapy models and assessments to the ICF to enable standardized documentation of functioning. *Can J Occup Ther.* 2018;85(4).
322. Lange B, Spagnolo K, Fowler B. Using the assessment of motor and process skills to measure functional change in adults with severe traumatic brain injury: A pilot study. *Aust Occup Ther J.* 2009;56(2).

323. Toneman M, Brayshaw J, Lange B, Trimboli C. Examination of the change in Assessment of Motor and Process Skills performance in patients with acquired brain injury between the hospital and home environment. *Aust Occup Ther J.* 2010;57(4).
324. Verbraak ME, Hoeksma AF, Lindeboom R, Kwa VIH. Subtle problems in activities of daily living after a transient ischemic attack or an apparently fully recovered non-disabling stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2012;21(2).
325. Nudo RJ. Recovery after brain injury: Mechanisms and principles. *Front Hum Neurosci.* 2013 Dec 24;7(DEC).
326. Sandrini M, Cohen L. Non invasive brain stimulation in neurorehabilitation. *Handb Clin Neurol.* 2013;116:499–524.
327. Zhang L, Xing G, Shuai S, Guo Z, Chen H, McClure MA, et al. Low-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Stroke-Induced Upper Limb Motor Deficit: A Meta-Analysis. Vol. 2017, *Neural Plasticity.* Hindawi Limited; 2017.
328. Romero-Muñoz J, Sanchez-Cuesta F, Arroyo Ferrer A, Rocón E, Castillo M, I S, et al. Use of repetitive transcranial magnetic stimulation as an adjunctive therapy in upper limb rehabilitation in stroke. A research proposal for a double blind and crossed controlled study. In: *World Congress for Neurorehabilitation (WCNR) and WFNR – Stroke Session [Internet].* World Congress for Neurorehabilitation (WCNR); p. Book of abstract: number ID P0663. Available from: WCNR 2020 (conventus.de)
329. Baldan F, Turolla A, Rimini D, Pregnolato G, Maistrello L, Agostini M, et al. Robot-assisted rehabilitation of hand function after stroke: Development of prediction models for reference to therapy. *J Electromyogr Kinesiol.* 2021;57.
330. Bishop L, Gordon AM, Kim H. Hand Robotic Therapy in Children with Hemiparesis: A Pilot Study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2017;96(1).
331. Kim G, O'Dell M, Stein J, Taub M, Creelman C, Cahalan C, et al. The Feasibility of Utilizing an EMG-triggered Hand Robot for Individuals After Chronic Stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2016;97(10).
332. Kwah LK, Harvey LA, Diong J, Herbert RD. Models containing age and NIHSS predict recovery of ambulation and upper limb function six months after stroke: An observational study. *J Physiother.* 2013;59(3).
333. de Weerd W, Lincoln NB, Harrison MA. Prediction of arm and hand function recovery in stroke patients. *Int J Rehabil Res.* 1987;10.
334. Nijland RHM, Van Wegen EEH, Harmeling-Van Der Wel BC, Kwakkel G. Presence of finger extension and shoulder abduction within 72 hours after stroke predicts functional recovery: Early prediction of functional outcome after stroke: The EPOS cohort study. *Stroke.* 2010;41(4).
335. Veerbeek JM, Van Wegen EEH, Harmeling Van Der Wel BC, Kwakkel G. Is accurate prediction of gait in nonambulatory stroke patients possible within 72 hours poststroke? The EPOS study. *Neurorehabil Neural Repair.* 2011;25(3).
336. Heller A, Wade DT, Wood VA, Sunderland A, Hewer RL, Ward E. Arm function

- after stroke: Measurement and recovery over the first three months. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1987;50(6).
337. Smania N, Paolucci S, Tinazzi M, Borghero A, Manganotti P, Fiaschi A, et al. Active finger extension: A simple movement predicting recovery of arm function in patients with acute stroke. *Stroke*. 2007;38(3).
 338. Prabhakaran S, Zarahn E, Riley C, Speizer A, Chong JY, Lazar RM, et al. Inter-individual variability in the capacity for motor recovery after ischemic stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2008;22(1).
 339. Winters C, Van Wegen EEH, Daffertshofer A, Kwakkel G. Generalizability of the Proportional Recovery Model for the Upper Extremity After an Ischemic Stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2015;29(7).
 340. Zarahn E, Alon L, Ryan SL, Lazar RM, Vry MS, Weiller C, et al. Prediction of motor recovery using initial impairment and fMRI 48 h poststroke. *Cereb Cortex*. 2011;21(12).
 341. Byblow WD, Stinear CM, Barber PA, Petoe MA, Ackerley SJ. Proportional recovery after stroke depends on corticomotor integrity. *Ann Neurol*. 2015;78(6).
 342. Kwah LK, Herbert RD. Prediction of walking and arm recovery after stroke: A critical review. Vol. 6, *Brain Sciences*. 2016.
 343. Stinear CM, Byblow WD, Ward SH. An update on predicting motor recovery after stroke | Nouveautés sur la récupération motrice après AVC. *Ann Phys Rehabil Med*. 2014;57(8).
 344. Buch ER, Rizk S, Nicolo P, Cohen LG, Schnider A, Guggisberg AG. Predicting motor improvement after stroke with clinical assessment and diffusion tensor imaging. Vol. 86, *Neurology*. 2016.
 345. Doughty C, Wang J, Feng W, Hackney D, Pani E, Schlaug G. Detection and Predictive Value of Fractional Anisotropy Changes of the Corticospinal Tract in the Acute Phase of a Stroke. *Stroke*. 2016;47(6).
 346. Feng W, Wang J, Chhatbar PY, Doughty C, Landsittel D, Lioutas VA, et al. Corticospinal tract lesion load: An imaging biomarker for stroke motor outcomes. *Ann Neurol*. 2015;78(6).
 347. Hermanas Hospitalarias RM de DC. Rehabilitación de la mano con Amadeo [Internet]. Red Menni Web Site. Available from: <https://dañocerebral.es/analisis-de-la-rehabilitacion-robotica-de-la-mano-con-el-robot-amadeo/>
 348. Sani F, Todman J. *Experimental Design and Statistics for Psychology: A First Course*. Oxford: Blackwell Publishing Inc.; 2006.
 349. Prieto Valiente L, Herranz Tejedor I. *Bioestadística Sin Dificultades Matemáticas. Análisis Estadístico de Datos en Investigación Médica y Sociológica*. Madrid, España: Diaz de Sa; 2015.
 350. Kieran D. *Correlation and Simple Linear Regression*. In: *Natural Resources Miometric*. Geneseo, NY: Open SUNY Textbooks; 2014.
 351. Wynants L, Bouwmeester W, Moons KGM, Moerbeek M, Timmerman D, Van Huffel S, et al. A simulation study of sample size demonstrated the importance of

- the number of events per variable to develop prediction models in clustered data. *J Clin Epidemiol.* 2015;68(12).
352. Neuper C, Wörtz M, Pfurtscheller G. Chapter 14 ERD/ERS patterns reflecting sensorimotor activation and deactivation. Vol. 159, *Progress in Brain Research.* 2006. p. 211–22.
 353. NCT03145532. Transcranial Direct-Current Stimulation (tCDS) and Robotics for Children With Hemiplegia. <https://clinicaltrials.gov/show/nct03145532>. 2017;
 354. Liew SL, Santarnecchi E, Buch ER, Cohen LG. Non-invasive brain stimulation in neurorehabilitation: Local and distant effects for motor recovery. Vol. 8, *Frontiers in Human Neuroscience.* 2014.
 355. Hummel FC, Cohen LG. Non-invasive brain stimulation: a new strategy to improve neurorehabilitation after stroke? Vol. 5, *Lancet Neurology.* 2006.
 356. JPRN-UMIN000024131. Effect of robot therapy on arm and finger function in sub-acute stroke patients with hemiplegia. <http://www.who.int/trialsearch/Trial2.aspx?TrialID=JPRN-UMIN000024131>. 2016;
 357. Butt M, Naghdy G, Naghdy F, Murray G, Du H. Investigating electrode sites for intention detection during robot based hand movement using EEG-BCI system. In: *Proceedings - 2018 IEEE 18th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering, BIBE 2018.* 2018.
 358. Hardwick RM, Caspers S, Eickhoff SB, Swinnen SP. Neural correlates of action: Comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution. Vol. 94, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews.* 2018.
 359. Neuper C, Wörtz M, Pfurtscheller G. ERD/ERS patterns reflecting sensorimotor activation and deactivation. In: *Progress in brain research [Internet].* 2006. p. 211–22. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17071233>
 360. Neuper C, Wörtz M, Pfurtscheller G. Chapter 14 ERD/ERS patterns reflecting sensorimotor activation and deactivation. Vol. 159, *Progress in Brain Research.* 2006.

Agradecimientos

Agradecer a la **Gerencia** y a la **Dirección de Hospital Beata María Ana** su confianza en mi perfil clínico e investigador en los últimos 18 años, así como su apoyo para la difusión de los resultados parciales de esta tesis doctoral desde 2012. A título póstumo, mi más sincero agradecimiento al Dr. **Muñoz-Céspedes** por abrirme las puertas de la Unidad de Daño Cerebral y al Dr. **Capilla San Martín** por su confianza en mi rol investigador. Especiales agradecimientos a mi querida **Teresa Criado**, gran fisioterapeuta, siempre al pie del cañón y dispuesta a colaborar en los procesos de investigación y docencia, así como a las terapeutas **Virginia Aranda** y **Diana Moya**, por los momentos compartidos a lo largo de los últimos años en clínica e investigación en la Unidad. Agradecer al Dr. **Marcos Ríos** su apoyo en los primeros pasos de esta investigación, así como su gestión para la puesta en marcha del proyecto en Hospital Beata María Ana. Agradecer afectuosamente a todos los pacientes y familiares por su participación en este estudio, así como a los profesionales que fugazmente han estado implicados en esta investigación.

