

Trabajo de Final de Máster

Aplicaciones de la realidad virtual en la
rehabilitación de la marcha de pacientes
post-ictus: programa de rehabilitación
según tres perfiles de afectación
distintos

Máster en Neurorehabilitación 2021-2022
Universitat Autònoma de Barcelona- Institut Guttmann

Alumne: Laura Cruellas Martinez

Tutors: Dr. Josep M. Tormos i Dr. Bruno Madirolas

31 de Maig 2022

Tabla de contenido

1. RESUMEN	3
2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	4
2.1. FISIOPATOLOGÍA DEL ICTUS	4
2.1.1. Clasificación	4
2.2.2. Epidemiología	5
2.2.3. Factores de riesgo de la enfermedad cerebrovascular.....	5
2.2.4. Secuelas neurológicas del ictus	6
2.2. NEUROFISIOLOGÍA DE LA MARCHA	6
2.2.1. Introducción y bases de la integración sensoriomotora.....	6
2.2.2. Aferencias sensitivas	7
2.2.3. Circuitos espinales y centros generadores de patrones de la locomoción	8
2.2.4. Nivel subcortical.....	8
2.2.4.1. Centros del tronco del encéfalo	8
2.2.4.2. Ganglios basales	9
2.2.4.3. Cerebelo	9
2.2.5. Nivel Cortical	10
2.3. FISIOPATOLOGÍA DE LA MARCHA EN EL ICTUS	10
2.3.1. Alteración del equilibrio	11
2.3.2. Asimetrías espaciotemporales	11
2.3.3. Alteraciones cinemáticas del plano sagital.....	11
2.4. LA REHABILITACIÓN A TRAVÉS DE LA INTEGRACIÓN SENSORIOMOTORA Y EL APRENDIZAJE MOTOR	12
3. OBJETIVOS.....	12
3.1. OBJETIVO GENERAL	12
3.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS	13
4. PROGRAMA DE REHABILITACIÓN DE LA MARCHA MEDIANTE EL USO DE REALIDAD VIRTUAL	13
4.1. REHABILITACIÓN CONVENCIONAL DE LA MARCHA TRAS UN ICTUS	13
4.1.1. Entrenamiento de la marcha en cinta con soporte parcial del peso corporal.....	13
4.1.2. Entrenamiento de la marcha con asistencia electromecánica o robótica.....	14
4.1.3. Entrenamiento de la marcha en cinta sin soporte del peso corporal.....	14
4.1.4. Entrenamiento de la marcha sobre suelo	14
4.1.5. Entrenamiento de la marcha en espacios públicos.....	14
4.1.6. Entrenamiento del equilibrio.....	15
4.1.7. Entrenamiento de la fuerza en el hemicuerpo pléjico	15
4.1.8. Entrenamiento de marcha y movilidad en circuitos grupales	15
4.2. LA REALIDAD VIRTUAL: EVIDENCIA Y JUSTIFICACIÓN	15
4.3. SUJETOS/ PARTICIPANTES.....	17
4.3.1. Criterios exclusión	17
4.4. INSTRUMENTOS DE VALORACIÓN DE LA MARCHA	17
4.1.1. Prueba de marcha de seis minutos	17
4.1.2. Prueba de marcha de 10 metros.....	18
4.1.3. Escala de valoración funcional de la marcha (FAC).....	18
4.1.4. Escala de equilibrio de Berg	18

4.1.5.	<i>Balance muscular: Escala de Oxford o del Medical Research Council</i>	18
4.1.6.	<i>Evaluación de los parámetros espaciotemporales y cinemáticos</i>	18
4.5.	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA SEGÚN LOS DIFERENTES PERFILES DE AFECTACIÓN DE LA MARCHA	19
4.5.1.	<i>Perfil de afectación severa</i>	19
4.5.1.1.	Intervenciones.....	19
a).	Observación de marcha en ambientes virtuales inmersivos.....	20
b).	Entrenamiento del control de tronco o control postural en sedestación mediante juegos de RV no inmersivos	21
c).	Entrenamiento de la marcha con asistencia robótica combinado con programas de realidad virtual	22
4.5.2.	<i>Perfil de afectación media</i>	23
4.5.2.1.	Intervención	24
a).	Entrenamiento de la marcha con asistencia robótica combinado con programas de realidad virtual	24
b).	Entrenamiento de la marcha con cinta rodante con soporte parcial del peso corporal combinado con RV.....	24
c).	Entrenamiento del equilibrio en bipedestación mediante juegos de RV	25
4.5.3.	<i>Perfil de afectación leve</i>	26
4.5.3.1.	Intervención	26
a).	Entrenamiento en cinta sin soporte del peso corporal combinado con RV	27
b).	Entrenamiento de la movilidad y el equilibrio en bipedestación combinado con RV.....	27
c).	Telerehabilitación	27
5.	CONCLUSIONES	27
	ANEXO I- CLASIFICACIÓN DEL ICTUS ISQUÉMICO	29
	ANEXO 2- ESCALA DE EQUILIBRIO DE BERG (52)	31
	ANEXO 3- ESCALA DE VALORACIÓN FUNCIONAL DE LA MARCHA (FAC) (49)	36
	ANEXO 4- ESCALA DE OXFORD O DE MEDICAL RESEARCH COUNCIL (54)	37
	BIBLIOGRAFÍA	38

1. Resumen

Las enfermedades cerebrovasculares, entre las que se encuentra el ictus, engloban un conjunto de manifestaciones clínicas neurológicas de instauración aguda o subaguda, debidas a una alteración de la circulación cerebral.

El ictus es la primera causa de discapacidad adquirida a nivel mundial. Las secuelas adquiridas debido al daño cerebral son muy diversas y pueden limitar la movilidad de las personas. Los trastornos de la marcha son considerados una de las alteraciones más importantes después de padecer un ictus ya que la habilidad deambulatoria está directamente relacionada con una independencia funcional. Por lo tanto, mejorar la marcha de estos individuos es un componente muy importante en su tratamiento rehabilitador.

En este sentido, la neurorrehabilitación se ha definido como un conjunto de métodos que tienen por finalidad recuperar las funciones neurológicas perdidas o disminuidas como consecuencia de un daño cerebral. El tratamiento rehabilitador convencional del ictus ha sido complementado con nuevas tecnologías como la realidad virtual, que proporcionan mayor motivación, adaptabilidad, colección de datos, seguridad y promueven una práctica intensiva, individualizada y repetitiva. Estas características parecen estar relacionadas con la recuperación, reorganización y la plasticidad cortical después de un ictus.

Existen multitud de sistemas de realidad virtual, y todavía no existe consenso sobre cuál aplicar en cada perfil de afectación de los pacientes. El propósito de este trabajo es crear un programa de intervención de rehabilitación de la marcha para cada perfil de afectación según la evidencia existente.

2. Antecedentes y marco teórico

2.1. Fisiopatología del ictus

El ictus es una enfermedad cerebrovascular (ECV) que se caracteriza por el desarrollo rápido de signos de afectación neurológica. Se produce un trastorno circulatorio cerebral que altera transitoria o definitivamente el funcionamiento de una o varias partes del encéfalo (1,2).

2.1.1. Clasificación

Según la naturaleza de la lesión, podemos clasificar las ECV en isquemias y hemorragias cerebrales.

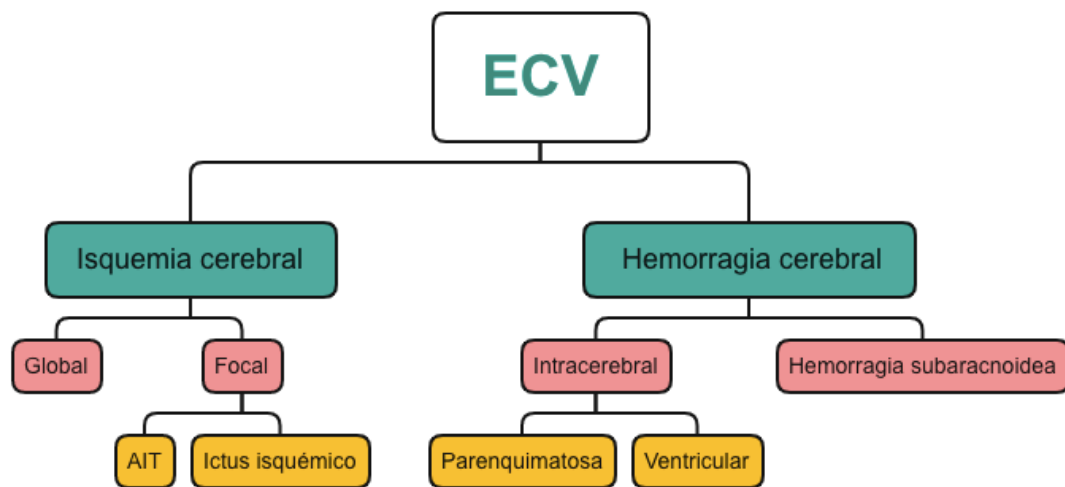


Ilustración 1. Esquema modificado de clasificación de la enfermedad cerebrovascular (ECV) según su naturaleza (E. Díez Tejedor y R. Soler, 1999).

Las isquemias cerebrales se definen como cualquier interrupción de la circulación en el encéfalo. Las isquemias focales, que afectan a una zona determinada del encéfalo son las más comunes (85% del total) y según la evolución en las primeras 24 horas, se pueden clasificar en ataque isquémico transitorio (AIT), de duración inferior a 24 horas, o en ictus isquémico, en la que la privación de aporte sanguíneo provoca un déficit neurológico durante más de 24 horas, lo cual indica la presencia de una lesión del parénquima cerebral visible en las pruebas de imagen. Se pueden clasificar según su etiología (clasificación TOAST), según su topografía vascular y según su topografía parenquimatosa (Oxfordshire Community Stroke Project Classification) (**Anexo1**) (1–3).

El ictus hemorrágico se debe a la rotura de un vaso encefálico, que produce una extravasación de sangre al parénquima cerebral. Es menos frecuente, (15 % del total), aunque tiene peor pronóstico (1–3). La causa principal es la hipertensión arterial (HTA), entre otras como las malformaciones vasculares, aneurismas, abuso de fármacos y drogas, etc. (1,3,4).

2.2.2. Epidemiología

El último informe de la OMS revela que el ictus representa la principal causa de daño cerebral adquirido (DCA), la segunda causa de muerte en el mundo (11% de la mortalidad global) y la primera causa de discapacidad adquirida en el adulto a nivel mundial. (1,5)

Según la Sociedad Española de Neurología, en España cada año se producen 71.180 casos nuevos de ictus (4). La probabilidad de padecer un ictus aumenta con la edad y, a causa del aumento de la esperanza de vida de la población, en España está aumentando la incidencia (150-220 personas por cada 100.000 habitantes/año) y la prevalencia (3- 8,5% de la población >65 años). Aun así, en los últimos años las muertes por ictus han disminuido gracias a la detección precoz y el desarrollo de tratamientos efectivos para dar respuesta a la fase aguda de la enfermedad (1,5).

2.2.3. Factores de riesgo de la enfermedad cerebrovascular

La prevención relacionada con el tratamiento de los factores de riesgo modificables es la medida más efectiva en la reducción de la incidencia del ictus. Dos de los factores de riesgo modificables de mayor peso, por su prevalencia y por ser las principales causas de ictus, son la HTA y la fibrilación auricular, cuyo adecuado manejo repercute muy favorablemente en la reducción del impacto del ictus (1,3-5).

No modificables	Modificables
Edad (mayor a partir de 60 años)	HTA
Sexo (mayor en hombres)	Cardiopatía
Factores hereditarios	Diabetes Mellitus (DM)
Raza (mayor en raza negra americana)	Dislipemia
Localización geográfica	Tabaquismo
Nivel sociocultural	Alcoholismo
	Drogas
	Obesidad
	Sedentarismo

Tabla 1. Factores de riesgo de la enfermedad cerebrovascular (1-5)

Des de la prevención primaria, para evitar que se produzca el AVC, se recomienda una modificación de estilo de vida (dieta, ejercicio, hábitos tóxicos), control de la tensión arterial (TA) (<140/90 mmHg), control de la dislipemia (LDL <130mg/dL), control de la DM, el tratamiento mediante revascularización carotídea o antiagregantes y tratamiento con anticoagulantes en cardiopatías embolígenas. En prevención secundaria, para evitar la recurrencia del AVC, las recomendaciones son similares excepto que la TA debe mantenerse por debajo de 130/80 mmHg y el LDL por debajo de 100mg/dL (1,3,4).

2.2.4. Secuelas neurológicas del ictus

Los ictus pueden provocar gran variedad de secuelas, que en muchos casos interferirán en la autonomía de los individuos (1). En España, después de un ictus, el 62,4% de las personas tenía problemas de movilidad y el 59,1% problemas para realizar actividades de la vida diaria (AVD's) (5).

Dependiendo de la zona cerebral afectada, las secuelas pueden ser motoras (alteraciones en la fuerza, tono muscular, control de la deglución o disfagia, control de esfínteres, equilibrio y marcha), sensoriales (trastornos de la propiocepción, del tacto, de la vista y alteraciones perceptuales como las agnosias), cognitivas (déficits en la memoria, atención, orientación habilidades de cálculo y alteraciones de la conducta y de las funciones ejecutivas), del lenguaje (afasias, dificultad en la comprensión, fluencia, lectura y escritura, etc.) y/o emocionales (depresión, labilidad emocional, apatía, etc.) (6).

