

10 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE LA MARCHA EN DOBLE TAREA TENIENDO EN CUENTA LAS VARIACIONES LINGÜÍSTICAS Y CULTURALES EN LOS NIVELES DE CONOCIMIENTO DE LOS PARTICIPANTES

Agnieszka Kreska-Korus, Teresa Gniewek, Joanna Golec, Agata Milert

10.1 Introducción

Caminar es una actividad locomotora humana fundamental. Durante la marcha, las personas suelen realizar tareas adicionales, como conversar, usar un teléfono inteligente, mirar escaparates o planificar una ruta. En estos momentos, el sistema nervioso humano no solo regula la marcha, sino que también gestiona estas actividades concurrentes, lo que exige más recursos en comparación con las situaciones en las que la marcha es el único objetivo. En consecuencia, en condiciones que implican una tarea adicional, es posible identificar trastornos que podrían no ser evidentes en un examen de la marcha tradicional.

La metodología del análisis de la marcha de doble tarea permite examinar los patrones de marcha cotidianos en entornos clínicos. Este enfoque facilita la observación de los cambios en los patrones de marcha que resultan del envejecimiento, afecciones médicas o lesiones, y ayuda a evaluar la eficacia de las intervenciones diseñadas para mejorar la locomoción.

La evaluación de la marcha con una tarea adicional se utiliza cada vez más en fisioterapia y puede ser valiosa para evaluar el riesgo de caídas, el potencial de retorno a los deportes después de una lesión o la eficacia de la reeducación de la marcha.

El objetivo de esta lección es presentar las mejores prácticas para la ejecución adecuada de pruebas de marcha con una tarea adicional, basándose en una revisión exhaustiva de la literatura y nuestra propia experiencia.

10.2 Metodología de evaluación de la marcha en doble tarea

10.2.1 Paradigma de doble tarea

Para identificar las diferencias en las condiciones de marcha con una tarea adicional, se utiliza el paradigma de doble tarea. Su premisa implica realizar cada una de las tareas primero de forma individual y luego ejecutar simultáneamente ambas tareas. Cada tarea debe tener las

mismas condiciones durante la ejecución de la tarea individual y la doble tarea (Pineda et al., 2023) (McIsaac et al., 2015).

10.2.2 Preparación para el examen:

Antes de comenzar el examen, es fundamental informar a la persona que se va a examinar sobre el propósito del estudio, cómo se llevará a cabo y asegurarle que el examen es no invasivo e indoloro.

Si se aplicarán marcadores directamente en el cuerpo (piel) durante el examen, también es importante informar a la persona al programar la cita que debe evitar usar productos humectantes o grasos para la piel (como lociones o bálsamos) para evitar que los marcadores se desprendan.

10.2.2.1 Preparación para el análisis de la marcha en el paradigma de doble tarea:

Antes de realizar un análisis de la marcha en el paradigma de doble tarea, es necesario seguir varios pasos:

- **Entrevista:** Recopilar información sobre la edad del individuo, condiciones médicas existentes, lesiones pasadas, ocupación, pasatiempos y el motivo para someterse al estudio.
- **Medidas antropométricas:** Recopilar las medidas necesarias para el sistema de análisis de la marcha específico en uso, como la altura del cuerpo y la longitud de las extremidades inferiores.
- **Medidas adicionales:** Incluya cualquier medición adicional, por ejemplo, una evaluación de la extremidad inferior dominante (si es necesario para el estudio).
- **Fijación de sensores/marcadores:** Fije de forma segura los sensores o marcadores del sistema de análisis de movimiento al cuerpo del individuo y calibre el sistema para garantizar una recopilación de datos precisa.

10.2.3 Análisis de la marcha en condiciones de una sola tarea (Single Task - ST):

Durante el análisis de la marcha, tanto en condiciones de tarea única como de tarea dual, utilizamos sistemas de análisis de la marcha para obtener parámetros de marcha espaciotemporales. Según el equipo utilizado, es importante considerar sus limitaciones, que pueden surgir de la precisión de la medición y de factores culturales (como cómo y dónde se colocan los sensores o marcadores).

Después de colocar los sensores/marcadores del sistema de análisis de la marcha seleccionado, es recomendable acostumbrar al individuo a caminar en el entorno de medición. Nuestras observaciones sugieren que la conciencia del paciente de tener elementos del sistema adheridos a su cuerpo o de que se está registrando su marcha puede afectar su locomoción. Una práctica recomendada en nuestros laboratorios de análisis del movimiento es permitir que el individuo camine por el camino de medición varias veces antes de que se registren los datos reales.

Registro de la marcha:

Por lo general, el análisis de la marcha se realiza a la velocidad de marcha preferida del participante (Langeard et al., 2021). Sin embargo, también existe la posibilidad de realizar el estudio a un ritmo de marcha lento o rápido (Schättin et al., 2016).

Para evitar errores de medición durante el estudio, se recomienda:

- Asegúrese de que los participantes y los examinadores utilicen únicamente equipos de investigación y no teléfonos personales ni dispositivos electrónicos.
- Limite el número de personas en la sala únicamente a las personas que se van a examinar y a los examinadores.
- Asegure el área para evitar que personas no autorizadas ingresen a la sala donde se realiza el estudio.
- Elimine las distracciones externas, como bloquear ventanas, cerrar puertas y reducir los ruidos externos.

La ruta de medición debe determinarse teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- La longitud del recorrido debe ser adecuada a las capacidades físicas de los participantes.
- El participante debe ser capaz de caminar en línea recta (puede darse la vuelta, pero esta etapa no está incluida en las mediciones).
- Una trayectoria de medición ubicada en un espacio demasiado pequeño puede alterar los resultados al alterar los parámetros de la marcha debido al inicio de la locomoción o al acercarse a un obstáculo como una pared.
- Una ruta demasiado corta o demasiado larga puede dificultar o impedir la realización de tareas adicionales en condiciones de doble tarea.

Según el paradigma de doble tarea, es esencial garantizar las mismas condiciones de prueba y realizar el mismo número de ciclos de marcha tanto en condiciones de una sola tarea como de doble tarea (Plummer et al., 2013). Esta coherencia es crucial para realizar comparaciones

fiables y significativas en el análisis de la marcha cuando los individuos realizan tareas que requieren su atención simultáneamente.

10.2.4 Investigación de tareas adicionales en condiciones de tarea única (Single Task – ST)

A pesar del creciente número de informes científicos sobre la evaluación de tareas cognitivas, faltan estándares que definen los principios de su aplicación. Las tareas más utilizadas en la investigación son las siguientes:

- **Conteo serial hacia atrás desde 50 o 100** (el participante cuenta verbalmente números, p. ej., 100, 99, 98...) (Beauchet et al., 2008) (Beauchet et al., 2007) (Yamada et al., 2011).
- **Resta en serie de 7 o 3 de un número especificado** (el participante proporciona los resultados de restar del número dado, por ejemplo, restando 7 de 376, el paciente debe enumerar números como 376, 369, 362, 355...) (Maclean et al., 2017).
- **Enumerar animales o profesiones sin repetir nombres** (el participante enumera profesiones como chef, médico... u otra versión implica nombrar animales comenzando con una letra específica, por ejemplo, C, y luego proporcionar nombres como "gato", "vaca", "cocodrilo") (Freire Júnior et al., 2017).
- **Usando un teléfono móvil**, por ejemplo, el participante escribe un mensaje de texto (Krasovskyi et al., 2017) (Ehlers et al., 2017) (Lin y Huang, 2017).
- **Mover una taza de agua** (La tarea del participante es transferir una taza de líquido o una bandeja con tazas de agua) (McIsaac et al., 2015).
- **Prueba de marcha por ordenador DIVA** (un programa de computadora creado en la Academia de Educación Física de Cracovia por el equipo de A. Kreska-Korus, E. Golec, A. Wojtowicz, basado en el programa DIVA de Nęcka, 1994) (esta tarea fue presentada en el VIDEO 3).

Curso del estudio:

- Explicar al participante la tarea adicional, detallando en qué consiste. Si el estudio lo requiere, realizar sesiones en las que el participante aprenda a realizar la tarea.
- Registrar la progresión del estudio de tareas adicionales y documentar los resultados

Durante el estudio de tareas adicionales, los indicadores que se miden con mayor frecuencia son el tiempo de reacción y la cantidad de tareas correctas o el número de errores.