Agradecer con especial cariño a la Dra. **Begoña Polonio**, Decana de Terapia Ocupacional y profesora de la Universidad de Castilla La Mancha (UCLM), por abrirme las puertas del campus de Talavera de la Reina como profesor invitado y co-coordinador de su título propio Especialista y Máster en Nuevas Tecnologías basadas en Robótica y Realidad Virtual (ETNB) desde el año 2014. Por su confianza, por su paciencia, por la absoluta libertad de cátedra concedida en estos años y por ver en mí ese potencial investigador, fomentando mi grado de expertise cada año y haciéndome este bonito regalo en forma de experiencia docente de post-grado en UCLM. Agradecer a la también coordinadora del ETNB Prof. **Marta Rodríguez** su acompañamiento y apoyo en este duro camino académico del doctorando. Agradecer a la Dra. **Iris Dimbwadyo** su afectuoso apoyo en los primeros pasos de esta investigación, así como su ayuda en la difusión de los resultados del estudio piloto en Vilamoura (Portugal) en 2013.

Agradecer a los profesores Dr. **Roy La Touche** y Dr. **Ferrán Cuenca**, del Instituto de Ciencias del Movimiento (INCIMOV) del Centro Superior de Estudios Universitarios La Salle (CSEULS), su asesoramiento inicial, sus consejos y la formación estadística avanzada recibida en los 3 últimos años. Agradecer también al profesor **Alvaro Reina** su asistencia en los procesos analíticos e interpretativos del meta-análisis del capítulo III. Agradecer afectuosamente al profesor **Ignacio Elizagaray** del Departamento de Fisioterapia del Centro Superior de Estudios Universitarios La Salle (CSEULS), centro

adscrito a la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), su encomiable ayuda en la elaboración e interpretación detallada de los modelos predictivos de regresión mostrados en el capítulo V. Agradecer al profesor Dr. **César Cuesta**, Vicedecano, profesor e investigador del Departamento de Terapia Ocupacional del Centro Superior de Estudios Universitarios La Salle (CSEULS), su incondicional apoyo para la difusión de resultados y la publicación de la versión final de esta tesis doctoral. Agradecer a la **Presidencia y Vicepresidencia de Centro Superior de Estudios Universitarios La Salle (CSEULS)**, Maximiliano y Alfonso, la confianza depositada en mi perfil docente e investigador desde 2018. Agradecer a mi estimada **Maria Gracia Carpena** su incondicional e inestimable apoyo en todos los procesos de investigación en los que estamos implicados en CSEULS, así como su extenso conocimiento en aspectos bioéticos y metodológicos.

Agradecer a la Dra. **Iris Jakob** (Tyromotion, GmbH) y a la terapeuta ocupacional **Carmen Martín** (NeuroReha, S.L.) su apoyo y el interés mostrado por los resultados de mi investigación doctoral a término de la misma, así como su inestimable ayuda para su difusión, futuras investigaciones y esperanzadoras sinergias. Agradecer siempre a **Gorka Cristobalena** (NeuroReha, S.L.) su disponibilidad técnica en estos últimos años.

Agradecer a mi familia castellanoleonesa, primer equipo de gobierno del **Colegio Profesional de Terapeutas Ocupacionales de Castilla y León (COPTOCYL)**, grandes profesionales de la terapia ocupacional y amigos, por vuestro afecto, empuje e inestimable ayuda en la difusión inicial de los resultados de esta investigación desde 2014.

Especiales agradecimientos a la Dra. **Concepción Serrano** y a la Dra. **Elisa López Dolado** por su invitación a contribuir en su libro en 2022 como parte de esta investigación y especialmente por su interés, apoyo y contribución en la continuación pos-doctoral de esta tesis con el proyecto REHandMAP.

Finalmente, y no por ello menos importante, agradecer los sabios consejos de mi director de tesis el Dr. **D. José Ignacio Calvo Arenillas**, Catedrático de la Universidad de Salamanca (USAL) y agradecer a mi co-directora, la Dra. **Ana Calvo Vera**, profesora de la Universidad de Salamanca (USAL), la absoluta libertad y confianza depositada en mi como investigador.

Y a todos los que me habéis sufrido en estos años tesis... y he omitido sin quererlo, mil gracias.

Declaración de conflicto de intereses

El autor de la presente tesis doctoral declara que no existen potenciales conflictos de interés en relación a la investigación, autoría y/o publicación en ninguno de sus capítulos. El estudio piloto de esta investigación esta publicado como *conference proceedings* en ScitePress Digital Library, a finales de 2013. El contenido parcial del capítulo I ha sido publicado en *Springer Nature* a finales de 2021. El capítulo II ha sido publicado parcialmente en *Studies of Psychology* a principios de 2022. El protocolo de revisión cuantitativo para metanálisis fue registrado con ID 393420040218500125 mediante RevMan en la *Cochrane Data Base*. Los resultados del capítulo IV fueron defendidos por el doctorando PASLT en el *Congreso Internacional de Contextos Clínicos y Salud (CICCS)* en julio de 2021. Los capítulos III, IV y V han sido enviados para su publicación al número especial *Occupational Therapy: Neurorehabilitation of children and adults* de la revista *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)* con deadline 22 de agosto de 2022, revista con IF=3,39 y JCR category Rank Q1 en *Public, Environmental and Occupational Health (SSCI)*. Los principales resultados de los capítulos IV y V serán defendidos en el *18th Intenational Congress of World Federation of Occupational Therapy (WFOT)* del 28 al 31 de agosto de 2022 en París (Francia) y publicados en Q1. Los principales resultados de los capítulos III, IV y V serán presentados en el *12th World Congress for Neurorehabilitation (WCNR)* del 14 al 17 de diciembre de 2022 en Viena (Austria) y publicados en Q1 (ver Anexo)

Contribución de colaboradores -y amigos- a esta tesis doctoral

La idea original de este trabajo fue iniciada por PASLT a principio de 2013, siendo los resultados piloto publicados con la colaboración de IDF, MRL y DMR a finales de 2013. La publicación parcial del capítulo I no habría sido posible sin las contribuciones a la publicación en *Springer Nature* de los profesionales TCF, VAC, ARM, MMS y NFP de HBMA, de CZ de UCLM y de los directores de esta tesis, JICA y ACV. Una versión alternativa de los resultados expuestos en el capítulo II, añadiendo el efecto del exoesqueleto ArmeoSpring®, fue publicada gracias a la colaboración de RSR y TCF, que participaron en la extracción de datos y en la fase analítica. Una primera versión del manuscrito fue realizada por RSR bajo la supervisión del doctorando PASLT. La interpretación final de los datos y ulteriores revisiones y adaptaciones del manuscrito hasta su publicación final fueron realizadas por PASLT, bajo aprobación de ambos co-autores. Gracias a TCF y a VAC por su inestimable colaboración en las evaluaciones del capítulo IV. Gracias a CC y MG por facilitar la publicación en IJERPH.

Aspectos éticos

El estudio de investigación fue aprobado, para su ejecución desde su estudio piloto aleatorizado y controlado en 2013, por el Comité de Ética e Investigación Clínica de Hermanas Hospitalarias, así como por una Comisión Institucional de Expertos, miembros del Comité de Ética y Asistencia Sanitaria, de Hospital Beata María (fecha de aprobación, 03/2013) en base al Decreto 406/2006, de 24 de octubre, del Departamento de Salud, por el cual se regulaban los requisitos y procedimientos en investigación clínica en humanos respetando la Declaración de Helsinki, previo a la entrada en vigor del RD 1090/2015, de 4 de diciembre, que regularía en el futuro los ensayos clínicos. Todos los sujetos fueron informados antes del inicio del estudio, y aceptaron participar en la investigación mediante firma de consentimiento informado previo a su reclutamiento en la investigación. Ulteriores investigaciones post-doctorales en curso, generadas a partir de esta investigación, con el mismo dispositivo robótico han sido autorizadas convenientemente por otros CEI (Protocolo REHandMAP,nº referencia CSEULS-040/2020).

Financiación

No se ha recibido financiación alguna por parte de entidades públicas o privadas para el desarrollo de la presente investigación doctoral o a condición de su autoría o conclusiones. Agradecer a Hospital Beata María la financiación recibida para la difusión de los resultados del estudio piloto en el *International Congress of Neurotechnology, Electronics and Informatics NEUROTECHNIX 2013* y su cofinanciación para la difusión de los resultados a su término en el *World Federation of Occupational Therapy International Congress 2022*. Agradecer a Iris Jakob y a TYROMOTION (GmbH, Austria) su cofinanciación para la difusión y publicación de los resultados de esta investigación en 2022. Agradecer a CSEU La Salle la co-financiación recibida para la difusión de resultados de esta investigación en 2022, así como su co-apoyo económico para darle continuidad a este trabajo con el proyecto post-doctoral REHandMAP (ref. 2022A36002) para los próximos 3 años.