Estos déficits alteran la habilidad de las personas para participar en las AVD's, provocando una discapacidad, lo cual se puede medir con escalas específicas como la escala de Rankin, el índice de Barthel o la medida de independencia funcional (FIM) (3).

2.2. Neurofisiología de la marcha

2.2.1. Introducción y bases de la integración sensoriomotora

La marcha bípeda es una actividad intrínsecamente humana y representa un requerimiento básico de su desarrollo cultural. Presenta un patrón repetitivo y cíclico, pero también flexible y adaptable según las circunstancias tanto del medio externo como del interno (7–9).

La integración de los estímulos externos e internos, guían el inicio del movimiento, que es ejecutado a través del aparato locomotor por la corteza motora de forma voluntaria o por el sistema límbico de forma emocional. Esta combinación dinámica de información sensitiva para dar lugar a una respuesta motora intencionada se denomina integración sensoriomotora, y de ella depende el patrón de conducta tanto de los sujetos sanos como de los pacientes con trastornos del movimiento (10). Es importante, por lo tanto, saber cómo funciona este proceso para mejorar las estrategias de rehabilitación neurofuncional que se basan en la habilidad para reorganizar el sistema nervioso central. El inicio del movimiento locomotor va acompañado de procesos automáticos como la regulación del tono postural y los movimientos cíclicos y repetitivos de las extremidades que ocurren en el tronco encefálico y la médula espinal (9). Además, los ganglios basales y el cerebelo envían proyecciones ascendentes hacia la corteza que ayudaran en la planificación y en el inicio de la marcha y proyecciones descendentes hacia el tronco del encéfalo para modular los circuitos locales medulares y el tono muscular (7,8,11)

Por lo tanto, la interacción de todas estas estructuras permite la transmisión de ordenes motrices capaces de iniciar la locomoción, estimular patrones rítmicos, realizar ajustes posturales y llevar a cabo un aprendizaje motor a través de la experiencia y la repetición de la actividad.

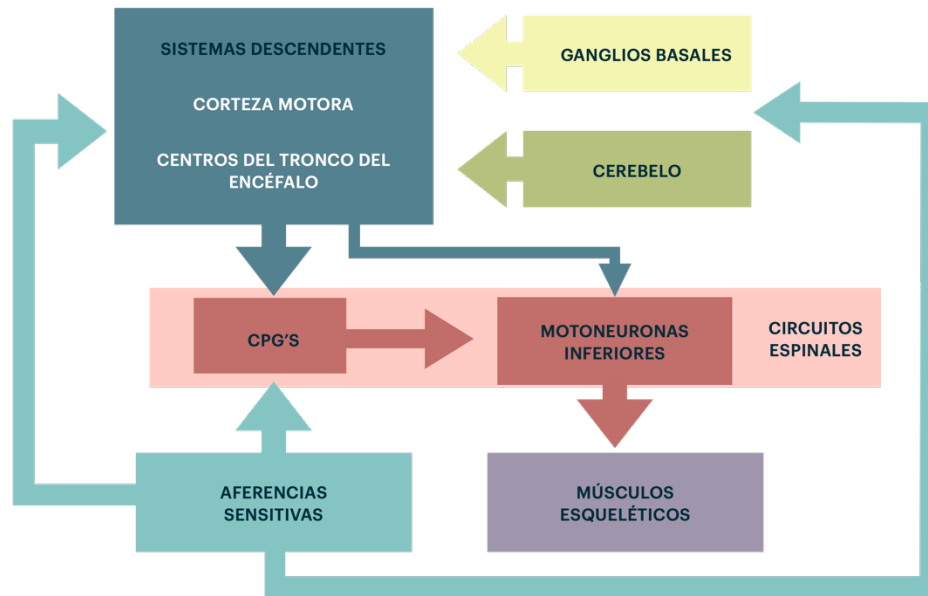


Ilustración 2. Esquema de funcionamiento del control motor

2.2.2. Aferencias sensitivas

La integración de las aferencias sensitivas, como las táctiles, propioceptivas, visuales y vestibulares, son esenciales para el correcto desarrollo de la marcha ya que ajustan su patrón en respuesta a las exigencias del medio interno y externo (obstáculos, cambios de textura del suelo, pérdidas de equilibrio, etc.) (7,10).

Las aferencias táctiles (información de los receptores cutáneos) y propioceptivas (información sobre la longitud y tensión muscular detectada por los husos musculares y órganos tendinosos de Golgi) llegan a la corteza somatosensitiva primaria y secundaria (SI y SII), ascendiendo homolateralmente por los cordones dorsales de la medula, y al cerebelo a través del tracto espinocerebeloso dorsal. También se envían ramas al mismo segmento medular para regular los reflejos segmentarios (7,9,12). Las personas con pérdidas del feedback propioceptivo poseen graves déficits de la marcha (9).

Las aferencias vestibulares, captadas en el laberinto vestibular por los órganos de los otolitos (inclinaciones y aceleración lineal) y los canales semicirculares (rotaciones), tienen la función de estabilizar cabeza, la mirada y la postura y participar en la orientación espacial y la percepción de movimiento. Estas funciones, mediadas por los reflejos vestibulocular, vestibulocervical y vestibuloespinal son esenciales para llevar a cabo una marcha estable y se producen gracias a la integración multisensorial (aferencias visuales, somáticas y cerebelosas) que tiene lugar en los núcleos vestibulares (9).

La información visual, captada a través las células fotorreceptoras de la retina (conos y bastones), llega a la corteza visual primaria (V1) a través del nervio óptico y de los tractos ópticos. La corteza visual de asociación recibe aferencias de la V1 y es la responsable del reconocimiento de objetos y de la percepción del color (9).

2.2.3. Circuitos espinales y centros generadores de patrones de la locomoción

A nivel medular se produce el primer nivel de integración sensoriomotora, donde se origina la asociación inicial entre la información aferente procedente de piel, músculos y articulaciones para producir respuestas motoras estereotipadas como los reflejos (estiramiento, tendinoso y de retirada) y los movimientos de locomoción (10).

Las motoneuronas (MN) inferiores, ubicadas en la sustancia gris del asta anterior de la médula espinal, son las encargadas de innervar la musculatura que produce el movimiento. Se agrupan en columnas verticales o *pools* según la zona corporal que innervan y la función que realizan (los grupos laterales innervan musculatura distal (conductas hábiles) y los grupos mediales musculatura axial (control postural)). Estos circuitos también están formados por interneuronas (IN) que modulan o inhiben la acción de las MN, contribuyendo a un control motor más preciso (9).

Los centros generadores de patrones (CPG's) son una red de interneuronas locales de la medula espinal que son capaces de generar patrones rítmicos de actividad muscular modulados por centros supraespinales e información sensorial segmentaria y que una vez activados son capaces de funcionar de forma autónoma (7,11,12). Una de las teorías más aceptadas sobre la organización de los CPG's es la de Graham Brown, que propone que se trata de dos centros de organización de la musculatura flexora y extensora con capacidad para autorregularse e inhibirse entre ellos y que generan actividad rítmica que activa las MN encargadas de activar la musculatura (8,11).

2.2.4. Nivel subcortical

En este nivel se organiza la actividad de la medula espinal que controla la musculatura axial necesaria para la estabilización postural. También se regulan los patrones cíclicos de la marcha y las reacciones posturales anticipatorias y por retroalimentación a través de centros del tronco encefálico, de los ganglios basales y del cerebelo (10).

2.2.4.1. Centros del tronco del encéfalo

Los centros en el tronco del encéfalo, como los núcleos vestibulares (NV), la formación reticular (FR), el colículo superior y el núcleo rojo son estructuras importantes para la integración sensoriomotora y participan en el control postural y en la coordinación de movimientos ambulatorios (9,10). Los NV y la FR, a través de los tractos vestibuloespinal y reticuloespinal respectivamente que controlan la musculatura axial, realizan ajustes

2.2.4.2. Ganglios basales

```
graph TD
    subgraph AFERENCIAS
        C[CÓRTEX] --> VC[VIA CORTICOESTRIATAL  
EXCITADORA]
        PC[PORCIÓN COMPACTA  
SUSTANCIA NIGRA] --> VDE[VIA DIRECTA EXCITADORA  
VIA INDIRECTA INHIBIDORA]
    end
    VC --> TD[TÁLAMO  
CÓRTEX]
    TD --> VD[VIA DIRECTA DE  
DESINHIBICIÓN]
    PC --> TI[TÁLAMO  
NÚCLEOS SUBTÁLAMICOS]
    TI --> VI[VIA INDIRECTA DE  
INHIBICIÓN]
    CE[CUERPO ESTRIADO  
NEURONAS ESPINOSAS MEDIANAS] --> EFERENCIAS
    EFERENCIAS --> VD
    EFERENCIAS --> VI
    VD --> IMV[INICIO MOVIMIENTO  
VOLUNTARIO]
```

2.2.4.3. Cerebelo

9

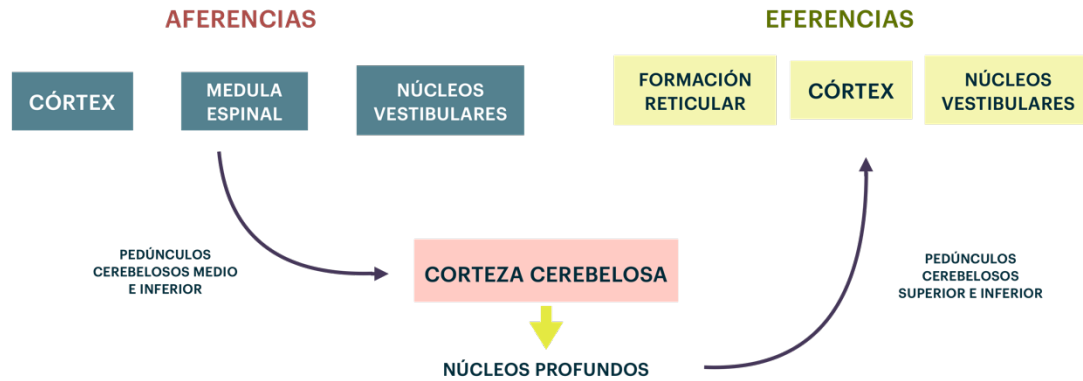


Ilustración 4. Esquema de funcionamiento del cerebelo

2.2.5. Nivel Cortical

La corteza cerebral es la encargada de la planificación, la iniciación y la dirección de los movimientos voluntarios (9). La información del entorno tiene diversas entradas corticales en las áreas sensitivas primarias para cada modalidad (auditiva, visual, somatosensitiva, etc.). Estas áreas transmiten la información a áreas de asociación unimodales que integran aspectos separados de la misma modalidad sensitiva. Después estas áreas convergen en las áreas de asociación multimodales. Los resultados de la integración se envían a las áreas premotora y motora primaria (M1) de la corteza, la cual transmite las órdenes motoras hacia los miembros efectores. Este proceso está mediado por aspectos como la memoria, la atención, la emoción y la planificación (10).

2.3. Fisiopatología de la marcha en el ictus

De todas las secuelas posteriores a un ictus, las alteraciones motoras y concretamente las alteraciones de la marcha están presentes en gran parte de las personas afectadas (64,2% en España), lo cual disminuye su grado de autonomía (13–15).

Para entender las alteraciones locomotoras se necesitan conocer las características de la marcha humana normal, que consta de cuatro fases: fase de impacto, fase de apoyo unipodal y propulsión, fase de pre-balanceo o despegue y fase de balanceo. En la fase de impacto se produce el primer contacto con el suelo con el talón (acción de dorsiflexores de tobillo), los extensores de rodilla y cadera frenan la caída del cuerpo hacia adelante y el peso se transfiere por completo a la pierna de apoyo. Esto da origen a la siguiente fase: fase de apoyo unipodal y propulsión, en la que se necesita una rodilla estable y se produce una progresión hacia delante por la acción de los flexores plantares de tobillo. La fase de pre-oscilación tiene lugar cuando el momento final de flexión plantar y el inicio de la flexión de rodilla permiten el despegue del pie del suelo para dar comienzo a la fase de balanceo. En esta última fase, los dorsiflexores de tobillo y los flexores de rodilla permiten levantar el pie del suelo y los flexores de cadera avanzar la pierna hacia adelante. En la parte final se debe controlar la caída del cuerpo hacia adelante que terminará con el inicio de la siguiente fase de impacto. (13–15)

El daño neuronal posterior a un ictus produce una serie de trastornos primarios, como por ejemplo el síndrome de la motoneurona superior, que ocasiona una hipotonía e hiporreflexia inmediatas del lado contralateral del cuerpo, que, cuando los circuitos recuperan parte de su función, pueden transformarse en hipertonía e hiperreflexia (espasticidad) (9). Más adelante se producen una serie de alteraciones secundarias debido a los procesos neurales adaptativos y compensaciones corporales (13). Todas ellas, originan el patrón anormal de la marcha en el ictus caracterizada sobre todo por asimetrías, debilidad muscular o control motor pobre, perturbaciones de las reacciones de equilibrio y reducción de soporte de carga en el miembro parético (14,15).