Al seleccionar el tipo de tarea adicional, recuerde que debe ser alcanzable en las mismas condiciones que durante el análisis de la marcha de doble tarea. Puede encontrar más información sobre este tema en la sección sobre comunicación intercultural.

10.2.5 Análisis de la marcha en condiciones de doble tarea (Dual Task - DT):

Según el paradigma de doble tarea, la etapa final implica la realización simultánea de ambas tareas (caminar y la tarea adicional) en las mismas condiciones en que se realizaron las tareas individuales. Para esta ejecución de doble tarea se registran los mismos indicadores.

10.3 Desarrollo de indicadores

10.3.1 Desarrollo de indicadores de marcha

Para realizar un análisis de la marcha con una tarea adicional, es necesario desarrollar indicadores para cada parte del estudio.

Para el análisis de la marcha, estos indicadores implicarán principalmente mediciones espaciotemporales. Sin embargo, es importante seleccionar una muestra consistente tanto para las condiciones de tarea única como para las de tarea dual. En el análisis, se debe considerar un ciclo de marcha para cada extremidad de cada paso a lo largo del camino. Para ello, se deben tomar las medidas adecuadas dentro del sistema operativo del dispositivo de medición para identificar e incluir solo los ciclos de marcha elegidos, registrados en la sección media del camino/medición (Schättin et al., 2016).

Para los indicadores seleccionados, calcule sus valores promedio y desviaciones estándar.

Un análisis más detallado puede incluir consideraciones tales como la extremidad dominante y no dominante, las extremidades afectadas por procesos patológicos ya sea directa o indirectamente, etc.

10.3.2 Desarrollo de indicadores de tareas adicionales

Los indicadores más utilizados para tareas adicionales son:

- Tiempo de reacción,
- Cantidad de respuestas correctas,
- Número de errores.

Para obtener estos indicadores, se pueden contar los eventos correctos (resultados de conteo correctos, animales o profesiones nombradas), los errores y determinar los tiempos de reacción. Esto se puede hacer de tres maneras:

1/ El método menos exigente pero más propenso a errores es contar las reacciones correctas durante el estudio y medir el tiempo de estudio con un cronómetro. Dividiendo el tiempo de estudio por el número de respuestas correctas, se puede calcular el tiempo de reacción.

2/ Grabar el estudio en un dictáfono y calcular posteriormente el número de respuestas correctas y los tiempos de reacción a partir de la grabación. El estudio grabado se puede escuchar para eliminar errores.

3/ Utilizando un programa informático que registre automáticamente los resultados del estudio. La prueba de marcha DIVA, por ejemplo, registra:

- Tiempo de detección (considerando únicamente el tiempo de reacción correcto),
- Número de detecciones,
- Número de errores, incluidos los siguientes tipos de errores:
 - Sin alarma: el participante no activó el botón de reacción cuando se mostró la letra de señal.
 - Doble alarma: el participante presionó el botón de reacción por segunda vez cuando se mostró la letra de señal.
 - Falsa alarma: el participante activó el botón de reacción cuando no se mostró la letra de señal (ver **VIDEO 3**).

10.3.3 Indicadores de marcha con una tarea adicional

Los indicadores distintivos para el análisis de la marcha con una tarea adicional incluyen: variabilidad del tiempo del ciclo de marcha/tiempo del paso, variabilidad de la longitud del ciclo de la marcha/longitud del paso, efecto de doble tarea, efecto medio de doble tarea.

10.3.3.1 Variabilidad:

Para cada uno de los individuos estudiados, se puede calcular:

- La variabilidad del tiempo del ciclo de la marcha/tiempo del paso (dependiendo de los datos disponibles en el sistema de análisis de la marcha).
- La variabilidad de la longitud del ciclo de la marcha/longitud del paso.

Para calcular esta variabilidad, puede utilizar lo siguiente:

$$V = \frac{SD}{m} * 100\%$$

V - variabilidad, SD - desviación estándar, m - media.

Es esencial prestar especial atención a la precisión de las mediciones, que es particularmente importante para la fiabilidad de la variabilidad. En cuanto al paradigma de doble tarea, es crucial replicar las condiciones de prueba durante el análisis de la marcha tanto en tareas simples como en tareas dobles. La repetibilidad del tamaño de la muestra y la obtención de indicadores de marcha inalterados que no se vean afectados por otros eventos, como el inicio de la marcha o la presencia de individuos externos, son fundamentales.

10.3.3.2 El efecto de doble tarea

El efecto de doble tarea se calcula para cada uno de los indicadores según la siguiente fórmula (Plummer-D'Amato et al., 2012):

$$\alpha DTE = \left| \frac{\alpha DT - \alpha ST}{\alpha ST} \right| * 100\%$$

α DTE- Efecto de doble tarea para el indicador α

α ST - el valor del indicador en condiciones de tarea única,

α DT - el valor del indicador en condiciones de doble tarea.

El indicador α puede ser cualquiera de los indicadores estudiados al caminar o en la tarea adicional (por ejemplo, efecto de doble tarea en la velocidad de la marcha o efecto de doble tarea en el tiempo de reacción).

Al interpretar los valores del indicador, es importante estar especialmente atento: para la velocidad, un aumento en el indicador significará una mayor eficiencia de la tarea, pero en el caso del tiempo de reacción, indicará una disminución de la eficiencia de la tarea.

10.3.3.3 Efecto medio de doble tarea

El efecto medio de doble tarea se calcula según la siguiente fórmula:

$$mDTE = \frac{\alpha DTE + \beta DTE}{2}$$

m DTE - Efecto medio de doble tarea,

α DTE - Efecto de doble tarea para el indicador α (indicador de marcha)

β DTE - Efecto de doble tarea para el indicador β (indicador de tarea adicional)

El efecto medio de doble tarea se calcula más comúnmente para la velocidad de marcha y el tiempo de reacción. También se puede aplicar a otros indicadores, pero es esencial tener en cuenta que uno debe relacionarse con la marcha y el otro con la tarea adicional.

En los casos en que un aumento en un indicador representa una mejora mientras que un aumento en el otro significa una disminución en la eficiencia de la tarea, la aplicación indiscriminada de esta fórmula puede dar lugar a una interpretación errónea del resultado. En tal situación, para el segundo indicador, se debe colocar un signo menos (-) antes de realizar la operación. Este escenario se produce cuando se calcula el efecto medio de doble tarea para la velocidad de marcha y el tiempo de reacción.

En situaciones en las que ambos efectos de doble tarea muestran el mismo cambio direccional (por ejemplo, la velocidad de la marcha y el número de finalizaciones correctas de tareas), es necesario considerar si esta alteración representa una mejora o una disminución en la eficiencia del desempeño de la tarea.

10.3.4 Interpretación de los resultados

Para interpretar los resultados del análisis de la marcha con una tarea dual, se deben considerar los siguientes aspectos.

10.3.4.1 Evaluación de los indicadores espaciotemporales de la marcha en relación con los valores normativos

En la literatura sobre el análisis de la marcha en condiciones de una sola tarea se encuentran normas para indicadores específicos de la marcha. Si la persona examinada experimenta alteraciones en su patrón de marcha debido a cambios en el rango de movimiento, fuerza muscular, etc., estos factores influirán en los indicadores de la marcha, tanto en condiciones de una sola tarea como de dos tareas. La aplicación del paradigma de dos tareas permite la evaluación de la marcha bajo la carga cognitiva adicional, lo que ayuda a identificar alteraciones que podrían no detectarse en las evaluaciones tradicionales de la marcha. La evaluación de la marcha con una doble tarea refleja la locomoción tal como ocurre en la vida cotidiana.

La velocidad de la marcha se considera un indicador fundamental de la marcha. Tiene una importancia clínica significativa debido a su simplicidad. Schmid (2012) y sus colegas han indicado que la velocidad mínima de la marcha necesaria para el funcionamiento social es de alrededor de 0,8 m/s. Al analizar la marcha, también es esencial considerar factores como la frecuencia y la longitud de la zancada, ya que estos indicadores tienen un profundo impacto en la velocidad de la marcha.