Código ORCID iD: 0000-0001-7339-9962

WEB OF SCIENCE (WOS) RESEARCHER iD: AEA-9637-2022

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ACV	accidente cerebro vascular (del inglés, <i>CVA</i>)
AFM	movimiento activo facilitado
AM-	amplitud de movimiento
AMimprov1d	mejora en amplitud de movimiento en la primera sesión
AMPS	<i>Assessment of Motor and Process Skills</i>
ANOVA	análisis de varianza
AOTA	Asociación Americana de Terapia Ocupacional
APT	amnesia pos-traumática (del inglés, <i>PTA</i>)
ARAT	<i>Action Research Arm Test</i>
AR5	<i>Amadeo® hand robot</i> , versión 5
AR7	<i>Amadeo® hand robot</i> , versión 7
AT	<i>Albert Test</i>
AAT	terapia robótica activo-asistida
BBT	<i>Box and Block Test</i>
BCI	<i>Brain Computer Interface</i>
BI	<i>Barthel Index</i>
BM	biomecánico
ABVD	actividades básicas de la vida diaria
AVD	actividades de la vida diaria (del inglés, <i>ADL</i>)
CAHM	Cuestionario de Movimientos del Brazo y la Mano
CI	intervalo de confianza

CIF	Clasificación Internacional de Funcionamiento y Discapacidad
CIMT	terapia por restricción del lado sano
CMSA	<i>Chedoke McMaster Stroke Assessment</i>
CONSORT	<i>CONsolidated Standards Of Reporting Trials Statement</i>
COPTOCYL	Colegio Profesional de Terapeutas Ocupacionales de Castilla y León
COTNAB-III	<i>Chessington Occupational Therapy Neurologic Assessment Battery-Subsection III</i>
CPM	movimiento pasivo continuo
CSEULS	Centro Superior de Estudios Universitarios La Salle, Madrid (España)
CSIC	Centro Superior de Investigaciones Científicas, Madrid (España)
CT	terapia ocupacional convencional (sinónimo de TOM)
DASH	<i>Disabilities of Arm, Shoulder and Hand Questionnaire</i> (version breve: <i>quick-DASH</i>)
DCA	daño cerebral adquirido (del inglés, <i>ABI</i>)
DOC	desórdenes de conciencia
dTCS	estimulación transcraneal directa
ECA	ensayo clínico aleatorizado (del inglés, <i>RCT</i>)
EE	efector final
EEG	electroencefalografía
EM	electromecánico
ERD	patrón cortical de desincronización asociada al movimiento
ERS	patrón cortical de sincronización asociada al movimiento
ETNB	Especialista en Terapias Neurológicas Basadas en robótica y realidad virtual
EXO	exoesqueleto
FAT	<i>Frenchay Arm Test</i>

FE	fuerza extensora
FEimprov1d	mejora en fuerza extensora en la primera sesión
FES	estimulación eléctrica funcional
FF	fuerza flexora
FFimprov1d	mejora en fuerza flexora en la primera sesión
FMUL	<i>Fugl-Meyer Upper Limb Scale</i>
FNP	técnica de Facilitación Neuromuscular Propioceptiva
FT	fisioterapia
FU	técnica de Uso Forzado
GC	grupo control
GE	grupo experimental
GPC	guía de práctica clínica
Gráfico G-G	<i>Grammar of Graphic Plot</i> (del ingles, <i>G-G Plot</i>)
HBMA	Hospital de la Beata María Ana de Jesús, Madrid (España)
HD	lesión cerebral hemisférica derecha
HI	lesión cerebral hemisférica izquierda
HFT	test de la figura humana
HM-AMPS	habilidades motoras AMPS
HP-AMPS	habilidades de procesamiento AMPS
ID	identificador
IHI	<i>Institute of Healthcare Improvement</i>
IM	imagería motora
INCIMOV	Instituto de Ciencias del Movimiento. CSEULS. UAM.

IP	investigador principal
IS-BRAIN®	<i>Integrative Synergistic model Based on exergamed Robotics to Augment Intensity in Neurorehabilitation</i> (modelo teórico propio)
IT	terapia robótica interactiva (también como terapia activa: AT)
JTHFT	<i>Jebsen Taylor Hand Function Test</i>
LBT	<i>Line Bisection Test</i>
M	media
M1	corteza motora primaria
MAL	<i>Motor Activity Log</i>
MAS	<i>Motor Assessment Scale</i>
MCS	estado de mínima conciencia
MCS-36	<i>Short-Form36—Mental Composite Score</i>
MEP	Potenciales evocados motores
MI	<i>Motricity Index</i>
MMSE	<i>Mini Mental State Examination</i>
MP	modelo predictivo
MRC-MSA	<i>Medical Research Council- Muscle Strength Assessment</i>
MS	miembro superior (del inglés, <i>UL</i>)
MT	terapia en espejo
MTG	momento de fuerza total global
MTI	momento de fuerza total individual
MRI	imagen por resonancia magnética
N	tamaño de la muestra

nN	Newtons de fuerza (ie. 1N, 10N, etc...)
NCT	<i>National Clinical Trials</i>
NCM	técnica de Neurocontrol Motor
NIHSS	<i>National Institutes of Health Stroke Scale</i>
NHPT	<i>Nine Hole Peg Test</i>
OP	potencia estadística observada
PCS-36	<i>Short-Form 36—Physical Composite Score</i>
PEDro	<i>Physiotherapy Evidence Database Scale for determine quality in clinical trial</i>
PFM	movimiento pasivo facilitado
PPN	perfil pronóstico negativo (subgrupo de)
PPP	perfil pronóstico positivo (subgrupo de)
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis Statement</i>
qEEG	electroencefalografía cuantitativa
rPAS	marcador de plasticidad sensoriomotora aumentada
RASP	<i>Rivermead Assessment of Somatosensory Performance</i>
ReHandMAP®	<i>Robotics and electrophysiological Hand Mapping Assessment Protocol</i> (proyecto de investigación propio)
RDs	diferencias estandarizadas del riesgo
RobHAND2015	<i>Robotics for Hand rehabilitation 2015</i> (modelo teórico propio)
ROM	rango de movimiento
RPAB	<i>Rivermead Perceptual Assessment Battery</i>
RR	riesgo relativo
RV	realidad virtual (del inglés, <i>VR</i>)

SAI	inhibición aferente de corta latencia
SD	desviación estándar
sEMG	electromiografía de superficie
SEN	Sociedad Española de Neurología
SIS	<i>Stroke Impact Scale</i>
SM	sensoriomotor
SMART	<i>Sensory Modality Assessment and Rehabilitation Technique</i>
SMDs	diferencia de medias estandarizada
SNC	sistema nervioso central
TAF	Test de Apraxia de Florida
TAR	terapia asistida por robot (sinónimo de RT)
TBI	daño cerebral adquirido traumático
TDCs	estimulación magnética transcraneal por corriente directa
TMS	estimulación magnética transcraneal
TO	terapia ocupacional (del inglés, <i>OT</i>)
TOA	terapia por observación de acciones (también: OA)
TOM	terapia ocupacional de mano convencional (sinónimo de CT)
TOMR	técnica de Reaprendizaje Motor Orientado a Tareas (también: RMOT y TOT)
UAM	Universidad Autónoma de Madrid
UCLM	Universidad de Castilla La Mancha
USAL	Universidad de Salamanca
UDC	Unidad de Daño Cerebral
UR	Unidad de Robótica

VIF	factor de inflación de la varianza
VS	estado vegetativo
WCNR	<i>World Congress of Neurorehabilitation</i>
WFOT	<i>World Federation of Occupational Therapy</i>
WMFT	<i>Wolf Motor Function Test</i>
1d	primera sesión
3m	3 meses
6m	6 meses

ANEXO I

PUBLICACIONES DERIVADAS DE ESTA INVESTIGACIÓN

NEUROTECHNIX 2013

International Congress on Neurotechnology, Electronics and Informatics

VILAMOURA, Algarve, Portugal

18 - 20 SEPTEMBER, 2013



Complete Papers Submission Extension: **June 3, 2013**

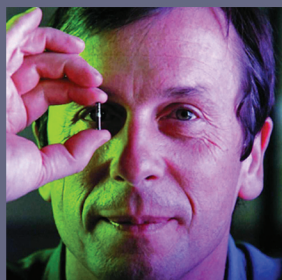
Extended Abstracts Submission Extension: **June 17, 2013**

CONGRESS CHAIR Ana Rita Londral, Universidade de Lisboa, Portugal

PROGRAM CO-CHAIRS Pedro Encarnação, Universidade Católica Portuguesa, Portugal

Jose Luis Pons, Instituto de Automatica Industrial, Spain

KEYNOTE SPEAKERS



Kevin Warwick

University of Reading,
United Kingdom



François Hug

University of Queensland,
Australia



Aldo Faisal

Imperial College
London,
United Kingdom



Alexandre Castro Caldas

Portuguese
Catholic University,
Portugal

MORE INFORMATION AT: WWW.NEUROTECHNIX.ORG

Sponsored by:



Logistics Partner:



Post-Publication:



Springer Series
in Computational
Neuroscience

In Cooperation with:

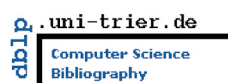


Scan and connect:
www.neurotechnix.org

In Collaboration with:



Proceedings will be submitted for indexation by:



Hand Functional Recovery in Sub-acute Brain Injury Stage Patients using AMADEO® Robotic-assisted Therapy

A Pilot Clinical Study with Apraxic and Neglect Patients

Pedro A. Serrano López-Terradas,¹ Diana Moya Rosendo¹ and Marcos Ríos Lago^{1,2,3}

¹Unidad de Daño Cerebral, Hospital Beata María Ana de Jesús, Madrid, Spain

²Dpto. Psicología Básica II, UNED, Madrid, Spain

³Fundación Reina Sofía-Fundación CIEN, Madrid, Spain

Keywords: Amadeo Robot, Brain Injury, Hand Functional Rehabilitation, Robot-assisted Therapy, Stroke.