2.3.1. Alteración del equilibrio

Durante la marcha humana en cada paso se necesita soportar el peso corporal, mantener la estabilidad y progresar hacia adelante. La actividad rítmica encargada de llevar a cabo la marcha solo se puede lograr si hay un correcto soporte postural proporcionado por la musculatura antigravitatoria a través de la FR, los NV y el cerebelo que proveen el equilibrio necesario para no caer y avanzar durante la marcha (11,13,15,16).

Las alteraciones en el equilibrio pueden estar causadas por afectaciones en mecanismos involucrados en el control postural, como las alteraciones sensoriales (tacto, propiocepción, visión y aferencias vestibulares), que causan reacciones de equilibrio retardadas o absentes y una reducción de anticipación postural (14,17). También pueden ser debidas a trastornos en las funciones ejecutivas (estrategias de movimiento), a una reducción de la capacidad de carga sobre la pierna pléjica por debilidad muscular (14,17) y a lesiones en el cerebelo (o en alguno de sus tractos del tronco del encéfalo). Estas últimas causan ataxia, un trastorno de la coordinación de la actividad muscular durante el movimiento voluntario (18). Todas estas alteraciones del equilibrio están relacionadas con alteraciones de la locomoción, mayor riesgo de caídas, disminución de la participación y aumento de la dependencia en pacientes con ictus (13,14).

2.3.2. Asimetrías espaciotemporales

La debilidad muscular y los déficits de equilibrio de la pierna afectada, entre otros factores, contribuyen a una serie de asimetrías en la marcha en variables relativas al espacio y al tiempo (13–16,19). Se observa: disminución del tiempo de apoyo, aumento del tiempo de balanceo, aumento de periodos de doble apoyo, aumento del tiempo de zancada, disminución de la cadencia, asimetrías en la longitud de pisada y disminución de la longitud total de la zancada (13–16,19).

2.3.3. Alteraciones cinemáticas del plano sagital

La cinemática de la marcha hace referencia a las variables que describen el movimiento articular o entre segmentos corporales, la mayoría de los cuales ocurren en el plano sagital. Su alteración en el ictus puede ser provocada por debilidad, acortamiento o hiperactividad muscular (13–16,19).

En la fase de apoyo se puede observar: disminución de la flexión de cadera en el primer contacto con el suelo, un primer contacto con el pie plano (en vez de con el talón), disminución de la extensión de cadera (por acortamiento de los flexores de cadera o por limitación de la dorsiflexión de tobillo), hiperextensión de rodilla y disminución de la flexión plantar en el momento de despegue (13–16,19).

En la fase de balanceo la disminución de la flexión de cadera, rodilla y de dorsiflexión de tobillo provocan un aumento la largada de la pierna, lo que debe compensarse con movimientos como la circunducción de cadera o la elevación lateral de la pelvis para lograr levantar el pie del suelo y evitar arrastrar los dedos del pie para disminuir el riesgo de caída (13–16,19).

Estas asimetrías espaciotemporales y alteraciones en la cinemática provocan una reducción en la velocidad de marcha, que es una gran indicadora de independencia funcional, ya que velocidades inferiores a 0,8m/s se relacionan con un mayor grado de dependencia (13–16,19). También provocan un mayor gasto energético durante la marcha, que se traducen en una mayor fatigabilidad de los pacientes y en una reducción del perímetro de marcha (15).

2.4. La rehabilitación a través de la integración sensoriomotora y el aprendizaje motor

Como ya se ha visto, la integración sensoriomotora es la capacidad del sistema nervioso central (SNC) para integrar diferentes estímulos y transfórmalos en acciones motoras que se ajusten a las exigencias específicas del entorno (10,20).

Tras el daño cerebral del ictus, se altera este proceso de integración y por lo tanto el control motor (10). Aun así, el SNC posee la capacidad de reorganizarse en función de la exigencia de las tareas y del entorno, reforzando sinapsis existentes y/o formando nuevas. Esta plasticidad permite el aprendizaje motor y por lo tanto la recuperación tras el daño cerebral, lo cual constituye la base de las estrategias de rehabilitación funcional (10,20,21). Para que la rehabilitación facilite el aprendizaje motor y la recuperación funcional es muy importante que sea reiterada, intensiva y orientada a tareas funcionales y relevantes para el paciente (22–28). También es importante su inicio temprano e introducir variabilidad en los ejercicios para mejorar la retención y la habilidad para adaptarse a nuevas situaciones (28–30).

El entrenamiento sensoriomotor proporcionado por varias estrategias de neurorrehabilitación como la realidad virtual puede desempeñar un papel importante en la reorganización cortical implicada en el aprendizaje motor y la recuperación de habilidades motoras perdidas (10).

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Acordar que intervención mediante realidad virtual es la más adecuada para cada perfil de afectación que se puede presentar después de un ictus.

3.2. Objetivos secundarios

- Describir cuales son las intervenciones utilizadas para la rehabilitación convencional de la marcha en el ictus
- Revisar la evidencia disponible del tratamiento mediante realidad virtual para mejorar las alteraciones de la marcha
- Detallar los instrumentos de valoración de la marcha más utilizados

4. Programa de rehabilitación de la marcha mediante el uso de realidad virtual

La propuesta consiste en redactar un programa de intervención mediante el uso de la realidad virtual para tres perfiles de afectación distintos después de un ictus: afectación severa, afectación media y afectación leve.

4.1. Rehabilitación convencional de la marcha tras un ictus

Las intervenciones en la rehabilitación de la marcha más comunes son el entrenamiento en cinta con o sin soporte del peso corporal, el entrenamiento de la marcha con asistencia robótica y entrenamiento de la marcha en diferentes circuitos y superficies. El trabajo de la movilidad y la fuerza también ayuda a su recuperación, así como la estimulación eléctrica funcional (FES) para estimular los dorsiflexores de tobillo y evitar la caída del en la fase de oscilación de la marcha. Es importante trabajar también las alteraciones del equilibrio, por su directa relación con los trastornos de la locomoción, mediante ejercicios de control de tronco sobre plano estable e inestable, entrenamiento del equilibrio en bipedestación sobre diferentes superficies y programas de gimnasia grupal. En el entrenamiento de la marcha también es útil trabajar la fuerza de las extremidades inferiores y las actividades relacionadas con la locomoción como levantarse, sentarse, subir escaleras o realizar transferencias. El uso de ayudas técnicas como ortesis, férulas e instrumentos de apoyo, como muletas, bastones y caminadores, son beneficiosos para el paciente ya que mejoran la postura y aportan mayor equilibrio desplazamientos y por lo tanto proporcionan seguridad, confianza e independencia en los desplazamientos (17,18).

A continuación, se citan todas las intervenciones con mayor nivel de evidencia para mejorar la habilidad de marcha en pacientes con ictus según las guías de práctica clínica (GPC) disponibles.

4.1.1. Entrenamiento de la marcha en cinta con soporte parcial del peso corporal

La suspensión parcial del peso corporal (SPPC) permite sustituir el déficit de equilibrio del paciente, y poder desarrollar un correcto ciclo de marcha. Se recomienda un soporte inicial del 30-40% del peso corporal y una velocidad baja de unos 0,1-0,3 m/s. El objetivo es aumentar progresivamente la velocidad, la distancia y la duración de las sesiones, así como reducir el soporte del peso hasta un 0% a lo largo del proceso rehabilitador. Se recomienda aplicar en pacientes que todavía no pueden caminar, con un FAC inferior o igual a 3. El entrenamiento mediante este sistema mejora la velocidad y el perímetro de marcha de los pacientes con ictus (nivel 1 de evidencia) (17).

4.1.2. Entrenamiento de la marcha con asistencia electromecánica o robótica

Es una forma de entrenar la marcha en la que el ciclo es guiado electromecánicamente por dispositivos que controlan las piernas que se usa en combinación con sistemas de soporte del peso corporal y cinta caminadora o pedales. *Lokomat®*, *Lexo®*, *Autoambulator*, etc. son ejemplos de dispositivos de asistencia robótica de la marcha. *Lokomat®*, el dispositivo más utilizado en los estudios, es un exoesqueleto con transmisión lineal en las articulaciones de cadera y rodilla que asiste a los movimientos de locomoción encima de una cinta de marcha guiando las piernas de los sujetos en una trayectoria predefinida. Los pacientes se instalan en las ortesis de marcha sujetos con un arnés atado al sistema de SPPC. Para evitar la caída del pie se utilizan correas que los sujetan hacia arriba. La cantidad de SPPC es establecido individualmente para cada paciente (31).

Se ha demostrado que en pacientes con ictus que no son capaces de caminar independientemente, mejora su velocidad de marcha, la distancia recorrida, la frecuencia cardiaca, la capacidad de sentarse y levantarse y el desempeño en las AVD's comparado con la terapia convencional (nivel 1 de evidencia). Una desventaja es el alto coste de estos dispositivos (17,18).

4.1.3. Entrenamiento de la marcha en cinta sin soporte del peso corporal

Se recomienda en personas con FAC igual o superior a 3. Se debe aumentar progresivamente la velocidad de marcha, la distancia y la duración de ejercicio. Se ha demostrado que es más efectiva en aumentar la velocidad máxima de marcha que la rehabilitación convencional (nivel 1 de evidencia) (17,18).

4.1.4. Entrenamiento de la marcha sobre suelo

Consiste en caminar sobre superficies sólidas mientras el terapeuta da un feedback directo de la marcha del paciente. Es más efectivo que el entrenamiento en cinta en pacientes que son capaces de caminar sin soporte físico para aumentar la distancia de marcha y reducir la ansiedad (nivel 1 de evidencia) (17,18).

4.1.5. Entrenamiento de la marcha en espacios públicos

La ambulación comunitaria es la habilidad de integrar la marcha con otras actividades en un ambiente complejo. Se debe prestar atención a aspectos como cruzar la calle, evitar obstáculos, caminar sobre varias superficies y hacer dos tareas a la vez. El objetivo de este tipo de intervención es mejorar la habilidad de los pacientes para caminar de forma segura e independiente por espacios públicos. En estas GPC no queda claro si esta intervención es más efectiva que otras para mejorar la velocidad máxima de marcha (evidencia nivel 1) (17,18).

4.1.6. Entrenamiento del equilibrio

Las alteraciones del equilibrio están relacionadas con una función locomotora disminuida. La mejora del equilibrio es el determinante más importante para recuperar la marcha (22,29).

El entrenamiento del equilibrio con varias actividades mejora la habilidad para sentarse, levantarse y para ejecutar las AVD's en pacientes con ictus (nivel 1 evidencia). El entrenamiento de la distribución de peso corporal ayuda al paciente a conseguir simetría en la bipedestación y mejorar el control postural.

4.1.7. Entrenamiento de la fuerza en el hemicuerpo pléjico

El entrenamiento de la fuerza en grupos musculares de las EEII aumenta la fuerza de éstas y mejora la marcha en términos de cadencia, simetría y longitud de paso (evidencia nivel 1). La combinación del entrenamiento de fuerza y ejercicio aeróbico también mejora la fuerza muscular de la pierna pléjica, la velocidad y distancia de marcha, el equilibrio y la calidad de vida (nivel 1 de evidencia). Se recomiendan mínimo 2-3 sesiones por semana de entre 20 y 60 minutos cada una (17,18)

4.1.8. Entrenamiento de marcha y movilidad en circuitos grupales

Esta intervención consiste en que dos o más pacientes se entrenen a la vez mediante diferentes estaciones que incluyen una variedad de ejercicios que incluyen acciones como: levantarse y sentarse, subir y bajar escalones, mantener equilibrio de pie, caminar con obstáculos o sobre superficies irregulares, etc. Existe un nivel 1 de evidencia de que el entrenamiento por circuitos mejora velocidad y distancia de marcha, equilibrio en SD y BP, y reduce inactividad. Se recomienda que la actividad sea supervisada y que los participantes tengan un FAC igual o mayor de 3 (capaces de caminar 10m de forma independiente) (17,18).

4.2. La realidad virtual: evidencia y justificación

Los sistemas de realidad virtual (RV) o de realidad aumentada (RA) son sistemas informáticos que generan simulaciones de ambientes y situaciones reales o imaginarias donde los usuarios pueden interactuar mediante sus propios movimientos y a tiempo real. Permiten una experimentación multisensorial y una inmersión en ambientes que son similares a situaciones del mundo real (22–26,32).

Existen sistemas de RV inmersivos, que generan un ambiente tridimensional en el cual el individuo está totalmente integrado en el ambiente virtual e interactúa a través de dispositivos como guantes, gafas de RV, pantallas que abarcan un amplio campo de visión y cabinas o cuevas virtuales, como el sistema CAVE™, que representan escenarios virtuales en los que se realizan los ejercicios programados (25,27). En los sistemas no inmersivos se interactúa con el mundo virtual a través de una pantalla y un mando sencillo, un teclado o un ratón, lo que los hace más accesibles, portables y rápidamente aceptados por parte de los usuarios. Entre los sistemas no inmersivos más conocidos está *Nintendo Wii*, *Microsoft Kinect*,

Mindmotion (25). El programa *IREX*, y *el C-mill* también son ejemplos de programas de RV que se usan en la rehabilitación de la marcha (25,33). Los sistemas además pueden combinarse con el uso de cintas rodantes o sistemas de entrenamiento de marcha con asistencia robótica, para simular situaciones reales como cruzar una calle, subir cuestas o esquivar obstáculos (22,25,27).