10.3.4.2 Análisis de indicadores de tareas adicionales

En el análisis de la marcha con una doble tarea, el indicador que se analiza con más frecuencia es el tiempo medio de reacción. En nuestros propios estudios realizados con el test de marcha DIVA, este indicador ha demostrado ser la medida más sensible de la tarea adicional. Nuestras experiencias sugieren que en caso de resultados atípicos, es recomendable consultar con un psicólogo para una mejor interpretación y comprensión.

10.3.4.3 Análisis de indicadores de marcha con una tarea adicional

Como indicadores absolutos (expresados en porcentajes) se denominan Efecto de Doble Tarea y Efecto de Doble Tarea Promedio. Además de estos, también se analiza la variabilidad del ciclo de marcha.

10.3.4.3.1. Efecto de doble tarea

El efecto de doble tarea permite evaluar la magnitud del cambio en un indicador específico, expresado en porcentaje. Permite evaluar una variable elegida entre diferentes evaluaciones y compararla para identificar dónde se producen los cambios más significativos.

Por ejemplo, si un individuo presenta una reducción de la longitud de la zancada de 0,1 metros y una disminución de la velocidad de 0,1 m/s cuando se introduce una tarea adicional, puede resultar difícil determinar qué cambio es más sustancial. Sin embargo, si calculamos el efecto de doble tarea para la longitud de la zancada y descubrimos que es del 16 %, y el efecto de doble tarea para la velocidad de la marcha es del 10 %, podemos concluir que los mayores cambios se han producido en la longitud de la zancada.

Al comparar los efectos de doble tarea para los indicadores de rendimiento de la marcha (por ejemplo, la velocidad de la marcha) y la tarea adicional (por ejemplo, el tiempo de reacción), podemos determinar la estrategia de compartir la atención empleada por el sistema nervioso y qué tarea experimentó cambios más significativos.

10.3.4.3.1. Efecto medio de doble tarea

El efecto medio de doble tarea es un indicador que evalúa la eficiencia de realizar ambas tareas simultáneamente en comparación con realizarlas en condiciones de una sola tarea. Nos informa si el sistema nervioso posee recursos suficientes para controlar la ejecución

simultánea de ambas tareas. Un empeoramiento de este indicador indica que se han excedido las capacidades operativas, lo que se traduce en una disminución de la eficiencia en la ejecución de la tarea.

Plummer y Eskes (2013) destacan la importancia de distinguir las estrategias de asignación de atención. Ofrecen un ejemplo de que interpretar el efecto medio de doble tarea con el mismo valor puede indicar diferentes tipos de asignación de atención. Puede reflejar cambios en ambas tareas simultáneamente, pero también puede indicar situaciones en las que solo hay una reducción en la eficiencia de la marcha o de la tarea adicional.

El efecto promedio de doble tarea permite comparar las capacidades de caminar en condiciones de doble tarea entre diferentes grupos de estudio. Puede utilizarse para identificar las condiciones en las que se producen los cambios más significativos y para evaluar la eficacia de las intervenciones terapéuticas.

10.3.4.3.2 Variabilidad

La variabilidad en la longitud y el tiempo de la zancada indica el grado en que estos indicadores cambian durante la locomoción, expresado como un porcentaje. Los cambios más grandes sugieren un control motor más deficiente de la marcha. Aunque esta área requiere más investigación, parece que las medidas de variabilidad en la longitud y el tiempo de la zancada pueden considerarse indicadores de riesgo sensibles para las caídas durante la marcha (Herman et al., 2020) (Maki, 1997). Gabell y Nayauk (1984) encontraron que la variabilidad en la longitud y el tiempo de la zancada no excedía el 6% en individuos sanos.

10.3.4.3.3 Interpretación de los resultados – resumen

Una interpretación específica de los resultados en la marcha con una tarea adicional implica considerar los siguientes aspectos:

5. El efecto promedio de doble tarea indica si el individuo tiene los recursos neuronales para realizar ambas tareas simultáneamente.
6. El análisis de los efectos de doble tarea para ambas tareas permite determinar la estrategia que se está empleando (si se ve afectada la marcha y/o la tarea adicional).
7. Los indicadores de variabilidad determinan si ha habido un deterioro en el control motor. Si la magnitud de la variabilidad excede la norma, se asocia con un mayor riesgo de caídas.
8. Una velocidad de marcha inferior a 0,8 m/s puede identificar a personas con un funcionamiento social limitado (Schmid et al., 2007).

9. El análisis de la marcha y de los indicadores de tareas adicionales puede ayudar a comprender el mecanismo de control motor durante la marcha con una tarea adicional.

10.4 Comunicación con el paciente

La comunicación eficaz con el paciente desempeña un papel fundamental en el contexto de las pruebas de marcha con una tarea adicional, ya que puede influir en los resultados. La elección de la tarea complementaria durante la prueba también puede verse influida por el idioma, la cultura o el nivel de conocimientos y habilidades del individuo. La familiaridad con las modificaciones de la metodología de la prueba crea la oportunidad de adaptarla de acuerdo con las sensibilidades culturales del paciente. Además, ciertos enfoques de las pruebas de locomoción pueden ser incompatibles con visiones del mundo específicas. Al mismo tiempo, comprender las limitaciones de los métodos empleados permite la selección del enfoque más adecuado para probar o interpretar con precisión los resultados.

En este curso, presentaremos varias opciones para adaptar la metodología de la prueba para satisfacer las diversas necesidades de los pacientes, junto con recomendaciones para una comunicación eficaz con el paciente.

Durante la evaluación de la marcha con una tarea adicional, varias áreas pueden ser sensibles a la comunicación intercultural.

10.4.1 Comunicación de información al paciente y emisión de instrucciones durante el transcurso del estudio:

Durante las evaluaciones de la marcha con una tarea adicional, es fundamental identificar la estrategia utilizada para distribuir la atención entre las tareas. Es esencial evaluar si se ven afectadas la marcha, la tarea adicional o ambas. Al explicar el propósito y el proceso de la evaluación al participante y brindar instrucciones, es importante no sugerir que una de las tareas es más importante que la otra (Maclean et al., 2017). Además, se debe tener cuidado de evitar situaciones que puedan evocar respuestas emocionales en el participante, ya que las emociones también pueden influir en los resultados de la evaluación (Gross et al., 2012).

Este enfoque garantiza que el participante no se sienta presionado o ansioso por las tareas y pueda realizarlas de la forma más natural posible, lo que es esencial para obtener resultados precisos durante las evaluaciones de la marcha con una tarea adicional.

10.4.2 Selección de una tarea adicional

Los resultados de la investigación científica actual no proporcionan una respuesta a la pregunta de qué tarea adicional es la mejor opción durante las evaluaciones de la marcha con una tarea adicional.

La cultura, entendida como el conjunto de patrimonio material y espiritual transmitido de generación en generación, tiene un impacto significativo en el desarrollo humano, el tipo de información adquirida y las competencias. La mayoría de las tareas adicionales utilizadas se basan en las habilidades y conocimientos del participante, lo que puede influir en los resultados obtenidos. Por ejemplo, si la tarea consiste en nombrar animales que empiecen por una letra determinada (de forma diferente en tareas simples y duales), la eficacia de la tarea, medida por el número de animales nombrados y el tiempo medio de reacción, depende del conocimiento del participante. Su conocimiento puede estar relacionado con su educación, aficiones, crianza en diversos contextos culturales y lengua. En diferentes idiomas, tanto el número de nombres de animales que empiezan por una letra determinada como el tiempo para pronunciarlos difieren. Por lo tanto, al seleccionar una tarea adicional e interpretar los resultados obtenidos, es necesario tener cuidado. Es aconsejable elegir tareas que no pertenezcan a áreas de conocimiento o habilidades que estén particularmente desarrolladas o limitadas en el participante (por ejemplo, contar hacia atrás no se recomienda para personas con discalculia o contables, y nombrar animales no es adecuado para biólogos). También es importante recordar que cada tarea adicional supone una carga distinta para el sistema nervioso, por lo que los resultados obtenidos a partir de evaluaciones que utilizan distintas tareas adicionales no son directamente comparables.

En nuestra propia investigación, para evitar tareas cognitivas relacionadas con los conocimientos y habilidades del participante, utilizamos el programa informático DIVA-gait. Al emplear esta herramienta, se debe tener en cuenta el tipo de alfabeto que suele utilizar el participante en su vida diaria (un factor cultural). Si bien el alfabeto latino es el de uso común, el programa DIVA-gait se puede aplicar a todos los alfabetos que incluyan letras mayúsculas y minúsculas.