Abstract: INTRODUCTION: Repeated and intensive exercise with AMADEO® Robot-Assisted Therapies (RAT) has been found useful in restoring functions of hand paresis in some brain-injured patients. OBJECTIVES: Evaluate the effects of RAT using AMADEO® device in combination with Conventional Neuro-rehabilitation Therapy (CNT) for the hand functional recovery in post-acute phase patients and to identify differences in the hand outcome trends among infants and adults with different recovery potential. METHODS: 12 adults and 3 infants with neglect or apraxia and hemi-paresis of the upper limb were enrolled in this prospective randomized pre-post pilot clinical study. They were assigned a priori to positive (PF+) or negative (PF-) prognostic factor groups. All subjects followed the same standardized protocol with AMADEO® and CNT. The outcome measures selected were: ARAT, MAS, COTNAB (subtest III), RASP, RPAB, and AMADEO® ROM and Strength Assessment Tools. RESULTS: Statistical analysis showed important differences between PF+ and PF- groups in hand function outcome measurements. Similar improved trends were found between PF+ and the group of infants. Both groups improved in extension variables, total score, level of difficulty, and speed in performing robot-graded tasks. They also showed more strength and motor control. Patients in the PF- group showed only hand recovery in flexion and ROM variables after using the robotic device. Positive intra- and intersession effects were found in all patients. DISCUSSION: The results suggest that finger motor activation and less somato-sensorial impairments in pre-test could be a better sign for the prognosis of hand recovery and for the decision to apply Amadeo® in opposite to the presence or absence of apraxic or neglect symptoms, which have been referred as contraindications. Amadeo® was a valuable tool, easy to use, safe and useful to monitor hand recovery and improve grip and finger motor function in spite of the presence of other cognitive impairments.

1 INTRODUCTION

Nowadays, improving hand hemiparesis after brain injury is a main objective in neuro-rehabilitation in order to decrease disability in post- brain-injured survivors. Chronic hand paresis deficits are prevalent in the distal upper extremities in over 40 % of individuals, especially regarding arm and hand motor function (Wang, 2012). Most studies have found that proximal improvements do not migrate to the distal arm or *vice versa* (Takahashi, 2008). Unfortunately, some of these patients with potential for partial hand recovery could be excluded from using robotic devices such as AMADEO® due to interference with other cognitive impairments, as

apraxia or neglect. These symptoms have been referred in the instruction Tyromotion manual of AMADEO® as contraindications. Repeated and intensive exercise with robot-assisted therapies has been found useful in restoring functions of upper extremities by their ability to deliver well-defined repetitive exercises consistently. Furthermore, the highly frequent afferent stimulation combined with increments in efferent activity can stimulate the mirror neurons and can lead to a shift in the contribution of the Sensory-Motor Cortex (SMC) activation of the unlesioned and lesioned hemispheres (Enzinger, 2012).

2 OBJECTIVES

The first aim was to evaluate the effects of robotic-assisted therapy (RAT) using AMADEO® hand device in combination with occupational and physiotherapy conventional neuro-rehabilitation (CNT) for the hand functional recovery in post-acute phase (**Figure 1**).

The second aim was to identify differences in the hand outcome trends among infants and adults with different recovery potential. Finally, safety contraindications of the standardized guidelines of the AMADEO® Tyromotion manual, version R5 (2010 - 2011), will be discussed.

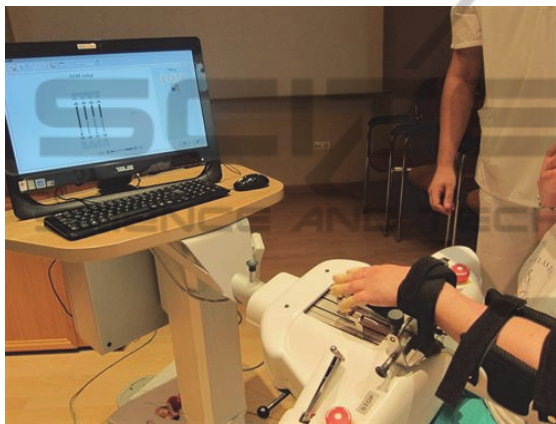


Figure 1: Use of the AMADEO® hand robot device.

3 METHODS

A sample of 12 adults and 3 infants with moderate to high grade of hemi-paresis of the upper limb, an Asworth Scale score of spasticity minor than 3 and an evolution time inferior to 6 months (**Table 1**) were enrolled in this prospective randomized pre-post pilot clinical study.

On one side, all patients with any extension or flexion hand activity and less somato-sensorial disability (moderate impairment in the upper limb) were assigned a priori to group 1, with a positive prognostic factor (PF+). On the other side, patients without voluntary finger activation and high somato-sensorial disability (severe impairment in the upper limb) were assigned to group 2, with a negative prognosis factor (PF-). Apraxic or neglect impairments were not kept in mind for patient grouping. The 3 children were included on a third independent group.

All subjects followed the same standardized protocol (45 min per session, 2-3 times a week, 12

weeks maximum) with the hand robot, *i.e.*, passive (CPM), active-assisted (AAT) or active task-oriented (AT) repetitive hand/finger trainings. Throughout the 3 months of treatment, all patients received similar conventional multidisciplinary neuro-rehabilitation and specific occupational and physiotherapy sessions to optimize hand functional sensory-motor performance.

Table 1: Demographic variables of sample groups. CVA: cerebrovascular accident; Infants: Infants group; L: left; PF+: Positive prognosis factor group; PF-: Negative prognosis factor group; R: right; TBI: traumatic brain injury.

	PF+	PF-	Infants
Age (years)	63 ± 11	56 ± 12	12 ± 3
Etiology	1 TBI 5 CVA	6 CVA	3TBI
Hemi-paresis	1 R 5 L	3 R 3 L	1 R 2 L
Hand dominance	5 R 1 L	5 R 1 L	3 R 0 L

The following primary and secondary hand function outcome measures (Sivan, 2011) were selected: Action Research Arm Test (ARAT) to assess activities, and Motor Assessment Scale (MAS), along with Chessington Occupational Therapy Sensory-motor Assessment (COTNAB-subtest III) and Rivermead Assessment of Somatosensory Performance (RASP), to assess body function. AMADEO® Range of Motion (ROM) and Strength Assessment (SA) tools were also used as pre-post outcome measures. Rivermead Perceptual Assessment Battery (RPAB) and Rivermead Assessment of Somatosensory Performance (RASP) were used prior to the use of this robotic device to diagnose apraxic or neglect symptoms in all patients.

4 RESULTS

Assuming normality, homocedasticity and sphericity in all variables, preliminary data analysis by ANOVA of repeated measurements followed by *post-hoc* tests showed not statistically significant differences between PF+ and the group of infants in any of the variables analysed. Moreover, similar improved trends of recovery were found in these two groups.

In most of the variables analyzed, statistical significant differences were found for the effect of treatment between PF+ and PF- groups ($p < 0.05$).

However, the statistical analysis of the interaction among groups showed, with a high

contrast potency, that only PF+ and the group of infants improved in the extension variables such as total extension SA score, individual II-III-IV-V finger activation in extension SA and extension trend of recovery ($p < 0.05$).

With a moderate contrast potency, there were no differences among both groups in quantity of improvements associated to flexion variables ($p > 0.05$) such as flexion SA total score, flexion SA pre-test, individual I-II-III-IV-V finger activation in flexion SA, and flexion trend of recovery. Also, the effect of the interaction within and between subjects was significant in those variables.

Further post hoc analyses showed a more significant improvement in the PF+ group than PF- group in pre-post measurements. The PF- group also showed hand recovery although less significantly in variables such as flexion SA total score, ROM and flexion recovery trends after using robotic-device (Figure 2). Additionally, in 3 out of 6 PF- cases we found progressively lower hand tone intra- and inter-sessions. Besides, the PF+ group improved in the score, level of difficulty and speed in performing robot-graded tasks (Figure 3). It also showed more strength and motor control (Norouzi-Gheidari, 2012).

Positive intra- and inter-session effects were found in all patients, particularly good tolerance, motivation and absence of pain.

Patients in the PF+ group with contraindications to apply AMADEO® (e.g., apraxia and symptoms of neglect) improved hand motor function and increased the use of affected hand in the post-tests. In contrast, patients with lowest somato-sensory performance showed worse hand outcomes. Some patients with PF- *a priori* and apraxia or neglect symptoms demonstrated smaller but positive outcomes.

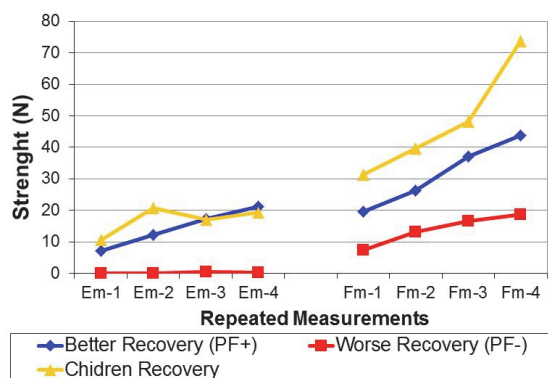


Figure 2: Hand function assessment with AMADEO®. Em: mean Extension; Fm: mean Flexion; PF+: Positive prognosis group; PF-: Negative prognosis group.

Important differences between both groups in hand function outcome measurements were found for COTNAB-III ($p = 0.000$), MAS ($p = 0.000$) and ARAT ($p = 0,000$) tools at post-tests (Figure 4).