El uso de estos sistemas de RV en los programas de rehabilitación de pacientes con ictus puede proveer un entorno apropiado, interactivo, desafiante y motivador que, a través de la práctica repetitiva e intensiva de diferentes tareas, facilite fenómenos de reorganización cortical, neuroplasticidad y permita la recuperación de habilidades motoras como la marcha a través del aprendizaje motor (13,21,22,25,29,30). También se ha sugerido el feedback sensorial asociado a estos ejercicios en entorno virtual activa los sistemas de neuronas en espejo que, a través de mecanismos de aprendizaje por imitación, serían capaces de guardar en áreas corticales motrices primarias una memoria de representación del movimiento a realizar (21,25,29,30).

Varios estudios apoyan que, por un mismo tiempo de entrenamiento, la rehabilitación mediante RV es más efectiva para mejorar la habilidad de marcha en pacientes de ictus que la rehabilitación estándar (22,29,34,35). También se ha visto que la RV sumada a la terapia convencional (TC) es más beneficiosa que la TC sola (29,34,36–38). Los mismos estudios demuestran la efectividad del entrenamiento de la marcha en entornos virtuales para aumentar la velocidad en el 10MWT (22,25,29,34–38), para mejorar el equilibrio (22,25,29,35,37), el perímetro de marcha (22,25,36,38), la longitud de paso y de zancada (37) y la puntuación de la escala FAC (35,38). Por otro lado, según la revisión Cochrane de *Laver et al* (2017), no existe evidencia suficiente, o esta es de baja calidad, para concluir que la rehabilitación mediante RV es más efectiva para mejorar la velocidad de marcha, la movilidad global y equilibrio que la terapia convencional (24). Unos resultados similares se encuentran en la guía de práctica clínica de *Veerbeek et al.* (17). Del mismo modo, existe poca evidencia de los efectos a largo plazo del entrenamiento con RV y de cómo se transfieren sus beneficios a la actividad domiciliaria y en la comunidad (36). Tampoco hay definidos una frecuencia, intensidad y tiempo óptimo de tratamiento (22,29).

Entre los efectos secundarios indeseados se han descrito mareos, molestias visuales, desorientación, inestabilidad, dolor de cabeza y dolores posturales, entre otros, todos ellos transitorios. Su principal causa es la mala adecuación entre el sistema visual, vestibular y postural y aparecen en exposiciones prolongadas o dependiendo de las características personales de cada paciente (23). Aun así, hay pocos efectos secundarios descritos en las intervenciones en las que se usa RV y los que se reportan son bastante suaves, por lo que se puede considerar un tratamiento seguro para pacientes con ictus (22–25,32,37–39).

En conclusión, aunque existe controversia, parece estar justificado aplicar terapia con RV para mejorar la habilidad de marcha después de un ictus ya que aumenta la motivación y la adherencia al tratamiento (variabilidad de escenarios y juegos), se puede aplicar una intensidad mayor, disminuye la sensación de esfuerzo y fatiga, proporciona mayor feedback (que aumenta el aprendizaje motor), existe mayor individualización (al poder dosificar intensidad y dificultad fácilmente) y proporciona autonomía para realizar la terapia ya que no siempre será necesario un terapeuta que supervise la actividad (22,23,25,27,29)

4.3. Sujetos/ Participantes

Los pacientes elegibles para realizar un programa de rehabilitación de la marcha mediante RV serán adultos con un diagnóstico de ictus (tanto isquémico como hemorrágico), que se encuentren en una fase estable de la enfermedad, sea cual sea el tiempo transcurrido desde el accidente cerebrovascular, y que posean déficits motores y del equilibrio de cualquier nivel de gravedad.

4.3.1. Criterios exclusión

- Déficit visual severo no compensado
- Presencia de déficits severos de comprensión del lenguaje
- Presencia de déficit cognitivo severo (Mini-mental State Exam < 20) (40–42)
- Antecedentes de epilepsia

4.4. Instrumentos de valoración de la marcha

Para poder evaluar la efectividad de las intervenciones, es importante poseer un sistema de evaluación preciso y objetivo que se debe realizar tanto al inicio como al final de ésta, aunque en algunos casos también pueden realizarse valoraciones intermedias. Los datos recaudados mediante pruebas y escalas validadas nos proporcionan información acerca del estado del paciente que nos será útil tanto al inicio para determinar los objetivos del tratamiento rehabilitador y ajustar las intervenciones a su estado físico como al final para valorar las mejoras alcanzadas .

Los parámetros más utilizados para valorar la habilidad ambulatoria de los pacientes con ictus son la velocidad y el perímetro de marcha obtenidos con la prueba de marcha de 10 metros (10MWT) y la prueba de marcha de 6 minutos (6MWT), respectivamente. También aparecen a menudo la FAC y la escala de equilibrio de Berg (EEB) (15,17,18,43).

4.1.1. Prueba de marcha de seis minutos

El 6MWT nos proporciona la distancia que puede recorrer un individuo en 6 minutos, sirviendo para determinar el perímetro de marcha y la resistencia de los individuos. También se puede usar para calcular la velocidad de marcha dividiendo los metros recorridos entre el tiempo necesario en segundos (m/s). Se correlaciona con la fuerza muscular de los MMII y la funcionalidad de la marcha, siendo un predictor de la integración y marcha comunitaria de las personas con ictus (44–47).

La prueba debe realizarse en una sala o pasillo interior con una superficie plana y lisa y se marcará una distancia de 30 metros (o en su defecto 15 metros) para su realización. Se requiere de espacio adicional para realizar el giro de 180°. Los sujetos deben caminar durante seis minutos seguidos a un ritmo rápido que permita al paciente realizar el máximo de metros posibles en este tiempo, y al final de la prueba se calculará la distancia total recorrida. Para más seguridad se pueden tomar, al inicio y final de la prueba, la sensación de disnea (escala de Borg), la tensión arterial, la frecuencia cardíaca y

la saturación de oxígeno. En el artículo de *Gochicoa-Rangel et al* se describe un protocolo de realización de la prueba (44–46).

4.1.2. Prueba de marcha de 10 metros

En el 10MWT se mide el tiempo empleado, en segundos, en recorrer una distancia de 10 metros en línea recta a la velocidad máxima del individuo. Sirve para determinar la velocidad de marcha, gran predictora de independencia funcional, y también se correlaciona con la fuerza muscular en los MMII y la funcionalidad de la marcha (44,45).

4.1.3. Escala de valoración funcional de la marcha (FAC)

Consta de 6 categorías teniendo en cuenta la asistencia o soporte que necesitan las personas para llevar a cabo la marcha, del nivel 0 (no deambulación) hasta el nivel 5 (deambulación normal), y sirve para determinar el grado de dependencia en la deambulación (**Anexo 2**) (48,49).

4.1.4. Escala de equilibrio de Berg

Evalúa de forma cuantitativa el equilibrio de un sujeto tanto en sedestación como en bipedestación en 14 ítems que son representativos de acciones de la vida cotidiana como: permanecer sentado, levantarse, hacer transferencias, permanecer en pie, recoger un objeto del suelo, subir un escalón, etc. Resulta útil en la predicción de riesgo de caídas y de la habilidad de marcha (**Anexo 3**) (43,50–52).

4.1.5. Balance muscular: Escala de Oxford o del Medical Research Council

Evalúa la fuerza muscular de 0 (no contracción) a 5 (contracción muscular normal con movimiento en rango articular completo, contra gravedad y con resistencia máxima) de un músculo aislado o de un grupo de músculos que actúan sobre una articulación para generar un movimiento específico. Para evaluar la fuerza de los MMII se pueden valorar los movimientos de flexión, extensión, abducción y aducción de cadera; flexión y extensión de rodilla; y flexión dorsal y flexión plantar de tobillo. Aunque en los artículos no se usa específicamente como instrumento de valoración de la marcha, se incluye en esta lista de valoración porque la fuerza muscular está estrechamente relacionada con las habilidades motoras y las mejoras en la funcionalidad de los pacientes (**Anexo 4**) (53–55).

4.1.6. Evaluación de los parámetros espaciotemporales y cinemáticos

Estos parámetros se pueden evaluar mediante sistemas o laboratorios de análisis biomecánico de la marcha o por análisis visual de la marcha. Los primeros lo hacen mediante el uso de cámaras y marcadores pasivos reflectantes colocados en las prominencias óseas del paciente y permiten obtener datos acerca de los parámetros espaciotemporales y cinemáticos de la marcha. Tiene un

coste elevado y se necesita personal entrenado para llevarlo a cabo, por lo que no se utilizan muy habitualmente (56).

4.5. Descripción del programa según los diferentes perfiles de afectación de la marcha

Actualmente no existe consenso sobre qué sistema de RV es el mejor según el perfil de afectación de cada paciente, por lo que cada terapeuta acostumbra a escoger el que cree más conveniente según su experiencia clínica (29,37,38,57).

En este apartado se proponen tres perfiles de afectación distintos, descritos según los instrumentos de valoración de la marcha (definidos en el punto 4.4) , y se propondrá un tipo de intervención basada en RV, adecuada a cada perfil, para mejorar la habilidad de marcha. Esta intervención estaría englobada dentro de un programa de rehabilitación convencional con otro tipo de intervenciones (definidas en punto 4.1) y con el entrenamiento de otros aspectos importantes en la rehabilitación integral del individuo.

4.5.1. Perfil de afectación severa

En este perfil se incluyen personas que no son capaces de ponerse de pie ni deambular de forma autónoma. La marcha podría ser solo posible dentro de sesiones de rehabilitación y con ayuda permanente de una o dos personas. Los desplazamientos se efectúan siempre en silla de ruedas y precisan la ayuda de una tercera persona para realizar transferencias y la mayoría de las AVD's. El control de tronco en sedestación es precario, pero pueden permanecer sentados sin respaldo bajo supervisión.

En este caso los test de marcha y de equilibrio no se pueden realizar y constan como no evaluables. En la escala de equilibrio de Berg (EEB), en caso de poder realizarse, la puntuación sería menor de 20, indicando alto riesgo de caída y que los desplazamientos deben realizarse en silla de ruedas (52,58). La fuerza de los grupos musculares de los MMII es muy pobre en la mayoría de ellos.

Puntuaciones del perfil de afectación severa

<i>FAC</i>	Categorías 0 y 1
<i>6MWT</i>	No evaluable
<i>10MWT</i>	No evaluable
<i>ESCALA DE BERG</i>	No evaluable
<i>BALANCE MUSCULAR</i>	≤ 3

4.5.1.1. Intervenciones

La intervención en este grupo está, entonces, limitada por la poca capacidad de movimiento de los individuos, por lo que deberemos centrarnos en potenciar las habilidades existentes,

mantener los rangos articulares, prevenir complicaciones asociadas a la sedestación prolongada y aumentar la fuerza muscular, sobre todo del lado pléjico.

En este perfil de pacientes se debe iniciar:

- Movilización pasiva y estiramientos de MMSS y MMII para mantener los rangos articulares y la longitud muscular.
- Trabajo de fuerza en camilla mediante ejercicios isométricos, movilizaciones activo-asistidas o movilizaciones activas desgravadas. Se progresará hacia movilizaciones con menor asistencia y en contra de la gravedad (descrito en punto 4.1.7).
- Bipedestación profiláctica en un bipedestador y, cuando sea posible, de forma activa en las barras paralelas con asistencia o supervisión de una o dos personas.
- Marcha en barras paralelas con asistencia de una o dos personas, progresando hacia una menor asistencia (17,18).

Además de estas intervenciones que se realizan en la rehabilitación convencional para mejorar desempeño motor, se proponen tres estrategias de rehabilitación mediante RV con el objetivo de iniciar la marcha en este perfil de paciente. La primera es la observación de acciones, en este caso de la marcha, en ambientes virtuales inmersivos, la segunda el entrenamiento del equilibrio en sedestación y control de tronco mediante juegos de RV no inmersivos y la tercera el entrenamiento de la marcha con asistencia robótica en combinación con sistemas de RV.

a). Observación de marcha en ambientes virtuales inmersivos

Des de hace tiempo, en la rehabilitación del ictus se ha estado usado la imaginería motora (IM) y la observación de acciones (OA) como tratamiento para mejorar la habilidad motora. Se ha sugerido que ambas activan las neuronas espejo, un tipo de neuronas específicas que se activan tanto durante la observación de un acto motor llevado a cabo por otro individuo y la imaginación del movimiento, como durante la ejecución del acto motor (59,60). Se cree que mediante la activación de estas áreas la OA permite a los individuos reaprender las funciones motoras afectadas (60,61). Muchos estudios han demostrado que este tipo de terapia tiene efectos positivos en la rehabilitación motora del ictus (42,60–63) y en concreto para la mejora la habilidad de marcha (42,64). Aun así, no existe mucha evidencia sobre la efectividad la OA en un ambiente virtual inmersivo, aunque estudios recientes apuntan a que podrían ser más efectivos al sumergir a los individuos en escenarios más reales y sin distractores (41,62,65). Aunque es una intervención que podría realizarse en cualquiera de los tres perfiles, en este es especialmente recomendable para acelerar la recuperación motora sin necesidad de realizar movimientos que, en este tipo de pacientes, están muy restringidos.