10.4.3 Selección del método de investigación en función de las necesidades culturales del cliente

Las creencias religiosas y la sensibilidad individual pueden dificultar la evaluación de la marcha cuando se utilizan sistemas que requieren la exposición de zonas importantes del cuerpo. La consecuencia puede ser una negativa a participar en el estudio o un alto nivel de estrés que podría afectar a los resultados. Disponer de varios sistemas de medición facilita el ajuste óptimo de las condiciones del estudio a las necesidades del paciente.

El paciente tiene derecho a recibir atención médica, teniendo en cuenta el respeto a sus actitudes, valores y costumbres, así como a las creencias relacionadas con su afiliación religiosa. La entrevista previa es un momento oportuno para establecer un plan diagnóstico y

terapéutico con el paciente. Se le debe informar sobre el propósito del procedimiento planificado, cómo prepararse para él y tener la oportunidad de hacer preguntas. Si el paciente no acepta el tratamiento planificado por razones religiosas, es una buena práctica enfatizar que respetamos su visión del mundo. Durante la conversación, es útil determinar si el problema radica en todo el procedimiento o solo en un elemento específico. Debemos presentarle opciones alternativas, que pueden implicar modificar el procedimiento o explorar otras formas de tratamiento. Es importante comunicar las consecuencias de cambiar el plan diagnóstico y terapéutico, como una menor efectividad del tratamiento, resultados más generales o una mayor duración del procedimiento. Es fundamental que el paciente decida conscientemente sobre el tratamiento planificado, entendiendo las consecuencias de sus elecciones.

Un ejemplo del impacto de las creencias religiosas en el proceso de rehabilitación podría ser la renuencia de las monjas a someterse a exámenes en ropa interior o traje de baño. Es importante señalar que esta situación puede variar según el convento en particular al que pertenece la monja y sus creencias individuales. Por lo tanto, es conveniente tener una conversación con cada paciente y determinar una

El paciente tiene derecho a recibir atención médica, teniendo en cuenta el respeto a sus actitudes, valores y costumbres, así como a las creencias relacionadas con su afiliación religiosa. La entrevista previa es un momento oportuno para establecer un plan diagnóstico y terapéutico con el paciente. Se le debe informar sobre el propósito del procedimiento planificado, cómo prepararse para él y tener la oportunidad de hacer preguntas. Si el paciente no acepta el tratamiento planificado por razones religiosas, es una buena práctica enfatizar que respetamos su visión del mundo. Durante la conversación, es útil determinar si el problema radica en todo el procedimiento o solo en un elemento específico. Debemos presentarle opciones alternativas, que pueden implicar modificar el procedimiento o explorar otras formas de tratamiento. Es importante comunicar las consecuencias de cambiar el plan diagnóstico y terapéutico, como una menor efectividad del tratamiento, resultados más generales o una mayor duración del procedimiento. Es fundamental que el paciente decida conscientemente sobre el tratamiento planificado, entendiendo las consecuencias de sus elecciones.

tener la oportunidad de hacer preguntas. Si el paciente no acepta el tratamiento planificado por razones religiosas, es una buena práctica enfatizar que respetamos su visión del mundo. Durante la conversación, es útil determinar si el problema radica en todo el procedimiento o solo en un elemento específico. Debemos presentarle opciones alternativas, que pueden implicar modificar el procedimiento o explorar otras formas de tratamiento. Es importante comunicar las consecuencias de cambiar el plan diagnóstico y terapéutico, como una menor efectividad del tratamiento, resultados más generales o una mayor duración del procedimiento. Es fundamental que el paciente decida conscientemente sobre el tratamiento planificado, entendiendo las consecuencias de sus elecciones.

Algunas soluciones útiles podrían incluir:

- Si una monja no está dispuesta a quitarse el hábito pero planea hacer ejercicios para las extremidades inferiores, sugerir el uso de pantalones de entrenamiento podría permitir realizar ejercicios más cómodos sin exponer el hábito.
- Si una monja no acepta quitarse el hábito o el velo pero esto dificulta la fisioterapia (por ejemplo, un elemento plástico del velo obstruye la posición neutral de la cabeza en la abertura de la camilla de tratamiento), preguntar si es posible que la monja use un vestido de misión durante los procedimientos médicos, ya que es más cómodo de usar.
- Algunas monjas pueden aceptar quitarse el hábito con un número limitado de personas presentes (por ejemplo, baños o ejercicios individuales, tratamientos en habitaciones separadas o terapia realizada solo por fisioterapeutas mujeres).
- También hay monjas para quienes el problema no es la retirada del hábito en sí sino la reacción social a este hecho; por eso prefieren acudir a la clínica ya vestidas con ropa civil (distinta del hábito religioso).

10.5 Sugerencias sobre la cooperación con otros miembros del equipo terapéutico y personas del entorno cercano del paciente

Para garantizar una investigación de alta calidad, es esencial la colaboración en un equipo multidisciplinario, que involucre a fisioterapeutas, médicos, biomecánicos y psicólogos.

Si los resultados de la investigación indican alteraciones significativas en la marcha dual, puede ser necesario remitir al paciente a un diagnóstico más detallado (por ejemplo, en situaciones en las que se sospecha una función cognitiva baja, que puede ser un síntoma de demencia). Sin embargo, si observamos un alto riesgo de caídas, proporcionamos información al fisioterapeuta responsable del paciente sobre la necesidad de implementar una terapia adecuada. Tanto el paciente como la familia, los cuidadores o las enfermeras deben ser conscientes de que evitar la doble tarea durante la marcha es esencial para reducir el riesgo de caídas.

10.6 Beneficios de utilizar la metodología de prueba de la marcha con una tarea adicional

10.6.1 Importancia de la evaluación de la marcha en dos tareas en adultos mayores

Para el año 2050, aproximadamente 400 millones de personas en todo el mundo tendrán más de 80 años (Fong y Feng, 2018). Los adultos mayores experimentan un deterioro más rápido de la función de las extremidades inferiores en comparación con la función de las extremidades superiores. La movilidad reducida se traduce en menos actividades de la vida diaria que un paciente puede realizar de forma independiente (Zhang et al., 2018). Esto da como resultado una disminución de la calidad de vida y la necesidad de apoyo de la familia o de cuidados institucionales. La velocidad de la marcha disminuye con la edad. Smith et al. (2016) afirman que la velocidad de la marcha normal (en condiciones de una sola tarea) es de 1,29 m/s para personas de 60 a 69 años, 1,19 m/s para las de 70 a 79 años y 0,96 m/s para las personas mayores de 80 años. La medición de la velocidad de la marcha es reconocida por la Sociedad Británica de Geriatría como uno de los indicadores clave del deterioro funcional y la fragilidad, y desempeña un papel importante en la evaluación y el seguimiento a largo plazo de los adultos mayores.

Además, existe una clara relación entre la velocidad de la marcha y las caídas. Se ha demostrado un riesgo significativamente menor de caídas en personas que caminan a una velocidad habitual superior a 1,00 m/s (Smith et al., 2016). Los adultos mayores tienden a reducir la velocidad de la marcha en condiciones de doble tarea, alargan el tiempo del ciclo de la marcha y duplican el tiempo de apoyo en comparación con las personas más jóvenes, y muestran una mayor variabilidad en el tiempo del ciclo de la marcha y la longitud de la zancada (Springer et al., 2006; Hollman et al., 2007; Zhang et al., 2018; LaRoche et al., 2014; Hupfeld et al., 2022). LaRoche et al. (2014) descubrieron que el deterioro de la marcha de doble tarea se correlacionaba con los niveles de función cognitiva. Lamentablemente, aún no se han establecido normas para los parámetros de la marcha espaciotemporal en condiciones de doble tarea o el efecto de doble tarea. Una de las principales razones es la gran variabilidad en las metodologías utilizadas, en particular el uso de diferentes tareas adicionales, lo que genera discrepancias considerables en los indicadores.