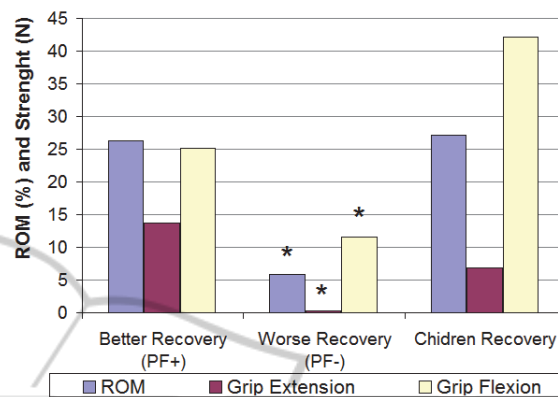


Figure 3: Pre-post hand function improvements with AMADEO® tool. ROM: Range of motion. *Statistically significant differences ($p < 0.05$).

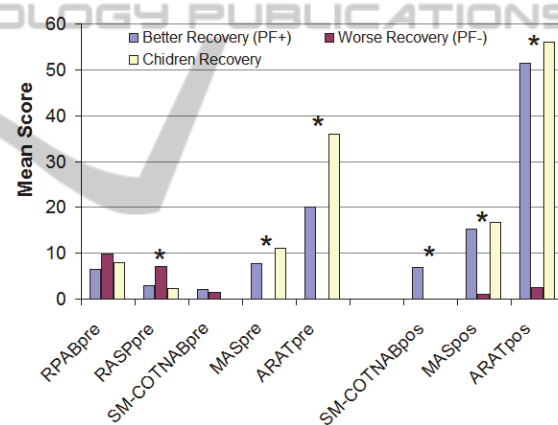


Figure 4: Main hand outcome measurements. Please, see Methods for abbreviations on the variables used. Pre: pre-test; Pos: post-test. *Statistically significant differences ($p < 0.05$).

5 DISCUSSION

The findings of this pilot study seem to reveal that the safety contraindications to apply clinically this robot device (page 6, version R5, 2010 - 2011) should be revised. The results suggest that minimal finger activation motor skills and less somato-sensorial impairments, such as baseline in pre-test, could be a better sign for the prognosis of hand recovery and the decision to apply Amadeo® in opposite to the presence or absence of apraxia or neglect symptoms. For this group of patients with

cognitive impairments, Amadeo® was a valuable tool with a complex intervention design (Hwang, 2012), easy to use, safe and useful to monitor hand recovery and improve hand grip and finger motor function.

Our pilot results evidence a better recovery prognosis for children or patients with motor finger activation in the hand and less somatosensorial deficiency, contrary to patients with severe sensitive damage and serious hand paresis. Apraxic and neglect symptoms can interfere and complicate the recovery of the paretic hand, but it is not decisive. Patients with neglect could benefit from the AT program facilitated by the adjustments of the AMADEO® software, whereas patients with apraxia could improve their motor control due to the combination of AAT and AT programs.

The combined use of CNT, RAT and splinting has allowed to regulate and reduce the flexor tone of hand in 3/12 adult cases.

The presence of other concomitant variables and their potential positive or negative contribution to hand function recovery, such as cranioplasty, cancer radiotherapy or pneumonia due to dysphagia, has been observed although not analyzed during this pilot study.

Despite lacking finger opposition and ADD-ABD of thumb and lumbrical and interosea movements, the appropriate visual, auditory and somatosensorial feedback of motor execution, along with the possibility of working the finger discrimination of movements and the feedforward at the higher levels of the device, transforms AMADEO in a good tool to improve the hand function in combination with CNT.

The total or partial improvements of one or several study groups (PF+, PF- and infants) in the main variables of motor function analyzed (ROM, flexion or extension SA, finger activation, activities, and body functions) justifies the necessity of new studies. More studies will be needed to assess impact of our results on the activities of daily living (ADL). Specifically, the small sample size and the absence of a control group in this study did not allow us to verify whether this treatment is valid in terms of effectiveness and universality (Sale, 2012). In future studies, more statistical analysis will be needed to: (1) further estimate the impact of these results on larger samples, (2) to compare with a control group the outcomes between RAT and CNT with a broader variety of time and intensity regimens (MacClelland, 2012), and (3) to assess the generalization of outcomes on ADL with a repetitive, functional and specific task-oriented rehabilitation in order to

ensure hand function improvements in brain-injured patients. The good outcomes found in this pilot clinical study encourage us to design a larger prospective study.

REFERENCES

- Enzinger, C., Pargfrieder, C. Pegritz, S., Wurm, W., Linderl-Madrutter, R., Reiter, G., et al., 2012. A proof of concept study on the effects of a robotic-assisted hand rehabilitation programme after stroke on central movement control. *Conference Meeting*.
- Hwang, C. H., Seong, J. W., Son, D. S., 2012. Individual Finger synchronized robot-assisted hand rehabilitation in subacute to chronic stroke: a prospective randomized clinical trial of efficacy. *Clinical Rehabilitation* 0, 1.
- MacClelland, L., Bradham, D., Whittall, J., Volpe, B., Wilson, P. D., Ohlhoff, J. et al., 2012. Robotic upper-limb rehabilitation in chronic stroke patients. *J. Rehabil. Res. Develop.* 42, 6, 717.
- Norouzi-Gheidari, N., Archambault, P., Fung, J., 2012. Effects of robot-assisted therapy on stroke rehabilitation in upper limbs: Systematic review and meta-analysis of the literature. *J. Rehabil. Res. Develop.* 49, 4, 479.
- Sale, P., Lombardi, V., Franceschini, M., 2012. Hand Robotics Rehabilitation: Feasibility and Preliminary results of a robotic Treatment in patients with hemiparesis. *Stroke Res. Treatment* article ID 820931.
- Sivan, M., O'Connor, R. J., Makower, S., Levesley, M., Bhakta, B., 2011. Systematic review of outcome measures used in the evaluation of robot-assisted upper limb exercise in stroke. *J. Rehab. Med.* 43, 181.
- Takahashi, C. D., Der-Yeghiaian, L., Le, V., Motiwala, R. R., Cramer, S. C., 2008. Robot-based hand motor therapy after stroke. *Brain* 131, 425.
- Wang, F., 2012. Recent research advances in upper-extremity rehabilitation. *J. Adv. Robot. Automat.* 1, 3.

DOCUMENTO DE ACTIVIDADES

Tipo y número identificativo: NIF 50114965N **Apellidos y nombre del alumn** SERRANO LÓPEZ TERRADAS, PEDRO AMALIO
Centro: 237 Escuela de Doctorado "Studii Salamantini" **Número de expediente:** 93
Plan de estudios: D040 SALUD, DISCAPACIDAD, DEPENDENCIA Y BIENESTAR (R.D. 99/2011)
Año de inicio: 2020-21
Tutor: José Ignacio Calvo Arenillas
Director/es: José Ignacio Calvo Arenillas
Codirector/es: Ana Belén Calvo Vera

Curso académico 2021-22

Tipo de actividad: ASISTENCIA A CONGRESOS NACIONALES O INTERNACIONALES

Actividad: Congreso Internacional de la WFOT París agosto 2022	Estado: Registrada	Responsable: PEDRO AMALIO SERRANO LÓPEZ TERRADAS
Fecha asistencia Congresos	28/08/22 WFOT-2022_Programme_5.6.22.pdf	
Actividad: Envío de comunicación al International WCNR 2022	Estado: Registrada	Responsable: PEDRO AMALIO SERRANO LÓPEZ TERRADAS
Fecha asistencia Congresos	15/12/22	
Actividad: Ponencia en Congreso Internacional Contextos Clínicos y Salud	Estado: Registrada	Responsable: PEDRO AMALIO SERRANO LÓPEZ TERRADAS
Fecha asistencia Congresos	15/07/21 cert_ponencia_70_CICCS2021_PASLT.pdf	

DOCUMENTO DE ACTIVIDADES

Tipo y número identificativo: NIF 50114965N **Apellidos y nombre del alumn** SERRANO LÓPEZ TERRADAS, PEDRO AMALIO
Centro: 237 Escuela de Doctorado "Studii Salamantini" **Número de expediente:** 93
Plan de estudios: D040 SALUD, DISCAPACIDAD, DEPENDENCIA Y BIENESTAR (R.D. 99/2011)
Año de inicio: 2020-21
Tutor: José Ignacio Calvo Arenillas
Director/es: José Ignacio Calvo Arenillas
Codirector/es: Ana Belén Calvo Vera

Curso académico 2021-22

Tipo de actividad: CURSOS DE FORMACIÓN METODOLÓGICOS, ESPECIALIZADOS O PRÁCTICOS

Actividad: Cursos de estadística avanzada en CSEULS (Madrid)	Estado: Registrada	Responsable: PEDRO AMALIO SERRANO LÓPEZ TERRADAS
---	---------------------------	--

Fecha realización	15/06/21
Contenido cursos	CursoRevisionSistematica2021feb_CSEULS_paslt.pdf

Tipo de actividad: PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

DOCUMENTO DE ACTIVIDADES

Tipo y número identificativo: NIF 50114965N **Apellidos y nombre del alumn** SERRANO LÓPEZ TERRADAS, PEDRO AMALIO
Centro: 237 Escuela de Doctorado "Studii Salamantini" **Número de expediente:** 93
Plan de estudios: D040 SALUD, DISCAPACIDAD, DEPENDENCIA Y BIENESTAR (R.D. 99/2011)
Año de inicio: 2020-21
Tutor: José Ignacio Calvo Arenillas
Director/es: José Ignacio Calvo Arenillas
Codirector/es: Ana Belén Calvo Vera

Curso académico 2021-22

Tipo de actividad: PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

Actividad: Publicación de capítulos III a V: Enviado artículo al IJERPH (Q1) **Estado:** Registrada **Responsable:** PEDRO AMALIO SERRANO LÓPEZ TERRADAS