Se recomienda que en las sesiones al paciente permanezca sentado en su silla de ruedas habitual o en una silla con respaldo y apoyabrazos que le resulte confortable, dentro de una sala tranquila con pocos distractores. Se iniciarán las sesiones con una explicación de las imágenes que se van a visualizar seguida de su representación mediante gafas de RV, como las *HTC Vivepro* o las *Oculus Quest*. Se pueden reproducir varios videos en los que se observe una imagen virtual de un avatar o un video de una persona real caminando desde varias perspectivas. En este trabajo se proponen tres: la primera desde una perspectiva externa y posterior (como si observara a otra persona caminando desde atrás), la segunda también desde una perspectiva externa pero lateral (como si observara a otra persona caminando de perfil), y la tercera desde una perspectiva interna, como si el propio paciente estuviera caminando, mostrando el movimiento de las piernas y de los brazos. Si no se dispusiera de gafas de RV, se podría realizar una intervención similar a través de una pantalla convencional. Aunque la duración e intensidad óptima de las sesiones no está descrita, y pueden variar en función de la tolerancia del paciente, en general se recomienda realizar sesiones de entre 30 y 60 minutos entre 4 y 6 días a la semana (41,62,65).

b). Entrenamiento del control de tronco o control postural en sedestación mediante juegos de RV no inmersivos

El control de tronco es un predictor de la recuperación de la marcha y su déficit está relacionado con una peor habilidad de marcha (66). Su entrenamiento, por lo tanto, está indicado en la rehabilitación del ictus y puede mejorar la marcha y las tareas relacionadas con ésta, como sentarse, levantarse, subir escalones, etc. (17,18). Aunque no existe mucha evidencia del uso de sistemas de RV para trabajar el control de tronco, estudios recientes han demostrado su eficacia para mejorar el equilibrio en sedestación en varias patologías, incluida el ictus (40,67,68).

En las sesiones los pacientes permanecerán sentados. Se puede escoger entre las varias superficies según su capacidad de sedestación y evolución: silla de ruedas habitual, silla con respaldo y sin apoyabrazos, camilla regulable en altura (base amplia sin respaldo) o taburete (base reducida, sin respaldo). Se realizarán ejercicios de control de tronco que impliquen mantener el equilibrio en sedestación mientras se realizan movimientos con los MMSS, acciones de alcance manual o movimientos de inclinación de tronco para interactuar con los juegos. Para escoger los juegos, por lo tanto, se deberá tener en cuenta la capacidad de motora de los MMSS, y el nivel de dificultad se irá aumentando conforme el paciente progrese. Existen una gran variedad de dispositivos y sistemas mediante los cuales realizar intervenciones de este tipo, aunque las más utilizadas en rehabilitación son:

- **Nintendo Wii™**: mediante los juegos *Wii sports* y *Wii fit plus* se pueden realizar múltiples actividades con las que trabajar el control de tronco. El paciente

interactúa mediante el mando sin cables de Wii que tiene sensores de movimiento y detecta cambios de dirección, velocidad y aceleración. El mando se debe sujetar con una mano, por lo que los pacientes que no sean capaces de sujetarlo necesitaran asistencia del terapeuta. Esta consola es ligera y económica por lo que se puede integrar fácilmente en el ámbito clínico (69,70).

- **MindMotion™ + Kinect:** *MindMotion* es un software o plataforma diseñada específicamente para la neurorrehabilitación y se usa en combinación con el dispositivo de detección de movimiento *Kinect* y una pantalla. Los sensores detectan la actividad del paciente y el software la transforma en el movimiento de un avatar que aparece en la pantalla para ejecutar el juego. Posee nueve ejercicios específicos para trabajar el control de tronco con 10 niveles de dificultad (71).
- **GestureTek IREX:** es un software que, mediante un ordenador que desarrolla el programa, una pantalla y una videocámara, es capaz de presentar al paciente totalmente inmerso en el ambiente virtual. La diferencia con los otros sistemas es que el paciente se ve a sí mismo y no a un avatar, aunque el inconveniente es que se debe instalar un croma para que esto sea posible. Dispone de siete juegos que se realizan con el movimiento de los MMSS (*Airborne Rangers, Birds and Balls, Coconut, Conveyor, Drums, Juggler, y Soccer*), y que serían aptos para trabajar en sedestación (22,25,30,38).

Es recomendable realizar esta intervención bajo la supervisión del terapeuta y proporcionar asistencia si es necesaria. Se recomienda realizar sesiones de entre 30 y 45 minutos para el entrenamiento de equilibrio en sedestación utilizando varios juegos de RV, de 4 a 6 días a la semana, aunque el tiempo y la intensidad variarían en función de la tolerancia y fatiga de cada paciente (40,67,68).

c). Entrenamiento de la marcha con asistencia robótica combinado con programas de realidad virtual

En la mayoría de los estudios se usa el dispositivo *Lokomat®* (Hocoma, Suiza) combinado con pantallas integradas al robot. Aunque el EMAR ya es de por sí muy efectivo para la rehabilitación de la marcha, la combinación con la RV aumenta el output motor y la motivación de los pacientes (31,72).

En las sesiones se instalará al paciente en el dispositivo robótico y se utilizará el feedback visual de la pantalla integrada (software integrado de *Lokomat®: Augmented feedback*) para exponerlos al ambiente virtual. El movimiento creado se verá representado en las imágenes visualizadas que darán la sensación de avanzar sobre un terreno a la vez que se deberán cumplir objetivos como capturar objetos que se presenten o evitar obstáculos.

Se recomienda realizar sesiones de 30 a 60 minutos, entre 3 y 6 días a la semana, aunque el tiempo y la intensidad variarían en función de la tolerancia del paciente.

Se ha encontrado muy poca información y evidencia del uso de gafas de RV durante el entrenamiento de la marcha con sistemas de asistencia robótica y en cinta rodante. En el estudio de *Winter et al. 2020* se usaban el modelo de gafas de RV *HTC VivePro* junto con los *HTC vive trackers* colocados en los pies del paciente para sincronizar los movimientos con el avatar del mundo virtual. En el de *Keersmaecker et al. 2020* (estudio en sujetos sanos) solo informa que se usaron las gafas de RV de *Oculus Rift* durante el entrenamiento en Lokomat, y en el estudio de *Brandín-De la Cruz et al. 2020* usaba un sistema llamado *Motigravity* (Fabricado por Aldebran, Italia) que consta de un tapiz rodante, con un sistema de SPPC y gafas de RV (73–75).

4.5.2. Perfil de afectación media

Este grupo de pacientes solo son capaces de caminar en interiores y en superficies planas y horizontales, dentro de un área conocida y controlada como el hogar. Son capaces de levantarse con una mínima ayuda y solo precisan de un contacto ligero permanente o intermitente para mantener el equilibrio o asistir la coordinación durante la marcha (49,76).

Aunque los valores de referencia de la 6MWT pueden variar en función de la edad y de la altura de los individuos, en el artículo de *Kubo et al.* se ha determinado que por un FAC de 2 la distancia recorrida es de 141,8m (con una desviación estándar (DE) de 107,3m), siendo el valor de referencia para adultos sanos de 624m para hombres y 541 para mujeres (76). La velocidad de marcha determinada por el 10MWT se ha establecido en valores entre los 0,2 y los 0,8 m/s e indica una marcha comunitaria limitada (18). La puntuación en la EEB se ha supuesto entre 21-40 puntos que según *Berg et al.* corresponde a personas que precisan asistencia a la marcha y donde existe un riesgo de caída moderado (52,58). El balance muscular en la escala de Oxford de las EEII se situaría entre 3 y 4 por lo que los sujetos pueden vencer la gravedad en todo el arco de movimiento y/o podrían vencer una resistencia moderada.

Puntuaciones del perfil de afectación media

FAC	Categoría 2
6MWT	141,8m ± 107,3
10MWT	0,2-0,8 m/s
ESCALA DE BERG	21-40 p
BALANCE MUSCULAR	3- 4

4.5.2.1. Intervención

La intervención en este grupo deberá estar basada en mejorar el equilibrio en bipedestación, aumentar la velocidad y el perímetro de marcha y seguir aumentando la fuerza muscular de los MMII. En el tratamiento rehabilitador de este perfil de pacientes debe constar:

- Trabajo de fuerza muscular introduciendo resistencias ligeras y con ejercicios en cadena cinética cerrada como sería el gesto de “sentadilla” que se puede practicar levantándose de una silla varias veces con la ayuda de los brazos si es necesario.
- Trabajo del equilibrio en bipedestación (descrito en el punto 4.1.6.).
- Entrenamiento de la marcha con asistencia robótica (EMAR) (descrito en el punto 4.1.2.).
- Entrenamiento de la marcha con soporte parcial del peso corporal (SPPC) en cinta (descrito en el punto 4.1.3.) o con el dispositivo Andago ®.

En este caso, a las estrategias de la rehabilitación convencional se añade la RV en tres de las estrategias convencionales mencionadas: entrenamiento de la marcha con asistencia robótica, entrenamiento de la marcha en cinta con SPPC y entrenamiento del equilibrio en bipedestación.

a). Entrenamiento de la marcha con asistencia robótica combinado con programas de realidad virtual

Descrito en el apartado c del punto 4.5.1.1. (31,72–75).

En este perfil de paciente podremos empezar a disminuir el % de soporte de peso y la asistencia del robot y a aumentar la velocidad de marcha y el tiempo de tratamiento según la evolución de cada paciente y teniendo en cuenta su fatigabilidad y confort.

b). Entrenamiento de la marcha con cinta rodante con soporte parcial del peso corporal combinado con RV

El entrenamiento en cinta rodante es una de las intervenciones más usadas en la rehabilitación de la marcha. La SPPC sustituye el déficit de equilibrio del paciente, y permite desarrollar un ciclo de marcha con alternancia rítmica del paso asegurando la extensión de cadera en la fase de apoyo (recomendaciones descritas en punto 4.1.1.) (21). Este sistema en combinación con los sistemas de RV ha demostrado su efectividad en la mejora del equilibrio y velocidad de marcha (17,27,29,35). A continuación, se exponen algunos ejemplos de sistemas de RV combinables con el entrenamiento en cinta rodante:

- **Programa de Jogging de Nintendo Wii Fit** (sistema descrito con más detalle en el apartado b del punto 4.5.1.1.) (77).

- **Dispositivo C-mill:** Es un sistema de entrenamiento de la marcha en cinta rodante combinado con realidad aumentada. No dispone de sistema de SPPC, pero si de un arnés de seguridad con el que es posible sujetar al paciente y evitar caídas. Posee una pantalla integrada y un sistema de juegos con los que el paciente puede interactuar mientras camina. Los juegos también pueden proyectar imágenes encima de la cinta rodante, como obstáculos o líneas a seguir (78)

Como se ha descrito en el apartado c del punto 4.5.1.1 no existe mucha información ni evidencia acerca del uso de gafas de RV en el entrenamiento de la marcha en cinta rodante.

Se recomienda realizar sesiones de 30 a 40 minutos, entre 4 y 6 días a la semana, aunque el tiempo y la intensidad variarían en función de la tolerancia del paciente.

c). Entrenamiento del equilibrio en bipedestación mediante juegos de RV

El entrenamiento del equilibrio en bipedestación en combinación con juegos de RV ha demostrado mejorar la puntuación en la escala de Berg y la velocidad de marcha (17,27,29,35,79).

En las sesiones el paciente permanecería de pie y se proporcionaría con algún apoyo anterior para mantener el equilibrio si fuera necesario. Se podría trabajar con diferentes dispositivos como *Nintendo Wii*, *Mindmotion+ Kinect* o *IREX* con los que se puede realizar cualquier juego que implique mantener el equilibrio en bipedestación mientras se realizan acciones manuales, cambios de distribución del peso corporal y otros movimientos.

- **Wii Fit™ Plus con Wii Balance Board™:** este juego de *Nintendo Wii* incorpora un paquete de actividades específicas de equilibrio en el menú principal como el *ski slalom*, *tilt table*, *downstream* y *sub-zero fishing*. Los movimientos son detectados a través del mando que se sujeta en una mano o en la balanceboard que consta de 4 sensores de peso y presión que detectan las transferencias de peso en diferentes direcciones. Cuando esta información se refleja en una pantalla usando un avatar, el paciente puede observar sus movimientos y proporciona un feedback positivo (69,70).
- **MindMotion™ + Kinect:** explicado en detalle en el apartado b del punto 4.5.1.1. Posee también ejercicios específicos para trabajar el equilibrio en bipedestación.
- **GestureTek IREX:** explicado en detalle en el apartado b del punto 4.5.1.1. Se realizarían los mismos ejercicios, pero de pie.

Es recomendable realizar esta intervención bajo la supervisión del terapeuta. Se recomienda realizar sesiones de entre 30 y 40 minutos, 4-6 días a la semana, aunque el tiempo y la intensidad variarían en función de la tolerancia de cada paciente.

4.5.3. Perfil de afectación leve

Este grupo de pacientes son capaces de caminar tanto en interiores como en exteriores de forma independiente pero restringida y con alteraciones espaciotemporales y cinemáticas.

Puntuaciones del perfil de afectación leve

FAC	Categorías 3 y 4
6MWT	224,5m \pm 105,8 – 352,6m \pm 92,8
10MWT	> 0,8 m/s
ESCALA DE BERG	41-56 p
BALANCE MUSCULAR	4 y 5

Como se ha redactado en el apartado anterior, en el artículo de *Kubo et al.* se determinó que por un FAC de 3 la distancia recorrida es de 224,5m (con una DE de 105,8m) y por un FAC de 4: 352,6m con una DE de 92,8m. También establece un valor de corte de entre 318 y 332m para la marcha independiente en la comunidad (76). La velocidad de marcha determinada por el 10MWT se ha establecido en valores superiores a los 0,8 m/s e indica posibilidad marcha comunitaria (18). La puntuación en la EEB se ha supuesto entre 41-56 puntos, que según *Berg et al.* corresponde a personas que poseen una marcha independiente y que tienen un leve riesgo de caída (52,58). El FAC 5 no se incluye dentro de estos perfiles porque en esa categoría no existe afectación de la marcha.