El mayor efecto de doble tarea en los adultos mayores parece estar parcialmente relacionado con la atrofia cerebral relacionada con la edad, ya que la corteza frontal se atrofia antes y más rápido que otras regiones cerebrales. Hupfeld et al. (2022) plantean la hipótesis de que el envejecimiento aumenta la dependencia de recursos neuronales alternativos (es decir, no motores), como la corteza frontal, para compensar la atrofia cerebral en las regiones sensoriomotoras. Por lo tanto, los déficits en esta última pueden contribuir a una menor eficiencia de la marcha de doble tarea. Sus estudios de neuroimagen indicaron una amplia atrofia relacionada con la edad en las regiones corticales, subcorticales y cerebelosas, particularmente en áreas involucradas en el procesamiento sensoriomotor (p. ej., giro precentral y poscentral). Esto identificó posibles relaciones compensatorias entre una estructura cerebral mejor conservada en regiones que no se asocian clásicamente con el control motor (p. ej., corteza temporal) y la conservación de las capacidades de marcha de doble tarea en adultos mayores. Esto sugiere el papel de la corteza temporal en el

mantenimiento de las funciones conductuales durante el envejecimiento, especialmente cuando otras regiones cerebrales responsables del control locomotor (por ejemplo, la corteza sensoriomotora, los ganglios basales y el cerebelo) están en gran parte atrofiadas. Además, indicaron una relación entre la atrofia subcortical menos específica (es decir, ventrículos laterales más grandes) y mayores disminuciones en la velocidad de la marcha en condiciones de doble tarea.

El descubrimiento del fenómeno de interferencia de doble tarea en la marcha de los adultos mayores ha impulsado el desarrollo de nuevos programas terapéuticos. Aunque no se ha definido un esquema de tratamiento universal, Tait et al. (2017) sugieren que la dosis óptima de entrenamiento debe durar de 1000 a 3000 minutos, realizada de 1 a 3 veces por semana. Debe incluir entrenamiento físico y cognitivo, y los ejercicios sensoriales también son beneficiosos. El entrenamiento cognitivo y físico pueden estimular procesos neurobiológicos similares, evocando una respuesta sinérgica. Aumentan el flujo sanguíneo cerebral e inducen angiogénesis en la corteza y el cerebelo. Ambas formas de entrenamiento pueden contribuir a la plasticidad de áreas relacionadas y aumentar el volumen cerebral. El ejercicio también puede proteger los vasos sanguíneos y el tejido neuronal al contrarrestar el aumento relacionado con la edad en los biomarcadores inflamatorios circulantes vinculados con el deterioro cognitivo y la demencia. La liberación inducida por el esfuerzo físico de factores de crecimiento como el BDNF (factor neurotrófico derivado del cerebro) y el IGF-1 (factor de crecimiento similar a la insulina) también juega un papel importante en la neurogénesis, la angiogénesis y la plasticidad sináptica (Tait et al., 2017).

El uso de la metodología de marcha de doble tarea puede ser útil para identificar a los adultos mayores con deterioro cognitivo leve. Zhou et al. (2021) informaron que los cambios en los parámetros de la marcha en condiciones de doble tarea podrían observarse antes de los cambios cognitivos. En esta etapa, las pruebas de evaluación funcional convencionales no serían lo suficientemente sensibles para detectar estos cambios (Zhou et al., 2021).

Se atribuye una importancia cada vez mayor a la metodología de evaluación de la marcha de doble tarea como marcador del riesgo de caídas, destacando que es más sensible que las pruebas clínicas (Kressig et al., 2008; Commandeur et al., 2018; Wayne et al., 2015). Wayne et al. (2015) enfatizaron que el tamaño del efecto de doble tarea es mayor en adultos mayores que se caen en comparación con los que no se caen y que la variabilidad del ciclo de marcha durante la caminata de doble tarea puede ser un predictor particularmente sensible de caídas en adultos mayores (Kressig et al., 2008).

Hupfeld et al. (2022) indican que una peor capacidad para caminar en dos tareas se asocia a un mayor riesgo de caídas, deterioro funcional, fragilidad, discapacidad y mortalidad. Por tanto, la metodología de evaluación de la marcha en dos tareas desempeña un papel importante en el diagnóstico de los adultos mayores. Los adultos mayores presentan cambios relacionados con la edad y una mayor prevalencia de enfermedades. Ambos factores pueden conducir a un deterioro de los indicadores de la marcha en dos tareas. En resumen, los efectos significativos de la marcha en dos tareas deberían impulsar al terapeuta a realizar un

diagnóstico exhaustivo para determinar las causas e implementar un programa para mejorar la marcha en dos tareas.

10.6.2 Ejemplos de aplicación de la metodología de marcha de doble tarea en neurología

La introducción de un paradigma de doble tarea en la evaluación de la marcha en sobrevivientes de un accidente cerebrovascular ayuda a identificar deterioros a largo plazo que no se detectan en otras evaluaciones clínicas (Kemper et al., 2006). En comparación con la marcha de una sola tarea, la marcha de doble tarea se caracteriza por una reducción en la velocidad de la marcha (Bowen et al., 2001; Canning et al., 2006; Plummer-D'Amato et al., 2010), una cadencia más baja (Canning et al., 2006; Plummer-D'Amato et al., 2010), un mayor tiempo de ciclo (Plummer-D'Amato et al., 2008) y un mayor tiempo de doble apoyo (Bowen et al., 2001).

Plummer-D'Amato et al. (2010) sugieren que la carga de la extremidad parética puede ser la fase del ciclo de la marcha que requiere más atención en personas con hemiparesia. Esto tiene implicaciones clínicas significativas. Parece razonable centrarse en reeducar esta fase del ciclo de la marcha en condiciones de una sola tarea para mejorar el automatismo de la carga de la extremidad parética.

Por otro lado, el deterioro de la marcha es uno de los principales síntomas motores de la enfermedad de Parkinson y empeora a medida que la enfermedad progresá, lo que puede provocar caídas y discapacidad posterior (Zhang et al., 2022). Además, el estudio de Del Din et al. (2019) demostró que las alteraciones de la marcha pueden observarse aproximadamente cuatro años antes del diagnóstico. El análisis de la marcha en condiciones de una sola tarea identificó los siguientes cambios: disminución de la velocidad de la marcha, reducción de la longitud de la zancada, disminución de la amplitud del balanceo del brazo y aumento de la asimetría entre extremidades y variabilidad de la marcha (Del Din et al., 2019; Zhang et al., 2022). Del Din et al. (2019) sugieren que estos pueden estar entre los primeros síntomas de la enfermedad de Parkinson. La introducción de un paradigma de doble tarea para la marcha en pacientes con Parkinson en etapa temprana redujo significativamente la velocidad de la marcha, disminuyó la longitud de la zancada, aumentó la duración de la fase de apoyo y balanceo y aumentó la variabilidad del tiempo del ciclo (Zhang et al., 2022).

Raffegeau et al. (2019) informan que la progresión de la enfermedad de Parkinson afecta la marcha de doble tarea, de modo que los pacientes con una velocidad de marcha superior a 1,1 m/s en condiciones de una sola tarea experimentan una mayor reducción en la velocidad de la marcha durante la marcha de doble tarea en comparación con los pacientes que caminan por debajo de 1,1 m/s en condiciones de una sola tarea.

Monaghan et al. (2023) indican que la marcha de los pacientes con Parkinson que experimentan congelamiento de la marcha (FOG) difiere de la de aquellos que no lo padecen en términos de mayores efectos de doble tarea en medidas como el ángulo del pie en contacto

con el suelo y su variabilidad, la longitud de la zancada y el rango de movimiento del balanceo del brazo. Los investigadores sugieren que la metodología de la marcha de doble tarea puede ayudar a identificar a las personas más susceptibles a los déficits de la marcha de doble tarea en la vida diaria y a los candidatos óptimos para el entrenamiento de la marcha de doble tarea.

10.6.3 Evaluación de la marcha en pacientes ortopédicos con doble tarea

Existe una interferencia significativa entre la carga cognitiva y las tareas motoras en individuos con osteoartritis de rodilla (Hamacher et al., 2016; Abdallat et al., 2022). Se ha observado un marcado aumento del efecto de doble tarea. Además, el dolor afectó al rendimiento motor en pacientes con dolor de rodilla, lo que indica que muchos de estos pacientes no parecen tener la capacidad cognitiva para gestionar tareas duales sin alterar las capacidades cognitivas o motoras. Parece que estos individuos caminan con un mayor control ejecutivo compensatorio y menos automatismo. Por el contrario, una reducción de la intensidad del dolor se asoció con una disminución de los efectos de doble tarea, lo que sugiere que dicha disminución reduciría el riesgo de tropiezo y que el dolor tiene un impacto perjudicial en la interacción motora-cognitiva (Hamacher et al., 2016; Abdallat et al., 2022).