Tipo de contribución	Artículo científico en revista de primer cuartil
Fecha publicación	22/08/22
Cita completa de la publicación	En proceso de revisión. Serrano-LópezTerradas P et al. (2022). Quo Vadis, Amadeo? A Experimental Study with Predictive Model. IJERPH
Indicadores de calidad	Se envían para su publicación los resultados de los capítulos II, IV y V al número especial Occupational Therapy:Neurorehabilitation of children and adults de la revista International Journal of Enviromental Research and Public Health (IJERPH) con deadline 22 de agosto de 2022. Revista de primer cuartil con IF=3,39 y JCR category Rank Q1 en Public, Environmental and Occupational Health (SSCI).
Texto completo de la publicación	

DOCUMENTO DE ACTIVIDADES

Tipo y número identificativo: NIF 50114965N **Apellidos y nombre del alumn** SERRANO LÓPEZ TERRADAS, PEDRO AMALIO
Centro: 237 Escuela de Doctorado "Studii Salamantini" **Número de expediente:** 93
Plan de estudios: D040 SALUD, DISCAPACIDAD, DEPENDENCIA Y BIENESTAR (R.D. 99/2011)
Año de inicio: 2020-21
Tutor: José Ignacio Calvo Arenillas
Director/es: José Ignacio Calvo Arenillas
Codirector/es: Ana Belén Calvo Vera

Curso académico 2021-22

Tipo de actividad: PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

Actividad: Publicación parcial del capítulo 1 de la tesis en Springer Nature **Estado:** Registrada **Responsable:** PEDRO AMALIO SERRANO LÓPEZ TERRADAS

Tipo de contribución	Capítulo de libro con DOI independiente
Fecha publicación	03/08/21
Cita completa de la publicación	Serrano, P.A. et al. (2022). Robotics and Virtual Reality Exer-Games for the Neurorehabilitation of Children and Adults with Traumatic Brain Injury: The IS-BRAIN Model. In: López-Dolado, E., Concepción Serrano, M. (eds) Engineering Biomaterials for Neural Applications. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81400-7_10 ISBN: 978-3-030-81399-4. ISBN (e-book): 978-3-030-81400-7
Indicadores de calidad	Se publican los modelos teóricos y prácticos del capítulo I en este documento científico, que puede adquirirse independientemente del resto del libro donde ha sido publicado como si de un artículo científico se tratase. Publicación en inglés
Texto completo de la publicación	

DOCUMENTO DE ACTIVIDADES

Tipo y número identificativo: NIF 50114965N **Apellidos y nombre del alumn** SERRANO LÓPEZ TERRADAS, PEDRO AMALIO
Centro: 237 Escuela de Doctorado "Studii Salamantini" **Número de expediente:** 93
Plan de estudios: D040 SALUD, DISCAPACIDAD, DEPENDENCIA Y BIENESTAR (R.D. 99/2011)
Año de inicio: 2020-21
Tutor: José Ignacio Calvo Arenillas
Director/es: José Ignacio Calvo Arenillas
Codirector/es: Ana Belén Calvo Vera

Curso académico 2021-22

Tipo de actividad: PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

Actividad: publicación parcial del capítulo 2 en Studies in Psychology **Estado:** Registrada **Responsable:** PEDRO AMALIO SERRANO LÓPEZ TERRADAS

Tipo de contribución	Artículo científico
Fecha publicación	10/02/22
Cita completa de la publicación	Pedro-Amalio Serrano-Lopez-Terradas & Rafael Seco-Rubio (2022): Effectiveness of robotic therapy in the proximal and distal rehabilitation of the upper limb in patients after stroke using the Amadeo® and Armeo® devices: a systematic review of randomized clinical trials (Efectividad de la terapia robótica en la rehabilitación proximal y distal del miembro superior en personas tras un ictus con los dispositivos Amadeo® y Armeo®: una revisión sistemática de ensayos clínicos aleatorizados), Studies in Psychology, DOI: 10.1080/02109395.2021.2009677
Indicadores de calidad	Se publican parcialmente los resultados del capítulo II (revisión sistemática) en este artículo científico Revista científica de cuarto cuartil (Q4) Doble publicación en castellano e inglés
Texto completo de la publicación	

Firmas:

30 de junio de 2022

VII CONGRESO INTERNACIONAL EN CONTEXTOS CLÍNICOS Y DE LA SALUD

CERTIFICADO

A favor de:

D./Dña. PEDRO AMALIO SERRANO LOPEZ-TERRADAS (DNI:50114965N)

Por su contribución en la modalidad de PONENCIA en el SIMPOSIO "UTILIZACIÓN DE LA ROBÓTICA EN LA NEURORREHABILITACIÓN Y RECUPERACIÓN FUNCIONAL DEL PACIENTE HEMIPLÉJICO. ENFOQUE DE TERAPIA OCUPACIONAL" con el título:

RESULTADOS SENSORIOMOTORES Y FUNCIONALES DE 5 AÑOS DE APLICACIÓN CLÍNICA EN ICTUS SUBAGUDO

Dicha aportación está PUBLICADA en el libro de Actas del VII Congreso Internacional en Contextos Clínicos y de la Salud. Volumen I con ISBN: 978-84-09-32278-7 y Depósito Legal: 2214-2021

El Congreso se ha celebrado durante los días 14 y 15 de julio de 2021, con una duración de 20 horas, organizado por la Sociedad Científica Española para la Investigación y la Formación en Ciencias de la Salud [Sociedad Miembro Adherida a COSCE-Confederación de Sociedades Científicas de España] (entidad sin fin de lucro al amparo de la Ley 1/2002 donde en sus estatutos constan de forma expresa la formación y la investigación e inscritas en el Registro de Asociaciones de la Junta de Andalucía con el número: 1-4922, Sección 1), con la colaboración del Grupo de Investigación SEJ-473 de la UNIVERSIDAD DE ALMERÍA, perteneciente al Plan Andaluz de Investigación PAIDI, de la Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad de la Junta de Andalucía. Dicha actividad cuenta con la Resolución Favorable de Reconocimiento de Interés Sanitario concedida por la Comunidad de Murcia (Orden de fecha 20 de abril de 2021 al número de registro 202190000114027), igualmente dicha actividad ha sido avalada por la Sociedad Española de Educación Médica (SEDEM).

Murcia, a 15 de julio de 2021



Fdo.: Dr. José Jesús Gázquez Linares
Presidente del Congreso



Effectiveness of robotic therapy in the proximal and distal rehabilitation of the upper limb in patients after stroke using the Amadeo® and Armeo® devices: a systematic review of randomized clinical trials (*Efectividad de la terapia robótica en la rehabilitación proximal y distal del miembro superior en personas tras un ictus con los dispositivos Amadeo® y Armeo®: una revisión sistemática de ensayos clínicos aleatorizados*)

Pedro-Amalio Serrano-Lopez-Terradas & Rafael Seco-Rubio

To cite this article: Pedro-Amalio Serrano-Lopez-Terradas & Rafael Seco-Rubio (2022): Effectiveness of robotic therapy in the proximal and distal rehabilitation of the upper limb in patients after stroke using the Amadeo® and Armeo® devices: a systematic review of randomized clinical trials (*Efectividad de la terapia robótica en la rehabilitación proximal y distal del miembro superior en personas tras un ictus con los dispositivos Amadeo® y Armeo®: una revisión sistemática de ensayos clínicos aleatorizados*), Studies in Psychology, DOI: [10.1080/02109395.2021.2009677](https://doi.org/10.1080/02109395.2021.2009677)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/02109395.2021.2009677>



Published online: 10 Feb 2022.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 15



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Elisa López-Dolado

María Concepción Serrano *Editors*

Engineering Biomaterials for Neural Applications

Targeting Traumatic Brain and Spinal
Cord Injuries

 Springer

Chapter 10

Robotics and Virtual Reality Exer-Games for the Neurorehabilitation of Children and Adults with Traumatic Brain Injury: The IS-BRAIN Model



Pedro A. Serrano, Teresa Criado, Virginia Aranda, Nayra Fernández-Pinedo, Andrea Rieudas, Miriam M. Sevilla, Cristina Zafra, Ana Calvo-Vera, and Ignacio Calvo-Arenillas

Abstract In this chapter, we describe the evolving synergistic model IS-BRAIN[®], used for a decade in our Robotic Unit at the Brain Damage Unit in the Hospital Beata María Ana (Spain). Conventional approaches with robotics, virtual reality, and exergame-based methodologies are described for their application in children and adults with traumatic brain injury and discussed based on the most current evidence. Our model justifies an adjuvant intervention of balance, stability, lower limbs, gait, upper limbs, and hand in acquired brain injuries.

P. A. Serrano (✉)

Brain Damage Unit, Hospital Beata María Ana, Red Menni Daño Cerebral, Madrid, Spain

Occupational Therapy Department, Faculty of Health Sciences, Centro Superior de Estudios Universitarios La Salle, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, Spain

Occupational Thinks Research Group, Institute of Neuroscience and Sciences of the Movement (INCIMOV), Centro Superior de Estudios Universitarios La Salle, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, Spain

Universidad de Castilla La Mancha, Talavera de la Reina, Toledo, Spain

Facultad de Fisioterapia y Enfermería, Universidad de Salamanca, Salamanca, Spain

e-mail: pedrselo@lasallecampus.es

T. Criado · V. Aranda · A. Rieudas · M. M. Sevilla

Brain Damage Unit, Hospital Beata María Ana, Red Menni Daño Cerebral, Madrid, Spain

N. Fernández-Pinedo

Children Rehabilitation Unit, Hospital Beata María Ana, Red Menni Daño Cerebral, Madrid, Spain

C. Zafra

Universidad de Castilla La Mancha, Talavera de la Reina, Spain

A. Calvo-Vera · I. Calvo-Arenillas

Facultad de Fisioterapia y Enfermería, Universidad de Salamanca, Salamanca, Spain

e-mail: abcvera@usal.es; calvoreh@usal.es



Your abstract has successfully been submitted!
You may now submit another abstract or logout of the system.