4.5.3.1. Intervención

En este perfil de paciente menos afectado los objetivos de la rehabilitación irán encaminados a disminuir asimetrías, mejorar su patrón de marcha y seguir aumentando la velocidad y el perímetro de marcha para una correcta integración a la comunidad.

El tratamiento rehabilitador debe integrar:

- Entrenamiento de la marcha en cinta rodante sin SPPC (punto 4.1.3)
- Entrenamiento del equilibrio en circuitos grupales (punto 4.1.8.)
- Entrenamiento de la fuerza y la resistencia aeróbica (punto 4.1.7.)
- Entrenamiento de la marcha en terrenos funcionales y en entorno inmediato como la calle cerca domicilio y la adaptación progresiva a su día a día previo (punto 4.1.5.).

Como estrategias de RV, se propone:

a). Entrenamiento en cinta sin soporte del peso corporal combinado con RV

El entrenamiento en cinta combinado con RV ha demostrado mejores resultados que sin esta (34,80).

La información sobre este tipo de intervención se encuentra detallada en el punto 4.1.3. y en apartado b del punto 4.5.2.1. En este caso no se utilizaría el sistema de SPPC y se aumentaría la velocidad de la cinta rodante.

b). Entrenamiento de la movilidad y el equilibrio en bipedestación combinado con RV

Se realizaría de la misma forma en la que se ha descrito en el apartado c) del punto 4.5.2.1., pero aumentando la dificultad de los juegos según la evolución y tolerancia de cada paciente.

c). Telerehabilitación

La utilización domiciliar de las consolas comerciales y los sistemas de RV descritos en los puntos anteriores (*Wii*, *IREX* y *Mindmotion*), permite la continuidad de la rehabilitación fuera del ámbito hospitalario, así como un aumento de la dosis de tratamiento. Permite obtener beneficios funcionales, tanto desde el punto de vista motor como del equilibrio (25).

5. Conclusiones

El ictus es una enfermedad grave que deja múltiples secuelas que afectan la calidad de vida de las personas. Los déficits motores, afectan a la capacidad de marcha y pueden suponer una pérdida importante de independencia funcional.

La realidad virtual (RV) provee parámetros adecuados para la recuperación motora como feedback multisensorial, dosis altas de entrenamiento y realización de actividades motivantes y relevantes. Aun así, no debe utilizarse como un tratamiento único, pero si como complemento que añadir a las técnicas ya utilizadas en el tratamiento rehabilitador convencional de la marcha en el ictus, enriqueciendo la variabilidad de las sesiones y aumentando la motivación y el tiempo total de tratamiento. Por ejemplo, sistemas de RV no inmersivos, como las consolas comerciales, han demostrado una gran efectividad para mejorar el equilibrio, así como la combinación del entrenamiento de la marcha con asistencia robótica o en cinta rodante con la realidad virtual para mejorar la habilidad de marcha. Además, la accesibilidad y bajo coste de la mayoría de ellos los hace aptos para incorporarlas en los centros de rehabilitación y en los domicilios, lo cual optimiza todavía más su recuperación. Todas estas razones parecen justificar la

aplicación de sistemas de RV junto con el tratamiento convencional para mejorar el equilibrio y la habilidad de marcha después de un ictus.

Aunque los estudios realizados hasta ahora demuestran la efectividad y la seguridad del uso de la RV en rehabilitación, se necesitan más estudios, con muestras más grandes y mayor período de seguimiento, que investiguen la efectividad de estos sistemas en los diferentes perfiles de paciente post-ictus para poder determinar con exactitud qué sistema es el mejor para cada uno de ellos.

Anexo I- Clasificación del ictus isquémico

Fuentes: Gomis, M et al. *Diagnòstic i tractament de les malalties vasculars cerebrals. Guies mèdiques de la Societat Catalana de Neurologia* Diagnòstic i tractament de les malalties vasculars cerebrals (2018) y Diez-Tejedor, E. *Guía para el diagnóstico y tratamiento del ictus*. Prous Science (2006)

Podemos clasificar el ictus isquémico según el territorio vascular afectado, según su etiología y según la topografía vascular.

1. Clasificación por topografía vascular

- Infarto de territorio carotideo
- Infarto de territorio vertebrobasilar
- Infarto de territorio frontera o de zona limítrofe: la lesión isquémica se sitúa en la zona frontera entre dos arterias principales o entre el territorio superficial y profundo de una misma arteria.
- Infarto por trombosis venosa cerebral
- Enfermedad cerebrovascular de vaso arterial grande: afectación de las arterias carótida o vertebrobasilar y sus ramas principales.
- Enfermedad cerebrovascular de vaso arterial pequeño

2. Clasificación etiológica

Debido a su sencillez, en la actualidad se utiliza la clasificación del Trial of Org 10172 in Acute Stroke Registry (TOAST) la cual incluye los siguientes subtipos de ictus (1,4) (se indica entre paréntesis la frecuencia con la que se produce cada uno):

- Infarto aterotrombótico (15-20%): se produce por presencia de aterosclerosis en grandes vasos.
 - Aterosclerosis con estenosis mayor del 50% de la arteria de la que depende el territorio afectado (intra o extracraneal).
 - Aterosclerosis sin estenosis junto con presencia de factores de riesgo vascular: edad >50 años, hipertensión arterial (HTA), diabetes mellitus (DM), tabaquismo y dislipemia.
- Infarto cardioembólico (25-30%): Son infartos generalmente corticales, de tamaño medio o grande, con presencia de una cardiopatía embolígena.
- Infarto lacunar (20%): enfermedad oclusiva de pequeño vaso arterial en la que se producen infartos menores a 1,5 cm de diámetro (2mm en fase aguda) en territorio de arterias perforantes del polígono de Willis. Asociado a existencia de HTA o otros factores de riesgo cardiovascular.
- Infarto cerebral de causa rara (1,5%): Se produce sobre todo en pacientes jóvenes debido a vasculopatías, hemopatías y enfermedades sistémicas. Se deben descartar todas las etiologías anteriores.
- Infarto cerebral de origen indeterminado (20-30%): Podemos incluir en esta categoría los ictus que no encajan en ninguna de las categorías anteriores por diversos motivos:
 - Tras un estudio completo, se descartan las causas anteriores.
 - Por causa doble: fibrilación auricular + estenosis carotidea o valvulopatía + infarto lacunar

- Por estudio incompleto

3. Clasificación por topografía parenquimatosa

Según la clasificación de Oxfordshire Community Stroke Project, podemos clasificar los ictus en:

- Infarto total de la circulación anterior o TACI: Debe cumplir 3 de los siguientes criterios:
 - Disfunción cortical: afasia, problemas visuoespaciales y disminución del nivel de conciencia
 - Hemianopsia homónima
 - Afectación motora y sensitiva (>2/3 cara, brazo y pierna)
- Infartos parciales circulación anterior o PACI: Solo cumple 1 o 2 de los requisitos TACI.
- Infartos lacunares o LACI: Los más típicos:
 - Síndrome motor puro 55%
 - Síndrome sensitivo puro 18%
 - Síndrome sensitivo-motor 15%
 - Hemiparesia- ataxia 3%
 - Disartria- mano torpe 2%
- Infarto total de circulación posterior o POCI:
 - Parálisis pares craneales y defecto motor o sensitivo contralateral
 - Afectación motora o sensitiva bilateral
 - Trastornos de movimiento ocular
 - Problemas de coordinación (ataxia)
 - Hemianopsia homónima aislada

Anexo 2- Escala de equilibrio de Berg (52)

Fuente: Carles-Hernández, RM. (2014) *Estudio meta-analítico de generalización de la fiabilidad de la escala de equilibrio de Berg [Tesis de doctorado, Universidad de Murcia]*.
<https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/43419>

Instrucciones generales:

- A. **Hacer una demostración de cada función.** Al puntuar recoger la respuesta más baja aplicada a cada ítem. En la mayoría de los ítems, se pide al paciente que mantenga una posición dada durante un tiempo determinado. Se van reduciendo más puntos progresivamente si no se consigue el tiempo o la distancia fijada, si la actuación del paciente requiere supervisión, o si el paciente toca un soporte externo o recibe ayuda del examinador.
- B. **El equipamiento requerido para la realización del test consiste en un cronómetro o reloj con segundero, una regla u otro indicador de 5, 12 y 25 cm. Las sillas utilizadas deben tener una altura razonable.** Para la realización del ítem 12, se precisa un escalón o un taburete (de altura similar a un escalón).

1. DE SEDESTACIÓN A BIPEDESTACIÓN

INSTRUCCIONES: Por favor, levántese. Intente no ayudarse de las manos.

- () 4 capaz de levantarse sin usar las manos y de estabilizarse independientemente
- () 3 capaz de levantarse independientemente usando las manos
- () 2 capaz de levantarse usando las manos y tras varios intentos
- () 1 necesita una mínima ayuda para levantarse o estabilizarse
- () 0 necesita una asistencia de moderada a máxima para levantarse

2. BIPEDESTACIÓN SIN AYUDA

INSTRUCCIONES: Por favor, permanezca de pie durante dos minutos sin agarrarse.

- () 4 capaz de estar de pie durante 2 minutos de manera segura
- () 3 capaz de estar de pie durante 2 minutos con supervisión
- () 2 capaz de estar de pie durante 30 segundos (seg) sin agarrarse
- () 1 necesita varios intentos para permanecer de pie durante 30 seg. sin agarrarse
- () 0 incapaz de estar de pie durante 30 segundos sin asistencia

3. SEDESTACIÓN SIN APOYAR LA ESPALDA, PERO CON LOS PIES SOBRE EL SUELO O SOBRE UN TABURETE O ESCALÓN

INSTRUCCIONES: Por favor, siéntese con los brazos junto al cuerpo durante 2 min.

- () 4 capaz de permanecer sentado de manera segura durante 2 minutos
- () 3 capaz de permanecer sentado durante 2 minutos bajo supervisión
- () 2 capaz de permanecer sentado durante 30 seg.
- () 1 capaz de permanecer sentado durante 10 seg.
- () 0 incapaz de permanecer sentado sin ayuda durante 10 seg.

4. DE BIPEDESTACIÓN A SEDESTACIÓN

INSTRUCCIONES: Por favor, siéntese.

- () 4 se sienta de manera segura con un mínimo uso de las manos
- () 3 controla el descenso mediante el uso de las manos
- () 2 usa la parte posterior de los muslos contra la silla para controlar el descenso
- () 1 se sienta independientemente, pero no controla el descenso
- () 0 necesita ayuda para sentarse

5. TRANSFERENCIAS

INSTRUCCIONES: Prepare las sillas para una transferencia en pivót. Pida al paciente de pasar primero a un asiento con apoyabrazos y a continuación a otro asiento sin apoyabrazos. Se pueden usar dos sillas (una con y otra sin apoyabrazos) o una cama y una silla.

- () 4 capaz de transferir de manera segura con un mínimo uso de las manos
- () 3 capaz de transferir de manera segura con ayuda de las manos
- () 2 capaz de transferir con indicaciones verbales y/o supervisión
- () 1 necesita una persona que le asista
- () 0 necesita dos personas que le asistan o supervisen la transferencia para que sea segura.

6. BIPEDESTACIÓN SIN AYUDA CON OJOS CERRADOS

INSTRUCCIONES: Por favor, cierre los ojos y permanezca de pie durante 10 segundos.

- () 4 capaz de permanecer de pie durante 10 seg. de manera segura
- () 3 capaz de permanecer de pie durante 10 seg. con supervisión
- () 2 capaz de permanecer de pie durante 3 seg.
- () 1 incapaz de mantener los ojos cerrados durante 3 seg., pero capaz de permanecer firme
- () 0 necesita ayuda para no caerse

7. PERMANECER DE PIE SIN AGARRARSE CON LOS PIES JUNTOS

INSTRUCCIONES: Por favor, junte los pies y permanezca de pie sin agarrarse.

- () 4 capaz de permanecer de pie con los pies juntos de manera segura e independiente durante 1 minuto
- () 3 capaz de permanecer de pie con los pies juntos independientemente durante 1 minuto con supervisión
- () 2 capaz de permanecer de pie con los pies juntos independientemente, pero incapaz de mantener la posición durante 30 seg.
- () 1 necesita ayuda para lograr la postura, pero es capaz de permanecer de pie durante 15 seg. con los pies juntos.
- () 0 necesita ayuda para lograr la postura y es incapaz de mantenerla durante 15 seg.

8. LLEVAR EL BRAZO EXTENDIDO HACIA DELANTE EN BIPEDESTACIÓN

INSTRUCCIONES: Levante el brazo a 90°. Estire los dedos y llévelo hacia delante todo lo que pueda. El examinador coloca una regla al final de los dedos cuando el brazo está a 90°. Los dedos no deben tocar la regla mientras llevan el brazo hacia delante. Se mide la distancia que el dedo alcanza mientras el sujeto está lo más inclinado hacia adelante. Cuando es posible, se pide al paciente que use los dos brazos para evitar la rotación del tronco.