Hamacher et al. (2014) compararon la marcha de doble tarea en individuos sanos y en aquellos que padecían dolor de espalda. Se observaron índices de variabilidad de la marcha más altos en pacientes que sufrían dolor de espalda. Los autores sugirieron que el dolor crónico reduce la capacidad motora-cognitiva para realizar tareas duales. Además, postularon que los efectos nocivos son causados por mecanismos centrales, donde el dolor altera las funciones ejecutivas, lo que a su vez puede contribuir a un mayor riesgo de caídas. Yogev-Seligmann et al. (2008) observaron que la corteza prefrontal está involucrada no solo en las funciones ejecutivas sino también en el procesamiento del dolor y la priorización de tareas que requieren atención (Yogev-Seligmann et al., 2008; Nguyen et al., 2023).

Aunque el número de publicaciones sobre la evaluación de la marcha en condiciones de doble tarea en ortopedia y traumatología es significativamente menor que el de los pacientes ancianos o neurológicos, parece que el paradigma de doble tarea tiene un valor diagnóstico importante para los pacientes de ortopedia y traumatología. Permite la evaluación de la marcha en condiciones similares a las de la vida diaria y también puede contribuir a identificar a los pacientes con alto riesgo de caídas. Se necesitan más investigaciones para identificar las condiciones con altos efectos de doble tarea, determinar las causas de dichos cambios y desarrollar programas de fisioterapia destinados a restablecer la marcha eficiente en condiciones de doble tarea.

10.6.4 Aplicación de la evaluación de la marcha mediante doble tarea en la medicina deportiva

Tanto las actividades diarias como los deportes requieren la coordinación simultánea de tareas motoras y cognitivas por parte del sistema nervioso central (Howell et al., 2018). Durante la marcha, el SNC debe recibir y procesar información sensorial de los sistemas musculoesquelético y vestibular junto con estímulos visuales, gestionar el trabajo muscular y controlar la afluencia de información del entorno circundante, todo ello mientras gestiona tareas motoras y/o cognitivas adicionales (Socie & Sosnoff, 2013). Durante las actividades deportivas, el sistema nervioso supervisa las tareas motoras relacionadas con la locomoción y actividades adicionales (p. ej., atrapar una pelota), así como las tareas cognitivas relacionadas con la estrategia empleada por el atleta. La evaluación de la marcha de doble tarea puede mejorar la medicina deportiva al evaluar la asignación de atención en los dominios cognitivo y motor (Howell et al., 2018). El diagnóstico y el entrenamiento de la marcha de doble tarea es un campo nuevo pero en rápida evolución en la medicina deportiva. La suposición de que una marcha correcta es un requisito previo para iniciar el proceso de retorno a la carrera ya es una norma en los protocolos de rehabilitación (Cole, 2016). Parece que recuperar la capacidad de realizar una marcha de doble tarea puede ser un paso importante para volver a entrenar, especialmente en deportes que combinan la locomoción con tareas adicionales.

Muchas publicaciones sobre el uso de la evaluación de la marcha en dos tareas en la medicina deportiva se relacionan con la conmoción cerebral. Khurana y Kaye (2012) indican que la conmoción cerebral es una lesión común en deportes de contacto como el fútbol americano y australiano, el rugby, el fútbol, el boxeo, la lucha libre, el baloncesto, el hockey sobre césped y el lacrosse, lo que presenta un desafío significativo para los profesionales de la salud que trabajan con atletas. La investigación realizada por Howell et al. (2018) sobre la marcha en dos tareas en atletas después de una conmoción cerebral mostró que aquellos que mostraron una velocidad de marcha reducida en condiciones de doble tarea tenían un mayor riesgo de lesión al regresar a los deportes. Cabe destacar que la evaluación utilizando la Escala de síntomas posconmoción cerebral no se correlacionó con el grado de alteraciones de la marcha en dos tareas. Esto sugiere que la evaluación de la marcha en dos tareas puede proporcionar información única y significativa sobre la recuperación funcional después de una lesión (Howell et al., 2018).

Los resultados de las evaluaciones de la marcha con doble tarea indican diferencias de género. Se observó que las mujeres adolescentes que sufrieron conmociones cerebrales tenían un efecto de doble tarea en la cadencia menor en comparación con los hombres (Howell et al., 2017). Esto destaca que la realización de evaluaciones que midan la asignación de atención en los dominios cognitivo y motor puede proporcionar nuevos datos valiosos, lo que permite una fisioterapia más individualizada y procesos de retorno al entrenamiento para los atletas. Lee et al. (2013) destacan el papel de la evaluación de la marcha con doble tarea como un método de diagnóstico que identifica deterioros físicos y cognitivos sutiles, que pueden no detectarse mediante estrategias de evaluación tradicionales.

Otra lesión frecuente entre los deportistas es la rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) de la rodilla. Este tipo de lesión presenta numerosos retos para el equipo médico y técnico, empezando por la reconstrucción quirúrgica de la rodilla, guiando al deportista a través del proceso de rehabilitación y asegurando un retorno seguro al entrenamiento y la competición deportiva. La marcha puede verse afectada debido a los síntomas provocados por la propia lesión del ligamento o por las consecuencias de la intervención quirúrgica (dolor, hinchazón, disminución de la fuerza muscular). El LCA sufre un estrés importante durante la marcha, especialmente durante la fase de balanceo (Brinnlle et al., 2022).

Las personas con lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) y aquellas que se han sometido a una reconstrucción del LCA muestran un peor desempeño en las evaluaciones de marcha de doble tarea en comparación con las personas sanas. Esto se manifiesta como una menor eficiencia en la realización de tareas cognitivas y una reducción de la velocidad de locomoción (Abdall et al., 2020; Ness et al., 2020). La causa de estos cambios puede deberse a un daño en los propioceptores ubicados en el LCA, que detectan cambios en la tensión, la velocidad, la aceleración y la dirección del movimiento, y permiten la determinación subconsciente de la posición de la articulación de la rodilla en el espacio (Dhillon et al. 2012).

Kapreli et al. (2009) afirman que el daño ligamentoso conduce a alteraciones en el control neuromuscular, afecta a los programas centrales y, en consecuencia, afecta la respuesta motora, causando una disfunción significativa de la extremidad afectada. Los estudios de activación cerebral mediante resonancia magnética funcional indican que el daño del ligamento cruzado anterior (LCA) puede provocar una reorganización del sistema nervioso central, lo que sugiere que dicho daño puede considerarse una disfunción neurofisiológica en lugar de una simple lesión del sistema musculoesquelético periférico (Kapreli et al., 2009). Los pacientes con deficiencia del ligamento cruzado anterior presentaron una activación disminuida en varias áreas corticales sensoriomotoras y una activación aumentada en 3 áreas en comparación con los controles: área motora presuplementaria, área somatosensorial secundaria posterior y giro temporal posteroinferior. Parece que durante la marcha en condiciones de una tarea cognitiva adicional, los déficits de información sensorial se compensan con la participación de áreas adicionales del sistema nervioso, lo que reduce los recursos atencionales disponibles para realizar ambas tareas simultáneamente. Como resultado, esto conduce a un deterioro en la eficiencia de la marcha o de la tarea adicional.

Abdalla et al. (2020) concluyeron que la utilización de paradigmas de doble tarea tiene el potencial de mejorar e implementar nuevas estrategias para programas de rehabilitación y diversas opciones terapéuticas para personas con lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA).

El potencial y los desafíos de la evaluación de la marcha con doble tarea en la medicina deportiva

Parece que la evaluación de la marcha en dos tareas tiene el potencial de complementar el diagnóstico de los atletas al brindar la capacidad de asignar atención tanto a los dominios

motores como cognitivos. Permite la evaluación del control motor en condiciones de multitarea más desafiantes, que se asemejan mucho a las demandas durante las actividades deportivas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la marcha en dos tareas representa un desafío menor en comparación con las actividades deportivas reales. Esta metodología permite el seguimiento de la mejora en la marcha en dos tareas, donde la calidad óptima parece ser un elemento significativo en la fisioterapia, que influye en la locomoción adecuada en la vida diaria y un retorno seguro a las actividades deportivas. Finalmente, el entrenamiento en dos tareas puede producir mayores beneficios en comparación con el entrenamiento en una sola tarea en términos de desarrollo de habilidades en los deportes (Lee et al., 2013).