X

[Submit a new abstract](#)

1. Abstract

User: Pedro Amalio Serrano López-Tarradas

Deadline for abstract / paper submission:
2022-07-03 23:59 GMT+1

Servertime:
2022-07-01 16:09 GMT+1

Do you need help or have any questions?

Administrator

Email address:
abstract@conventus.de

Phone:
+49(0)3641/3116161

ID: 301
Status: submitted
submitted as: ePoster
Submission date: 01.07.2022
16:09
Section/Category: Robotics
and related
technology
**alternative
Section/Category:** Stroke

Abstract Title
**Amadeo® robot for hand paresis recovery in stroke: Is
gold all that shine? A clinical predictive model**

[preview](#) [edit](#) [delete](#)

[Privacy policy](#)

[Impress](#)

Amadeo® robot for hand paresis recovery in stroke: Is gold all that shine? A clinical predictive model

Serrano López-Terradas P.A.^{1,2,3}, Criado Ferrer T.^{1,2}, Calvo Vera A.B.³, Calvo Arenillas J.I.³

¹Hospital Beata María Ana, Brain Damage Unit, Madrid, Spain

²La Salle University, Health Sciences Faculty. Occupational Therapy Department, Madrid, Spain

³Salamanca University, Faculty of Nursing and Physiotherapy, Salamanca, Spain

Background

Currently there are few predictive models for hand recovery of stroke patients, being usually the core of the intervention from occupational therapy. None of them include predictions in the performance of activities of daily living (ADL) measured in real context. We show the first predictive model of hand recovery in subacute stroke based on the assessment measures of the Amadeo® hand robot to predict behavior in the criterion variables of functionality in ADL and sensorimotor recovery of the upper limb and hand.

Objectives

To determine if the Amadeo® hand robot measurements for range of motion (AM), flexion (FF) and extension (FE) strength, taken on the first evaluation day, allow predicting the ADL performance and upper limb-hand sensorimotor functionality at 3 and 6 months of recovery after stroke.

Methods

Kolmogorov-Smirnoff tests ($n > 50$ subjects in a single group) were used to determine normal distribution of the variables. Pearson's correlations and a backward elimination method for linear regression model were also used. To determine the validity of the regression model, the assumptions of normality, homoscedasticity, auto-correlation and non-multi-collinearity were tested.

Results

Two predictive models of hand hemiparesis have been generated for stroke patients: AMADEUS-A, to predict recovery in ADL with Assessment of Motor and Process Skills (AMPS) tool ($R = .59-.72$; $p < .001$) and AMADEUS-B to predict sensorimotor recovery of upper limbs with the Fugl-Meyer Upper Limb (FMUL) Scale and manual dexterity with Box and Block (BBT) and Nine Hole Peg (NHPT) Tests ($R = .80-.81$; $p < .001$) at 3 and 6 months post-stroke, using only the measurement parameters of the robot (AM, FF, FE) taken the first day of evaluation.

Conclusions

Although our model must be used with caution until its validation in larger samples, the kinetic-kinematic variables of the Amadeo® robot in a first session, could predict sensorimotor and functional changes at 3 and 6 months in subacute stroke.

De: Oral and Poster <noreply@xcdsystem.com>

Enviado: miércoles, 18 de agosto de 2021 10:12

Para: Pedro Amalio Serrano López-Terradas <pedrselo@lasallecampus.es>; Pedro Amalio Serrano López-Terradas <pedrselo@lasallecampus.es>

Asunto: WFOT Congress 2022 - Abstract Notification



Title: Quo vadis, Amadeum robot?

ID: 1733

Congratulations Pedro Serrano López-Terradas!

On behalf of the WFOT 2022 Scientific Programme Committee, we are pleased to inform you that your submission has been accepted as a SHORT ORAL PRESENTATION at the 18th WFOT Congress, 27 - 30 March 2022, Paris, France.

The calibre of submissions from around the world was outstanding, making it a very competitive process. Each abstract was anonymously reviewed by two (or more) peers, and over 300 reviewers participated in the process from around the world.

With 3000 abstracts submitted; the Scientific Programme Committee has made the decision to offer Short Orals only (no Long Orals). This is to allow the opportunity for as many people as possible from across the globe to present their work at WFOT.

PRESENTATION DETAILS AND GUIDELINES

Short oral presentations are 8 minutes in duration (7 minutes to present + 1 minute for questions). The short oral sessions will run concurrently with the rest of the programme in rooms provided with audio visual equipment for PowerPoint slides. Presenters can have no more than 7 slides (this excludes the title slide). There will be strict adherence to time limits for the sessions. Virtual presentations will be pre-recorded and delivered along with live presentations.

You will be contacted in the coming months, once the programme schedule is available, to confirm the date and time of your session, along with useful information on how to prepare.

REGISTRATION

You must register for the Congress to confirm your participation; early bird registration is available until 8 December 2021, both in-person and virtual registration options will be available so you can choose the package that suits you best. Registration can be completed on the Congress website under 'Registration' at <https://wfotcongress2022.org/registration>


HYBRID CONGRESS

In light of the continuing COVID-19 pandemic, the WFOT International Congress 2022 will run as a hybrid event, offering the opportunity to attend and present either in-person or virtually.

You will be requested to indicate your preference of presentation either in-person or virtually closer to the date of the Congress.

As the health and wellbeing of our Congress attendees is our foremost priority, we will continue to monitor the pandemic situation, and make decisions based on the latest public health guidelines in the lead up to the Congress in 2022.

WFOT Congress 2022 Programme									
Updated on 5.6.22									
SUNDAY 28 AUGUST 2022 - CONGRESS DAY 1									
700	Registration Open								
0830 - 1900	Exhibition Open								
0900 - 1030	Plenary: Official Welcome / Congress Opening								
	Keynote Presentation: A/Prof Ana Malfitano								
	An anthropophagy of knowledge proposition in occupational therapy: Driving our actions towards social life <i>Une proposition d'anthropophagie des savoirs en ergothérapie : Conduire nos actions vers la vie sociale</i>								
	Room: North Paris								
1030 - 1100 Refreshment Break <i>Pause rafraîchissement</i> , Exhibition Hall									
1100 - 1300	Plenary: WFOT Symposia Session de la WFOT								
	Room: North Paris								
1300 - 1400 Lunch <i>Déjeuner</i> - Posters, Exhibition Hall									
1400 - 1530	Concurrent Session								
	SE-01	SE-02	SE-03	SE-04	SE-05	SE-06	SE-07	SE-08	SE-09
	Occupational justice/human rights/equity/social inclusion <i>Justice occupationnelle/droits de l'Homme/équité/inclusion sociale</i>	Infants, children, youth, and families <i>Nourrissons, enfants, jeunes et famille</i>	Transformative occupational therapy education <i>Formation à l'ergothérapie transformationnelle</i>	Ageing <i>Vieillesse</i>	Technology <i>Technologie</i>	Revolutionising rehabilitation <i>Révolutionner la rééducation-réadaptation</i>	Health promotion, public health and health services <i>Services de promotion de la santé, de santé publique et sanitaires</i>	Mental health and wellbeing <i>Santé mentale et bien-être</i>	WFOT Session <i>Session de la WFOT</i>
	Room: W01-02	Room: S04	Room: W03-04	Room: S05	Room: W05	Room: S06	Room: W06	Room: North Paris	Room: W07-08
	Mandy Graham	Fiona Loudoun	Debbie Kramer-Roy	Brenda Vrkljan	Iris Vanheel	Elizabeth Peterson	Parisa Ghanouni	Alexandra Lecours	Tamara Barboza and Kit Sinclair
	Occupational justice for mothers: the value of occupational therapy within perinatal mental health services in the UK	Install, Download, Play: A scoping review of the occupational nature of digital play for children and young people.	The European MSc in Occupational Therapy: Moving and Improving with the Times	Advancing the role of occupational therapy for lifelong community mobility: Building global bridges	OT-PRO: a revolutionary, innovative digital tool for and by occupational therapists	Leading change in fall prevention for special populations: Process evaluation of an online fall management program for full-time wheelchair and scooter users with multiple sclerosis	Healthcare services to support transition of individuals with autism to adulthood	Habiliter les travailleurs à préserver leur santé mentale : Quelles sont les interventions réalisées par les ergothérapeutes ?	Combating climate change and reducing disaster risks using our present occupational therapy skills
	Rebecca Renwick	Michelle Thompson	Cristina Smith	Barbara Mazer	Ann Chapleau	Denise Justice	Asnat Bar-Haim Erez	Ellen Cruyt	
	Using an inclusive research approach to understand belonging through sport occupations for young adults with intellectual and developmental disabilities	Effects of a parent-implemented intervention on preschool children's occupational engagement in constructive play in home settings	Data-Driven DEI: Evidence-based Strategies to Increase the Number of Students from Under-Represented Backgrounds in OT Academic Programs	Community mobility and changes in out-of-home participation in older adults: An international study	Using Goal Attainment Scaling during fieldwork: An interdisciplinary study	Proper prone positioning reduces brachial plexus and peripheral nerve injuries for critically ill patients with COVID and other disorders	Not only cancer: functional implication of Risk Reducing Mastectomy in women with BRCA mutation	Meaningful activities during COVID-19 lockdown and association with mental health in Belgian adults.	
	Christophe Wille	Émilie St-Arnaud-Trempe	Jean-Michel CAIRE	Tadhg Stapleton	Adriana Rincon	Sarah Innes	Merry Kalingel Levi	Narges Shafaroudi	
	Meaningful Activities 4 All, A quantitative study on the support needs of staff working in day-care facilities for people with intellectual disabilities	Les co-occupations ludiques parent-enfant à travers le regard des parents d'enfants ayant une déficience motrice	La R-Evolution Universitaire et le sens pratique des ergothérapeutes : Etude Delphi sur les activités essentielles en ergothérapie en France.	Use of the UAB Life Space Assessment to address community participation among older adults	Using artificial intelligence to assess engagement	Assertive outreach and harm reduction: Revolutionising rehabilitation for people with alcohol related brain damage	"When I'm in pain, everything is overwhelming: Perceptions and coping strategies with pain among adults with Autism.	Effect of occupational therapy on self-determination skills of adolescents at risk of emotional and behavioral disorders: A randomized controlled trial	
	Fiona Maclean	Jennifer Pitonyak	Rebecca Sinko	Hester van Biljon	Jacki Liddle	Sabrina Maurel-Techene	Izumi Oki	Rachel Davis	