- () 4 puede inclinarse hacia delante de manera cómoda >25 cm
- () 3 puede inclinarse hacia delante de manera segura >12 cm
- () 2 can inclinarse hacia delante de manera segura >5 cm
- () 1 se inclina hacia delante, pero requiere supervisión
- () 0 pierde el equilibrio mientras intenta inclinarse hacia delante o requiere ayuda

9. EN BIPEDESTACIÓN, RECOGER UN OBJETO DEL SUELO

INSTRUCCIONES: Recoger el objeto (zapato/zapatilla) situado delante de los pies

- () 4 capaz de recoger el objeto de manera cómoda y segura
- () 3 capaz de recoger el objeto, pero requiere supervisión
- () 2 incapaz de coger el objeto, pero llega de 2 a 5cm (1-2 pulgadas) del objeto y mantiene el equilibrio de manera independiente
- () 1 incapaz de recoger el objeto y necesita supervisión al intentarlo
- () 0 incapaz de intentarlo o necesita asistencia para no perder el equilibrio o caer

10. EN BIPEDESTACIÓN, GIRARSE PARA MIRAR ATRÁS

INSTRUCCIONES: Gire para mirar atrás a la izquierda. Repita lo mismo a la derecha

El examinador puede sostener un objeto por detrás del paciente al que puede mirar para favorecer un mejor giro.

- () 4 mira hacia atrás hacia ambos lados y desplaza bien el peso
- () 3 mira hacia atrás desde un solo lado, en el otro lado presenta un menor desplazamiento del peso del cuerpo
- () 2 gira hacia un solo lado, pero mantiene el equilibrio
- () 1 necesita supervisión al girar
- () 0 necesita asistencia para no perder el equilibrio o caer

11. GIRAR 360 GRADOS

INSTRUCCIONES: Dar una vuelta completa de 360 grados. Pausa. A continuación, repetir lo mismo hacia el otro lado.

- () 4 capaz de girar 360 grados de una manera segura en 4 seg. o menos
- () 3 capaz de girar 360 grados de una manera segura sólo hacia un lado en 4 seg. o menos
- () 2 capaz de girar 360 grados de una manera segura, pero lentamente
- () 1 necesita supervisión cercana o indicaciones verbales
- () 0 necesita asistencia al girar

12. SUBIR ALTERNANTE LOS PIES A UN ESCALÓN O TABURETE EN BIPEDESTACIÓN SIN AGARRARSE

INSTRUCCIONES: Sitúe cada pie alternativamente sobre un escalón/taburete. Repetir la operación 4 veces para cada pie.

- () 4 capaz de permanecer de pie de manera segura e independiente y completar 8 escalones en 20 seg.
- () 3 capaz de permanecer de pie de manera independiente y completar 8 escalones en más de 20 seg.
- () 2 capaz de completar 4 escalones sin ayuda o con supervisión
- () 1 capaz de completar más de 2 escalones necesitando una mínima asistencia
- () 0 necesita asistencia para no caer o es incapaz de intentarlo

13. BIPEDESTACIÓN CON LOS PIES EN TANDEM

INSTRUCCIONES: Demostrar al paciente. Sitúe un pie delante del otro. Si piensa que no va a poder colocarlo justo delante, intente dar un paso hacia delante de manera que el talón del pie se sitúe por delante del zapato del otro pie (para puntuar 3 puntos, la longitud del paso debería ser mayor que la longitud del otro pie y la base de sustentación debería aproximarse a la anchura del paso normal del sujeto).

- () 4 capaz de colocar el pie en tándem independientemente y sostenerlo durante 30 seg.
- () 3 capaz de colocar el pie por delante del otro de manera independiente y sostenerlo durante 30 seg.
- () 2 capaz de dar un pequeño paso de manera independiente y sostenerlo durante 30 seg.
- () 1 necesita ayuda para dar el paso, pero puede mantenerlo durante 15 seg.
- () 0 pierde el equilibrio al dar el paso o al estar de pie.

14. BIPEDESTACIÓN SOBRE UN PIE

INSTRUCCIONES: Apoyo sobre un pie sin agarrarse.

- () 4 capaz de levantar la pierna independientemente y sostenerla durante >10 seg.
- () 3 capaz de levantar la pierna independientemente y sostenerla entre 5-10 seg.
- () 2 capaz de levantar la pierna independientemente y sostenerla durante 3 o más seg.
- () 1 intenta levantar la pierna, incapaz de sostenerla 3 segundos, pero permanece de pie de manera independiente
- () 0 incapaz de intentarlo o necesita ayuda para prevenir una caída

() PUNTUACIÓN TOTAL (Máximo= 56)

Interpretación de resultados:

- **0-20 p:** silla de ruedas + alto riesgo de caída
- **21-40 p:** asistencia a la marcha + moderado riesgo de caída
- **41-56 p:** marcha independiente + leve riesgo de caída

Anexo 3- Escala de valoración funcional de la marcha (FAC) (49)

FAC	
Clasificación	Definición
Nivel 0 (nonambulation):	Incapacidad absoluta para caminar, incluso con ayuda externa.
Nivel 1 (deambulaci3n funcional)	Caminar dependiente, lo que requiere la ayuda permanente de otras personas. El paciente debe estar firmemente apoyada por 1 o 2 personas, y / o Caminar es posible s3lo dentro de una sesi3n de terapia en el hogar o en el hospital, entre las barras paralelas. Este es el 3nico nivel funcional que no es independiente y se denomina por tanto no funcionales.
Nivel 2 (hogar deambulaci3n)	Caminar es s3lo en interiores posibles, sobre superficies planas y horizontales, por lo general dentro de un 3rea conocida y controlada, como en el hogar.
Nivel 3 (alrededores de la casa de la deambulaci3n o barrio)	Los pacientes son capaces de caminar en interiores como en exteriores en superficies irregulares, y son capaces de subir un paso ocasional o escalera. Por lo tanto, el paciente es capaz de caminar en la calle, aunque dentro de una distancia limitada y restringida a pie.
Nivel 4 (deambulaci3n independiente de la comunidad)	Los pacientes son capaces de caminar en todo tipo de superficies irregulares. Pueden subir y bajar escalones o escaleras, rampas, bordillos, etc. Tienen un considerable, aunque no restringido, a poca distancia, hasta el punto de que son capaces de comprar comida. Sin embargo, no se consideran caminantes normales porque tienen anomal3as est3ticas, como una cojera evidente.
Nivel 5 (normal deambulaci3n):	Caminar es completamente normal en la distancia y la apariencia, tanto en casa como fuera y con una distancia ilimitada, no hay anomal3a est3tica o cojera. Pueden andar de puntillas, caminar sobre los talones, y en t3ndem

Ilustraci3n 5. Fuente: Guti3rrez-L3onard et al. Escala de valoraci3n funcional de la marcha (FAC) para valorar el riesgo de ca3das en AVC

Anexo 4- Escala de Oxford o de Medical Research Council (54)

Fuente (traducida): *Roman, N et al. Customized Manual Muscle Testing for post-stroke upper extremity assessment. Brain Sciences (2022) 12 (4) 457.*

- 0= ausencia de actividad o contracción, que se traduce como parálisis total.
- 1= contracción palpable, pero sin evidencia de movimiento significativo
- 2= hay contracción y el grupo muscular puede conseguir el movimiento articular en su rango completo, pero no en contra de la gravedad.
- 3= el músculo puede completar el rango de movimiento completo, pero solo resistiéndose a la fuerza de la gravedad; cuando se aplica resistencia el movimiento se interrumpe.
- 4= el músculo puede completar todo el rango de movimiento y tolerar resistencia moderada sin interrumpir el mismo, aunque al aplicar la resistencia máxima se observa una “ruptura” clara del movimiento.
- 5= se trata de la “fuerza normal” y el examinador o terapeuta no puede cambiar la posición final del músculo contraído al final rango de prueba y con la resistencia máxima.

Bibliografía

1. Díez Tejedor Exuperio. Guía para el diagnóstico y tratamiento del ictus. Prous Science; 2006.
2. Crow EL. Cerebrovascular Accident. Pediatric Clinical Advisor. 2007;105–6.
3. Ustrell-Roig X, Serena-Leal J. Stroke. Diagnosis and therapeutic management of cerebrovascular disease. Revista Espanola de Cardiologia. 2007;60(7):753–69.
4. Gomis M, Martí-Fàbregas J, Purroy F, Campello AR. Diagnòstic i tractament de les malalties vasculars cerebrals Guies mèdiques de la Societat Catalana de Neurologia Diagnòstic i tractament de les malalties vasculars cerebrals 2018 COORDINADES PER.
5. Sociedad Española de Neurología. El Atlas del ictus en España. 2019.
6. Kelly-Hayes M, Robertson JT, Broderick JP, Duncan PW, Hershey LA, Roth EJ, et al. The American heart association stroke outcome classification. Stroke [Internet]. 1998 [cited 2022 Mar 23];29(6):1274–80. Available from: <http://ahajournals.org>
7. Dietz V. Physiology of Human Gait: Neural processes. Gait Disorders Advances in Neurology. 2001;87.
8. Molina Rueda F, Cano de la Cuerda R, Alguacil Diego IM. Neurofisiología de la marcha. En: La marcha humana. Biomecánica, evaluación y patología. . 1º. Madrid: Editorial Medica Panamericana; 2020. 3–12 p.
9. Purves D. Neurociencia. 5º edición. Editorial Médica Panamericana, editor. Madrid; 2015.
10. Machado S, Cunha M, Velasques B, Minc D, Teixeira S, Domingues CA, et al. Integración sensitivomotora: conceptos básicos, anomalías relacionadas con trastornos del movimiento y reorganización cortical inducida por el entrenamiento sensitivomotor. Rev Neurol. 2010;51(7):427–36.
11. Takakusaki K. Neurophysiology of gait: From the spinal cord to the frontal lobe. Vol. 28, Movement Disorders. 2013. p. 1483–91.
12. Akay T, Murray AJ. Relative contribution of proprioceptive and vestibular sensory systems to locomotion: Opportunities for discovery in the age of molecular science. Vol. 22, International Journal of Molecular Sciences. MDPI AG; 2021. p. 1–18.
13. Beyaert C, Vasa R, Frykberg GE. Gait post-stroke: Pathophysiology and rehabilitation strategies. Vol. 45, Neurophysiologie Clinique. Elsevier Masson SAS; 2015. p. 335–55.
14. Verma R, Arya KN, Sharma P, Garg RK. Understanding gait control in post-stroke: Implications for management. Journal of Bodywork and Movement Therapies. 2012 Jan;16(1):14–21.
15. Balaban B, Tok F. Gait Disturbances in Patients With Stroke. Vol. 6, PM and R. Elsevier Inc.; 2014. p. 635–42.
16. Li S, Francisco GE, Zhou P. Post-stroke hemiplegic gait: New perspective and insights. Frontiers in Physiology. 2018 Aug 2;9(AUG).
17. Veerbeek J, Kantonsspital L, van Wegen E, Hendriks EJ, Rietberg MB. Clinical Practice Guideline for Physical Therapy after Stroke (Dutch: KNGF-richtlijn Beroerte) Copd Physiotherapy View project Walking-induced motor fatigability in Multiple Sclerosis View project [Internet]. 2014. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/282247781>
18. Winstein CJ, Stein J, Arena R, Bates B, Cherney LR, Cramer SC, et al. Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery: A Guideline for Healthcare Professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. Vol. 47, Stroke. Lippincott Williams and Wilkins; 2016. p. e98–169.