Referencias

- Abdallat, R., Sharouf, F., Button, K., & Al-Amri, M. (2020). Dual-task effects on performance of gait and balance in people with knee pain: A systematic scoping review. *Journal of Clinical Medicine*, 9(5), 1554. <https://doi.org/10.3390/jcm9051554>
- Beauchet, O., Allali, G., Annweiler, C., Berrut, G., Maarouf, N., Herrmann, F. R., & Dubost, V. (2008). Does change in gait while counting backward predict the occurrence of a first fall in older adults? *Gerontology*, 54(4), 217–223. <https://doi.org/10.1159/000127318>
- Beauchet, O., Dubost, V., Allali, G., Gonthier, R., Hermann, F. R., & Kressig, R. W. (2007). 'Faster counting while walking' as a predictor of falls in older adults. *Age and Ageing*, 36(4), 418–423. <https://doi.org/10.1093/ageing/afm011>
- Bowen, A., Wenman, R., Mickelborough, J., Foster, J., Hill, E., & Tallis, R. (2001). Dual-task effects of talking while walking on velocity and balance following a stroke. *Age and Ageing*, 30(4), 319–323. <https://doi.org/10.1093/ageing/30.4.319>
- Brinlee, A. W., Dickenson, S. B., Hunter-Giordano, A., & Snyder-Mackler, L. (2022). ACL reconstruction rehabilitation: Clinical data, biologic healing, and criterion-based milestones to inform a return-to-sport guideline. *Sports Health*, 14(5), 770–779. <https://doi.org/10.1177/19417381211056873>
- Canning, C. G., Ada, L., & Paul, S. S. (2006). Is automaticity of walking regained after stroke? *Disability and Rehabilitation*, 28(2), 97–102. <https://doi.org/10.1080/09638280500167712>
- Cole, S. (2016). Przywracanie pacjenta do biegania. In T. J. Tradaj (Ed.), *Pooperacyjna rehabilitacja pacjentów ortopedycznych* (3rd ed., pp. 706–719). BP Publishing.
- Commandeur, D., Klimstra, M. D., MacDonald, S., Inouye, K., Cox, M., Chan, D., & Hundza, S. R. (2018). Difference scores between single-task and dual-task gait measures are better than clinical measures for detection of fall-risk in community-dwelling older adults. *Gait & Posture*, 66, 155–159. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.08.020>
- Del Din, S., Elshehabi, M., Galna, B., Hobert, M. A., Warmerdam, E., Suenkel, U., Brockmann, K., Metzger, F., Hansen, C., Berg, D., Rochester, L., & Maetzler, W. (2019). Gait analysis with wearables predicts conversion to Parkinson disease. *Annals of Neurology*, 86(3), 357–367. <https://doi.org/10.1002/ana.25548>
- Dhillon, M. S., Bali, K., & Prabhakar, S. (2012). Differences among mechanoreceptors in healthy and injured anterior cruciate ligaments and their clinical importance. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 2(1), 38–43.
- Ehlers, D. K., Banducci, S. E., Daugherty, A. M., Fanning, J., Awick, E. A., Porter, G. C., Burzynska, A., Shen, S., Kramer, A. F., & McAuley, E. (2017). Effects of Gait Self-Efficacy and Lower-Extremity Physical Function on Dual-Task Performance in Older Adults. *BioMed research international*, 2017, 8570960. <https://doi.org/10.1155/2017/8570960>
- Fong, J. H., & Feng, J. (2018). Comparing the loss of functional independence of older adults in the U.S. and China. *Archives of gerontology and geriatrics*, 74, 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2017.10.020>
- Freire Júnior, R. C., Porto, J. M., Marques, N. R., Magnani, P. E., & Abreu, D. C. (2017). The effects of a simultaneous cognitive or motor task on the kinematics of walking in older fallers and non-fallers. *Human movement science*, 51, 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.12.004>

Gabell, A., & Nayak, U. S. (1984). The effect of age on variability in gait. *Journal of gerontology*, 39(6), 662–666. <https://doi.org/10.1093/geronj/39.6.662>

Goertzen, M., Gruber, J., Dellmann, A., Clahsen, H., & Schulitz, K. P. (1993). Neurohistologische Untersuchungen bei allogenen Kreuzbandtransplantaten als intraartikulärer Bandersatz [Neurohistological studies in allogeneic cruciate ligament transplants as intra-articular ligament replacement]. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*, 131(5), 420–424. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1040049>

Gross, M. M., Crane, E. A., & Fredrickson, B. L. (2012). Effort-Shape and kinematic assessment of bodily expression of emotion during gait. *Human movement science*, 31(1), 202–221. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.05.001>

Hamacher, D., Hamacher, D., & Schega, L. (2014). A cognitive dual task affects gait variability in patients suffering from chronic low back pain. *Experimental brain research*, 232(11), 3509–3513. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-4039-1>

Hamacher, D., Rudolf, M., Lohmann, C., & Schega, L. (2016). Pain severity reduction in subjects with knee osteoarthritis decreases motor-cognitive dual-task costs. *Clinical biomechanics* (Bristol, Avon), 39, 62–64. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2016.09.009>

Herman, T., Mirelman, A., Giladi, N., Schweiger, A., & Hausdorff, J. M. (2010). Executive control deficits as a prodrome to falls in healthy older adults: a prospective study linking thinking, walking, and falling. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 65(10), 1086–1092. <https://doi.org/10.1093/gerona/glp077>

Hollman, J. H., Kovash, F. M., Kubik, J. J., & Linbo, R. A. (2007). Age-related differences in spatiotemporal markers of gait stability during dual task walking. *Gait & posture*, 26(1), 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.08.005>

Howell, D. R., Buckley, T. A., Lynall, R. C., & Meehan, W. P., 3rd (2018). Worsening Dual-Task Gait Costs after Concussion and their Association with Subsequent Sport-Related Injury. *Journal of neurotrauma*, 35(14), 1630–1636. <https://doi.org/10.1089/neu.2017.5570>

Howell, D. R., Stracciolini, A., Geminiani, E., & Meehan, W. P., 3rd (2017). Dual-task gait differences in female and male adolescents following sport-related concussion. *Gait & posture*, 54, 284–289. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.03.034>

Hupfeld, K. E., Geraghty, J. M., McGregor, H. R., Hass, C. J., Pasternak, O., & Seidler, R. D. (2022). Differential Relationships Between Brain Structure and Dual Task Walking in Young and Older Adults. *Frontiers in aging neuroscience*, 14, 809281. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2022.809281>

Kapreli, E., Athanasopoulos, S., Gliatis, J., Papathanasiou, M., Peeters, R., Strimpakos, N., Van Hecke, P., Gouliamos, A., & Sunaert, S. (2009). Anterior cruciate ligament deficiency causes brain plasticity: a functional MRI study. *The American journal of sports medicine*, 37(12), 2419–2426. <https://doi.org/10.1177/0363546509343201>

Kemper, S., McDowd, J., Pohl, P., Herman, R., & Jackson, S. (2006). Revealing language deficits following stroke: the cost of doing two things at once. *Neuropsychology, development, and cognition. Section B, Aging, neuropsychology and cognition*, 13(1), 115–139. <https://doi.org/10.1080/13825580500501496>

Khurana, V. G., & Kaye, A. H. (2012). An overview of concussion in sport. *Journal of clinical neuroscience : official journal of the Neurosurgical Society of Australasia*, 19(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2011.08.002>

Krasovsky, T., Weiss, P. L., & Kizony, R. (2017). A narrative review of texting as a visually-dependent cognitive-motor secondary task during locomotion. *Gait & posture*, 52, 354–362. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.12.027>

Kressig, R. W., Herrmann, F. R., Grandjean, R., Michel, J. P., & Beauchet, O. (2008). Gait variability while dual-tasking: fall predictor in older inpatients?. *Aging clinical and experimental research*, 20(2), 123–130. <https://doi.org/10.1007/BF03324758>

Langeard, A., Torre, M. M., & Temprado, J. J. (2021). A Dual-Task Paradigm Using the Oral Trail Making Test While Walking to Study Cognitive-Motor Interactions in Older Adults. *Frontiers in aging neuroscience*, 13, 712463. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.712463>