MONDAY 29 AUGUST 2022 - CONGRESS DAY 2									
700	Registration Open								
0830 - 1700	Exhibition Open								
0830 - 1030	Concurrent Session								
	SE-19	SE-20	SE-21	SE-22	SE-23	SE-24	SE-25	SE-26	SE-27
	Occupational justice/human rights/equity/social inclusion <i>Justice occupationnelle/droits de l'Homme/équité/inclusion sociale</i>	Infants, children, youth, and families <i>Nourrissons, enfants, jeunes et famille</i>	Transformative occupational therapy education <i>Formation à l'ergothérapie transformationnelle</i>	Ageing <i>Vieillesse</i>	Technology <i>Technologie</i>	Revolutionising rehabilitation <i>Révolutionner la rééducation-réadaptation</i>	Professional development and capacity building <i>Développement professionnel et renforcement des capacités</i>	Implementation science/knowledge translation <i>Transfert des connaissances</i>	Research Institute: 3 Minute Thesis <i>Institut de recherche : thèse en 3 minutes</i> 
	Room: W01-02	Room: S04	Room: W05	Room: S05	Room: W03-04	Room: S06	Room: W06	Room: W07-08	Room: North Paris
	Erin Duebel	Lee-Ann Jacobs Nzuzi Khuabi	Claire Gleeson	Michelle Bissett	Abigail Srikanthan	Zelalem Demeke	Jennifer Garcia	Tiago Jesus	Sara Pocknell
	Acknowledging the past: Epistemic reflexivity and memory in occupational therapy	Enablers and barriers to high school re-entry and participation post TBI: perspectives of occupational therapists as service providers in a developing context	The need to revolutionise practice education placements: Reflections and learning from a national interuniversity collaboration to address occupational therapy placements during the Covid-19 pandemic in Ireland.	An environmental perspective of residential care transition: A scoping review	Hallowing vs. hollowing of job skills: The intersection of technology, disability, and work	Towards comprehensive rehabilitation services in Ethiopia: Establishing the first university-level occupational therapy education program.	Developing a cross-cultural approach to build capacity for evidence-based practice	Occupational Therapist-led, team-based Quality Improvement (QI) on person-centered adult physical rehabilitation: Participatory development of a theory- and evidence-based QI guide	An exploration of UK allied health professional interventions for adult cancer patients: A systematic literature review with a narrative synthesis
	Ayano Endo	Kee Lim	Kala Subramaniam and Caitlin Cosgrove	Johanne Filiatrault	Xin Yi Ho	Valentine Perrelet	Nancy Bagatell	Juman Simaan	Rachel Logue
	Building an occupational therapy workforce pipeline: Recruitment of future practitioners from underrepresented backgrounds	Children and young people's perspective and experiences of a community wheelchair basketball club and its impact on daily life.	Exploring Role Emerging Fieldwork Placements for Occupational Therapist Assistant Students	Development and evaluation of a new fall prevention program for seniors attending adult day centers	Effectiveness of Virtual Reality in improving knowledge, attitudes and empathy and the influence of demographic factors after attending a dementia awareness workshop	Exploring the support needs of parents of children with autism spectrum disorders during transition periods in Switzerland.	Engaging in practice-based enquiry to reconceptualize and reclaim occupation-centered practice	Decolonising occupational therapy: a Global South perspective	A mixed methods approach to evaluating and improving hand function in older adults
	Lisa Jaegers	Geneviève Masse	Sok Mui Lim	Tsz Wang Rohan Lai	Xin Rong Ng	Hannah Mercier	Imke Buesching	Jean Gajardo	Sonja Gústafsdóttir
	The Justice-Based Occupational Therapy (JBOT) Network: Action Steps to Further Occupational Justice	Il était une fois une ergothérapeute utilisant l'approche CO-OP: l'apport des savoirs professionnels?	Online oral interactive assessment: An innovative, authentic assessment for year-one occupational therapy students	Live-in student programmes in residential aged care - a means to promote meaningful engagement in the intergenerational community	Evaluating the Effectiveness of Virtual Reality-Based Dementia Awareness Workshop on Improving Attitudes, Knowledge, and Empathy in Informal Caregivers	A "Rehabilitation Tune-up" for those with spinal cord injury: Effects on independence and wellbeing	Role of OT in the Intensive Care Unit – experiences and results from an OT practitioner quality circle in Switzerland	A theory-based study of the implementation process and intervention adaptations of the Tailored Activity Program (TAP) in Chile	Impact of personal and environmental factors on health literacy among people 65 years and older in urban/rural Northern Iceland
	Ann McDonald	Liana Nagy	Karina Dancza	Charlotte Tsang	Pedro Serrano López-Terradas	Marianne Granbom	Epiphany Murebwayire	Line Vionnet	Alisa TeSelle
	The Revolutionary Power of Narrative Ethics: Why Your Client's Story Matters	Ethnic differences in movement behaviour among 8 to 11 year old children	Guidance for practice educators using the Professional Learning through Useful Support (PLUS) Framework	Effect of a modified Lifestyle-integrated Functional Exercise programme (mLiFE) in preventing falls in community-dwelling older fallers: A pilot randomized controlled trial	Quo vadis, Amadeum robot?	Preventing falls with the LIVE-LIFE program: Pilot outcomes of a multicomponent OT-led intervention addressing health-related and home-related fall risks in community-living older adults	The development of occupational therapy profession in Rwanda: A contribution to rehabilitation service delivery	« C'est dans votre tête ! » : de l'errance diagnostique à un modèle logique d'accompagnement interprofessionnel fondé sur les preuves pour les personnes souffrant d'un syndrome neurologique fonctionnel	Linking Body Cues to Emotions for Elementary Age Children: An Understanding by Design Curriculum for Social-Emotional Learning
	Kristy Payne	Zeynep Çelik	Lynette Mackenzie	Beth Fields	Ramon Daniels	Akane Katsu	Michal Waisman-Nitzan	M. Nicole Martino	Michelle Lapierre

∨ User Menu 

- Home (/user/myprofile)
- Manage Accounts (/user/manage_accounts)
- Change Password (/user/chgpwd)
- Edit Profile (/user/edit)
- Logout (/user/logout)

∨ Submissions Menu 

- Submit Manuscript (/user/manuscripts/upload)
- Display Submitted Manuscripts (/user/manuscripts/status)
- English Editing (/user/pre_english_article/status)
- Discount Vouchers (/user/discount_voucher)
- Invoices (/user/invoices)
- LaTeX Word Count (/user/get/latex_word_count)

∨ Reviewers Menu 

- Volunteer Preferences (/volunteer_reviewer_info/view)

Manuscript Information Overview

Manuscript ID	ijerph-1917734
Status	Pending review
Article type	Article
Title	Quo Vadis, Amadeo Hand Robot? A Randomized Study with a Hand Recovery Predictive Model in Subacute Stroke
Journal	<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> (https://www.mdpi.com/journal/ijerph)
Special Issue	Occupational Therapy: Neurorehabilitation of Children and Adults (https://www.mdpi.com/journal/ijerph/special_issues/Occupational_Therapy_Neurorehabilitation)
Abstract	Background. Early identification of hand-prognosis-factors at patient’s admission could help to select optimal synergistic rehabilitation programs based on conventional (COHT) or robot-assisted (RAT) therapies. Methods. In this bi-phase cross-over prospective study, 58 stroke patients were enrolled in two randomized groups. Both groups received same treatments A+B (A=36 COHT sessions for 10 weeks; B= 36 RAT sessions for 10 weeks; 45minutes/session; 3 to 5 times per week). Outcome repeated measures by blinded assessors included FMUL, BBT, NHPT, Amadeo Robot (AHR) and AMPS. Statistical comparisons by Pearson’s rank correlations and one-way analyses of variance (ANOVA) with Bonferroni post- hoc tests, with size effects and statistic power, were reported. Multiple backward linear regression models were used to predict the variability of sensorimotor and functional outcomes. Results. Isolated COHT or RAT treatments improved hand function at 3 months. While “higher hand paresis at admission” affected to sensorimotor and functional outcomes, “laterality of injury” did not seem to affect the recovery of the hand. Kinetic-kinematic parameters of robot allowed creating a predictive model of hand recovery at 3 and 6 months from 1st session. Conclusions. Hand impairment is an important factor in define sensorimotor and functional outcomes, but not lesion laterality, to predict hand recovery.
Keywords	Amadeo; Hand; Occupational Therapy; Rehabilitation; Robotics; Stroke
Manuscript File	manuscript.docx (/user/manuscripts/displayFile/c7b2fda23db502416e0700ff50a9a25b)