19. Fernández-González P, Molina-Rueda F, Cuesta-Gómez A A, Carratalá-Tejada M, Miangolarra-Page JC. Análisis instrumental de la marcha en pacientes con ictus. *Revista Neurología*. 2016;63:433–9.
20. Velasques B, MacHado S, Paes F, Cunha M, Sanfim A, Budde H, et al. Sensorimotor integration and psychopathology: Motor control abnormalities related to psychiatric disorders. Vol. 12, *World Journal of Biological Psychiatry*. 2011. p. 560–73.
21. Bayón M, Martínez J. Plasticidad cerebral inducida por algunas terapias aplicadas en el paciente con ictus. *Rehabilitación*. 2008 Apr;42(2):86–91.
22. Corbetta D, Imeri F, Gatti R. Rehabilitation that incorporates virtual reality is more effective than standard rehabilitation for improving walking speed, balance and mobility after stroke: A systematic review. *Journal of Physiotherapy*. 2015;61(3):117–24.
23. Guzmán DE, Londoño J. Rehabilitación de miembro superior con ambientes virtuales: Revisión. Vol. 37, *Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomedica; 2016.
24. Laver KE, Lange B, George S, Deutsch JE, Saposnik G, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. Vol. 2017, *Cochrane Database of Systematic Reviews*. John Wiley and Sons Ltd; 2017.
25. Bayon M, Martínez J. Virtual reality-based stroke rehabilitation. Vol. 44, *Rehabilitacion*. Ediciones Doyma, S.L.; 2010. p. 256–60.
26. In T, Lee K, Song C. Virtual reality reflection therapy improves balance and gait in patients with chronic stroke: Randomized controlled trials. *Medical Science Monitor*. 2016 Oct 28;22:4046–53.
27. Domínguez-Téllez P, Moral-Muñoz JA, Casado-Fernández E, Salazar A, Lucena-Antón D. Effects of virtual reality on balance and gait in stroke: A systematic review and meta-analysis. Vol. 69, *Revista de Neurología*. Revista de Neurología; 2019. p. 223–34.
28. Krakauer JW. Motor learning: its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. Vol. 19, *Current Opinion in Neurology*. 2006.
29. de Rooji IJ, van de Port IG, Meijer JW. Effect of Virtual Reality Training on Balance and Gait Ability in Patients With Stroke: Systematic Review and Meta-Analysis. *Phys Ther* [Internet]. 2016;96:1905–18. Available from: <https://academic.oup.com/ptj/article/96/12/1905/2866292>
30. You SH, Jang SH, Kim YH, Hallett M, Ahn SH, Kwon YH, et al. Virtual reality-induced cortical reorganization and associated locomotor recovery in chronic stroke: An experimenter-blind randomized study. *Stroke*. 2005 Jun;36(6):1166–71.
31. Bergmann J, Krewer carmen, Bauer petra, Koenig alexander, Riener robert, Müller friedemann. Virtual reality to augment robot-assisted gait training in non-ambulatory patients with a subacute stroke: a pilot randomized controlled trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine* [Internet]. 2018 Jun;54(3):397–407. Available from: <http://www.minervamedica.it>
32. Levac D, Glegg SMN, Sveistrup H, Colquhoun H, Miller PA, Finestone H, et al. A knowledge translation intervention to enhance clinical application of a virtual reality system in stroke rehabilitation. *BMC Health Services Research*. 2016 Oct 6;16(1):1–11.
33. Timmermans C, Roerdink M, Meskers CGM, Beek PJ, Janssen TWJ. Walking-adaptability therapy after stroke: results of a randomized controlled trial. *Trials*. 2021 Dec 1;22(1).
34. Rodrigues-Baroni JM, Nascimento LR, Ada L, Nascimento LR, Teixeira-Salmela LF. Walking training associated with virtual reality-based training increases walking speed of individuals with chronic stroke: Systematic review with meta-analysis. *Brazilian Journal of Physical Therapy*. 2014;18(6):502–12.

35. Zhang B, Li D, Liu Y, Wang J, Xiao Q. Virtual reality for limb motor function, balance, gait, cognition and daily function of stroke patients: A systematic review and meta-analysis. Vol. 77, *Journal of Advanced Nursing*. Blackwell Publishing Ltd; 2021. p. 3255–73.
36. Mirelman A, Bonato P, Deutsch JE. Effects of training with a robot-virtual reality system compared with a robot alone on the gait of individuals after stroke. *Stroke*. 2009 Jan 1;40(1):169–74.
37. Domínguez-Téllez P, Moral-Muñoz JA, Casado-Fernández E, Salazar A, Lucena-Antón D. Effects of virtual reality on balance and gait in stroke: A systematic review and meta-analysis. *Revista de Neurología*. 2019;69(6):223–34.
38. Moreira MC, de Amorim Lima AM, Ferraz KM, Benedetti Rodrigues MA. Use of virtual reality in gait recovery among post stroke patients-a systematic literature review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2013 Sep;8(5):357–62.
39. Merians AS, Poizner H, Boian R, Burdea G, Adamovich S. Sensorimotor training in a virtual reality environment: Does it improve functional recovery poststroke? *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2006 Jun;20(2):252–67.
40. Goel T, Sharma N, Gehlot A, Srivastav AK. Effectiveness of immersive virtual reality training to improve sitting balance control among individuals with acute and sub-acute paraplegia: A randomized clinical trial. <https://doi.org/10.1080/10790268.2021.2012053> [Internet]. 2021 [cited 2022 May 24]; Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10790268.2021.2012053>
41. 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 Neurology* [Internet]. 2022 Dec 1 [cited 2022 May 24];22(1):109. Available from: [/pmc/articles/PMC8939064/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3939064/)
42. Bang DH, Shin WS, Kim SY, Choi JD. The effects of action observational training on walking ability in chronic stroke patients: A double-blind randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*. 2013 Dec;27(12):1118–25.
43. Zackowski KM. Gait and Balance Assessment. *Seminars in Neurology*. 2016 Oct 1;36(5):474–8.
44. van Bloemendaal M, Bout W, Bus SA, Nollet F, Geurts ACH, Beelen A. Validity and reproducibility of the Functional Gait Assessment in persons after stroke. *Clinical Rehabilitation*. 2019 Jan 1;33(1):94–103.
45. Cheng DK, Nelson M, Brooks D, Salbach NM. Validation of stroke-specific protocols for the 10-meter walk test and 6-minute walk test conducted using 15-meter and 30-meter walkways. *Topics in Stroke Rehabilitation*. 2020 May 18;27(4):251–61.
46. Gochicoa-Rangel L, Mora-Romero U, Guerrero-Zúñiga S, Silva-Cerón M, Cid-Juárez S, Velázquez-Uncal M, et al. Prueba de caminata de 6 minutos: recomendaciones y procedimientos. *Revisión Neumol Cir Torax* [Internet]. 2015;74(2):127–36. Available from: www.medigraphic.org.mx
47. Macchiavelli A, Giffone A, Ferrarello F, Paci M. Reliability of the six-minute walk test in individuals with stroke: systematic review and meta-analysis. Vol. 42, *Neurological Sciences*. Springer-Verlag Italia s.r.l.; 2021. p. 81–7.
48. Mehrholz J, Wagner K, Rutte K, Meißner D, Pohl M. Predictive Validity and Responsiveness of the Functional Ambulation Category in Hemiparetic Patients After Stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2007 Oct;88(10):1314–9.
49. Gutiérrez-Léonard A, Medina-Romero J, Lopez-Hervás A. Escala de valoración funcional de la marcha (FAC) para valorar el riesgo de caídas en AVC. IV Congreso Internacional virtual de enfermería y fisioterapia.

50. Alghadir AH, Al-Eisa ES, Anwer S, Sarkar B. Reliability, validity, and responsiveness of three scales for measuring balance in patients with chronic stroke. *BMC Neurology*. 2018 Sep 13;18(1).
51. Blum L, Korner-Bitensky N. Usefulness of the Berg Balance Scale in Stroke Rehabilitation: A Systematic Review [Internet]. 2008. Available from: <http://www.strokecenter>.
52. Carles Hernandez RM. Estudio metaanalítico de generalización de la fiabilidad de la escala de equilibrio de Berg. [Murcia]: Universidad de Murcia; 2014.
53. Wist S, Clivaz J, Sattelmayer M. Muscle strengthening for hemiparesis after stroke: A meta-analysis. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2016 Apr 1;59(2):114–24.
54. Roman NA, Miclaus RS, Nicolau C, Sechel G. Customized Manual Muscle Testing for Post-Stroke Upper Extremity Assessment. *Brain Sciences*. 2022 Mar 28;12(4):457.
55. Gregson J, Leathley MJ, Moore AP, Smith TL, Sharma AK, Watkins CL. Reliability of measurements of muscle tone and muscle power in stroke patients. 2000.
56. Nadeau S, Betschart M, Bethoux F. Gait analysis for poststroke rehabilitation: The relevance of biomechanical analysis and the impact of gait speed. Vol. 24, *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. 2013. p. 265–76.
57. Vinolo MJ, Gonzalez-Medina G, Martín-Valero R. Augmented reality in physical therapy: Systematic review and meta-analysis. *JMIR Serious Games*. 2021 Oct;9(4).
58. Berg KO, Wood-Dauphinee SL, Williams JL, Maki B. Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Can J Public Health*. 1992 Jul;83(supl 2):7–11.
59. Rizzolatti G, Fogassi L. The mirror mechanism: recent findings and perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* [Internet]. 2014 Jun 6 [cited 2022 May 24];369(1644). Available from: [/pmc/articles/PMC4006191/](https://pmc/articles/PMC4006191/)
60. Franceschini M, Agosti M, Cantagallo A, Sale P, Mancuso M, Buccino G. Mirror neurons: action observation treatment as a tool in stroke rehabilitation. Vol. 46. 2010.
61. Sale P, Franceschini M. Action observation and mirror neuron network: a tool for motor stroke rehabilitation. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2012 Jun;48(2):313–8. Epub 2012 Apr 20. PMID: 22522432.
62. Choi JW, Kim BH, Huh S, Jo S. Observing Actions through Immersive Virtual Reality Enhances Motor Imagery Training. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2020 Jul 1;28(7):1614–22.
63. Ertelt D, Small S, Solodkin A, Dettmers C, McNamara A, Binkofski F, et al. Action observation has a positive impact on rehabilitation of motor deficits after stroke. *Neuroimage*. 2007;36(SUPPL. 2).
64. Sánchez Silverio V, Abuín Porras V, Rodríguez Costa I, Cleland JA, Villafañe JH. Effects of action observation training on the walking ability of patients post stroke: a systematic review. <https://doi.org/10.1080/0963828820211989502>. 2021;
65. Choy CS, Cloherty SL, Pirogova E, Fang Q. Virtual Reality Assisted Motor Imagery for Early Post-Stroke Recovery: A Review. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering* [Internet]. 2022;1–1. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9749920/>
66. Selves C, Stoquart G, Lejeune T. Gait rehabilitation after stroke: review of the evidence of predictors, clinical outcomes and timing for interventions. *Acta Neurologica Belgica* 2020 120:4 [Internet]. 2020 Mar 12 [cited 2022 May 24];120(4):783–90. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13760-020-01320-7>

67. Park SH, Son SM, Choi JY. Effect of posture control training using virtual reality program on sitting balance and trunk stability in children with cerebral palsy. *NeuroRehabilitation*. 2021 Jan 1;48(3):247–54.
68. Sheehy L, Taillon-Hobson A, Sveistrup H, Bilodeau M, Yang C, Finestone H. Sitting Balance Exercise Performed Using Virtual Reality Training on a Stroke Rehabilitation Inpatient Service: A Randomized Controlled Study. *PM&R [Internet]*. 2020 Aug 1 [cited 2022 May 24];12(8):754–65. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pmrj.12331>
69. Karasu AU, Batur EB, Karatas GK. Effectiveness of Wii-based rehabilitation in stroke: A randomized controlled study. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2018;50(5):406–12.
70. Marques-Sule E, Arnal-Gómez A, Buitrago-Jiménez G, Suso-Martí L, Cuenca-Martínez F, Espí-López GV. Effectiveness of Nintendo Wii and Physical Therapy in Functionality, Balance, and Daily Activities in Chronic Stroke Patients. *J Am Med Dir Assoc*. 2021 May 1;22(5):1073–80.
71. Wiskerke E, Kool J, Hilfiker R, Sattelmayer KM, Verheyden G. Determining the Optimal Virtual Reality Exergame Approach for Balance Therapy in Persons With Neurological Disorders Using a Rasch Analysis: Longitudinal Observational Study. *JMIR Serious Games [Internet]*. 2022 Mar 22 [cited 2022 May 29];10(1):e30366. Available from: [/pmc/articles/PMC8984820/](https://pmc/articles/PMC8984820/)
72. Park J, Chung Y. The effects of robot-assisted gait training using virtual reality and auditory stimulation on balance and gait abilities in persons with stroke. *NeuroRehabilitation*. 2018;43(2):227–35.
73. Winter C, Kern F, Gall D, Latoschik ME, Pauli P, Käthner I. Immersive virtual reality during gait rehabilitation increases walking speed and motivation: a usability evaluation with healthy participants and patients with multiple sclerosis and stroke. 2020 [cited 2022 May 30]; Available from: <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00848-w>
74. Brandín-De la Cruz N, Secorro N, Calvo S, Benyoucef Y, Herrero P, Bellosta-López P. Immersive virtual reality and antigravity treadmill training for gait rehabilitation in Parkinson's disease: a pilot and feasibility study. *Revista de Neurologia*. 2020 Dec 1;71(12):447–54.
75. de Keersmaecker E, Lefebvre N, Serrien B, Jansen B, Rodriguez-Guerrero C, Niazi N, et al. The Effect of Optic Flow Speed on Active Participation during Robot-Assisted Treadmill Walking in Healthy Adults. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2020 Jan 1;28(1):221–7.
76. Kubo H, Nozoe M, Kanai M, Furuichi A, Onishi A, Kajimoto K, et al. Reference value of 6-minute walk distance in patients with sub-acute stroke. *Topics in Stroke Rehabilitation*. 2020 Jul 3;27(5):337–43.
77. Chung Y, Cho C, Hwang W, Hwang S. Videogame-Assisted Treadmill Improves Physical Function 213. *Tohoku J Exp Med*. 2016;238(3):213–8.
78. Timmermans C, Roerdink M, Meskers CGM, Beek PJ, Janssen TWJ. Walking-adaptability therapy after stroke: results of a randomized controlled trial. *Trials*. 2021 Dec 1;22(1).
79. Almasi S, Ahmadi H, Asadi F, Shahmoradi L, Arji G, Alizadeh M, et al. Kinect-Based Rehabilitation Systems for Stroke Patients: A Scoping Review. *BioMed Research International*. 2022 Mar 27;2022:1–16.
80. Holden MK. Virtual Environments for Motor Rehabilitation: Review [Internet]. Vol. 8, *CYBERPSYCHOLOGY & BEHAVIOR*. 2005. Available from: www.immersion.com/3d/products/cyber_