LaRoche, D. P., Greenleaf, B. L., Croce, R. V., & McGaughy, J. A. (2014). Interaction of age, cognitive function, and gait performance in 50-80-year-olds. *Age (Dordrecht, Netherlands)*, 36(4), 9693. <https://doi.org/10.1007/s11357-014-9693-5>

Lee, H., Sullivan, S. J., & Schneiders, A. G. (2013). *The use of the dual-task paradigm in detecting gait performance deficits following a sports-related concussion: a systematic review and meta-analysis*. *Journal of science and medicine in sport*, 16(1), 2–7. <https://doi.org/10.1016/j.jssams.2012.03.013>

Lin, M. B., & Huang, Y. P. (2017). *The impact of walking while using a smartphone on pedestrians' awareness of roadside events*. *Accident; analysis and prevention*, 101, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.005>

Maclean, L. M., Brown, L. J. E., Khadra, H., & Astell, A. J. (2017). *Observing prioritization effects on cognition and gait: The effect of increased cognitive load on cognitively healthy older adults' dual-task performance*. *Gait & posture*, 53, 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.01.018>

Maki B. E. (1997). *Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear*. *Journal of the American Geriatrics Society*, 45(3), 313–320. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1997.tb00946.x>

McIsaac, T. L., Lamberg, E. M., & Muratori, L. M. (2015). *Building a framework for a dual task taxonomy*. *BioMed research international*, 2015, 591475. <https://doi.org/10.1155/2015/591475>

Monaghan, A. S., Ragothaman, A., Harker, G. R., Carlson-Kuhta, P., Horak, F. B., & Peterson, D. S. (2023). *Freezing of Gait in Parkinson's Disease: Implications for Dual-Task Walking*. *Journal of Parkinson's disease*, 13(6), 1035–1046. <https://doi.org/10.3233/JPD-230063>

Ness, B. M., Zimney, K., Schweinle, W. E., & Cleland, J. A. (2020). *DUAL-TASK ASSESSMENT IMPLICATIONS FOR ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT INJURY: A SYSTEMATIC REVIEW*. *International journal of sports physical therapy*, 15(6), 840–855. <https://doi.org/10.26603/ijsp20200840>

Necka E. (1994). *Inteligencja procesy poznawacze*. Oficyna Wydawnicza „Impuls”.

Nguyen, T., Behrens, M., Broscheid, K. C., Bielitzki, R., Weber, S., Libnow, S., Malczewski, V., Baldauf, L., Milberger, X., Jassmann, L., Wustmann, A., Meiler, K., Drange, S., Franke, J., & Schega, L. (2023). *Associations between gait performance and pain intensity, psychosocial factors, executive functions as well as prefrontal cortex activity in chronic low back pain patients: A cross-sectional fNIRS study*. *Frontiers in medicine*, 10, 1147907. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1147907>

Pineda, R. C., Krampe, R. T., Vanlandewijck, Y., & Van Biesen, D. (2023). *Scoping review of dual-task interference in individuals with intellectual disability*. *Frontiers in psychology*, 14, 1223288. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1223288>

Plummer, P., Eskes, G., Wallace, S., Giuffrida, C., Fraas, M., Campbell, G., Clifton, K. L., Skidmore, E. R., & American Congress of Rehabilitation Medicine Stroke Networking Group Cognition Task Force (2013). *Cognitive-motor interference during functional mobility after stroke: state of the science and implications for future research*. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 94(12), 2565–2574.e6. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.08.002>

Plummer-D'Amato, P., Altmann, L. J., Behrman, A. L., & Marsiske, M. (2010). *Interference between cognition, double-limb support, and swing during gait in community-dwelling individuals poststroke*. *Neurorehabilitation and neural repair*, 24(6), 542–549. <https://doi.org/10.1177/1545968309357926>

Plummer-D'Amato, P., Altmann, L. J., Saracino, D., Fox, E., Behrman, A. L., & Marsiske, M. (2008). *Interactions between cognitive tasks and gait after stroke: a dual task study*. *Gait & posture*, 27(4), 683–688. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.09.001>

Plummer-D'Amato, P., Kyvelidou, A., Sternad, D., Najafi, B., Villalobos, R. M., & Zurakowski, D. (2012). *Training dual-task walking in community-dwelling adults within 1 year of stroke: a protocol for a single-blind randomized controlled trial*. *BMC neurology*, 12, 129. <https://doi.org/10.1186/1471-2377-12-129>

Raffegeau, T. E., Krehbiel, L. M., Kang, N., Thijss, F. J., Altmann, L. J. P., Cauraugh, J. H., & Hass, C. J. (2019). *A meta-analysis: Parkinson's disease and dual-task walking*. *Parkinsonism & related disorders*, 62, 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2018.12.012>

Rottermund, J., Michalak, G., Berska-Maślej, M., & Knapik, A. (2023). *Testy czucia głębokiego w diagnostyce stawów kolanowych*. 10.15584/978-83-8277-138-1.3

Schättin, A., Arner, R., Gennaro, F., & de Bruin, E. D. (2016). Adaptations of Prefrontal Brain Activity, Executive Functions, and Gait in Healthy Elderly Following Exergame and Balance Training: A Randomized-Controlled Study. *Frontiers in aging neuroscience*, 8, 278. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00278>

Schmid, A., Duncan, P. W., Studenski, S., Lai, S. M., Richards, L., Perera, S., & Wu, S. S. (2007). Improvements in Speed-Based Gait Classifications Are Meaningful 38(7), 2096–2100. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.106.475921>

Smith, E., Cusack, T., & Blake, C. (2016). The effect of a dual task on gait speed in community dwelling older adults: A systematic review and meta-analysis. *Gait & posture*, 44, 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.12.017>

Socie, M. J., & Sosnoff, J. J. (2013). Gait variability and multiple sclerosis. *Multiple sclerosis international*, 2013, 645197. <https://doi.org/10.1155/2013/645197>

Springer, S., Giladi, N., Peretz, C., Yoge, G., Simon, E. S., & Hausdorff, J. M. (2006). Dual-tasking effects on gait variability: the role of aging, falls, and executive function. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*, 21(7), 950–957. <https://doi.org/10.1002/mds.20848>

Tait, J. L., Duckham, R. L., Milte, C. M., Main, L. C., & Daly, R. M. (2017). Influence of Sequential vs. Simultaneous Dual-Task Exercise Training on Cognitive Function in Older Adults. *Frontiers in aging neuroscience*, 9, 368. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00368>

Wayne, P. M., Hausdorff, J. M., Lough, M., Gow, B. J., Lipsitz, L., Novak, V., Macklin, E. A., Peng, C. K., & Manor, B. (2015). Tai Chi Training may Reduce Dual Task Gait Variability, a Potential Mediator of Fall Risk, in Healthy Older Adults: Cross-Sectional and Randomized Trial Studies. *Frontiers in human neuroscience*, 9, 332. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00332>

Yamada, M., Aoyama, T., Arai, H., Nagai, K., Tanaka, B., Uemura, K., Mori, S., & Ichihashi, N. (2011). Dual-task walk is a reliable predictor of falls in robust elderly adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 59(1), 163–164. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2010.03206.x>

Yoge-Seligmann, G., Hausdorff, J. M., & Giladi, N. (2008). The role of executive function and attention in gait. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*, 23(3), 329–472. <https://doi.org/10.1002/mds.21720>

Zhang, C., Sun, W., Song, Q., Gu, H., & Mao, D. (2018). Performance of older adults under dual task during stair descent. *Journal of exercise science and fitness*, 16(3), 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2018.09.001>

Zhang, X., Fan, W., Yu, H., Li, L., Chen, Z., & Guan, Q. (2022). Single- and dual-task gait performance and their diagnostic value in early-stage Parkinson's disease. *Frontiers in neurology*, 13, 974985. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.974985>

Zhou, J., Manor, B., Yu, W., Lo, O. Y., Gouskova, N., Salvador, R., Katz, R., Cornejo Thumm, P., Brozgol, M., Ruffini, G., Pascual-Leone, A., Lipsitz, L. A., & Hausdorff, J. M. (2021). Targeted tDCS Mitigates Dual-Task Costs to Gait and Balance in Older Adults. *Annals of neurology*, 90(3), 428–439. <https://doi.org/10.1002/ana.26156>