

## Imagética motora na reabilitação do membro superior pós AVC: uma revisão narrativa

### Motor imagery in upper limb post-stroke rehabilitation: a narrative review

Alexandra Guimarães<sup>1</sup> , Hugo Santos<sup>2</sup> , Ana Isabel Vieira<sup>2</sup> , Maria Vânia Silva Nunes<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Serviço de Medicina Física e Reabilitação, Hospital de São José, Centro Hospitalar Universitário de Lisboa Central, Lisboa, Portugal

<sup>2</sup>Departamento de Fisioterapia Escola Superior de Saúde do Alcoitão, Lisboa, Portugal

<sup>3</sup>Universidade Católica Portuguesa, Faculdade de Ciências da Saúde e de Enfermagem, Centro de Investigação Interdisciplinar em Saúde (CIIS), Portugal

\*Autor correspondente/Corresponding author: [guimaraesrxana@gmail.com](mailto:guimaraesrxana@gmail.com)

Recebido/Received: 28-04-2023; Revisto/Revised: 14-12-2023; Aceite/Accepted: 04-03-2024

#### Resumo

**Introdução:** Tendo em conta que o cérebro é um órgão altamente complexo e organizado, a gravidade e o comprometimento dos défices causados por um Acidente Vascular Cerebral (AVC), dependem em grande parte da sua extensão e localização. Estes défices são o resultado da perda de circuitos neuronais ligados às funções sensoriais, motoras e cognitivas. Vários estudos clínicos indicam que o treino mental através da imagética motora (IM) parece ser eficaz quando associado à neuroreabilitação, na recuperação da função do membro superior. **Objetivo:** Explorar os aspetos teóricos inerentes à utilização da IM na reabilitação do membro superior pós AVC, através de uma revisão narrativa. **Métodos:** Pesquisa nas fontes bibliográficas através das bases de dados PubMed, EBSCOhost, CINAHL, Scopus, Web of Science e PEDro, tendo sido realizada a última pesquisa a 30 de maio de 2023. **Resultados:** Foram selecionados para revisão artigos RCT e revisões sistemáticas, que abordassem os efeitos da IM na função do membro superior. **Conclusão:** Os artigos analisados nesta revisão apontam para uma relação positiva entre os efeitos da IM e a recuperação do membro superior pós AVC, nomeadamente, quando esta técnica é combinada com a Terapia Ocupacional e a Fisioterapia, reforçando a importância de considerar a introdução do treino mental com IM nos programas de reabilitação.

**Palavras-chave:** Acidente Vascular Cerebral, treino mental, imagética motora, membro superior, reabilitação motora.

#### Abstract

**Introduction:** Considering that the brain is a highly complex and organized organ, the severity and impairment of deficits caused by a Stroke largely depend on their extent and location. These deficits are the result of the loss of neural circuits linked to sensory, motor, and cognitive functions. Various clinical studies indicate that mental training through motor imagery (MI) appears to be effective when associated with neurorehabilitation, in the recovery of upper limb function. **Objective:** To explore the theoretical aspects of using MI in upper limb rehabilitation post-stroke, through a narrative review. **Methods:** Research was conducted in bibliographic sources through the databases PubMed, EBSCOhost, CINAHL, Scopus, Web of Science, and PEDro, with the last search carried out on 30th May 2023. **Results:** RCT articles and systematic reviews that addressed the effects of MI on upper limb function were selected for review. **Conclusion:** The articles analysed in this review point to a positive relationship between the effects of MI and the recovery of upper limb post-stroke, particularly when this technique is combined with Occupational Therapy and Physiotherapy, reinforcing the importance of considering the introduction of mental training with MI in rehabilitation programs.

**Keywords:** Stroke, mental training, motor imagery, upper limb, motor rehabilitation.

#### 1. INTRODUÇÃO

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) é considerado um dos maiores problemas de saúde pública pelo impacto que tem na pessoa e na sociedade, sendo a segunda maior causa de morte a nível mundial (Saini et al., 2021).

O AVC é caracterizado por uma perda da função cerebral,

#### 1. INTRODUCTION

Stroke is considered one of the major public health issues due to its impact on individuals and society, being the second leading cause of death worldwide (Saini et al., 2021).

A stroke is characterized by a sudden or rapidly developing loss of brain function, focal or global, with no other cause than vascular. Given that the brain is a highly complex and organized organ, the severity and impairment of deficits caused by a stroke largely depend on their extent and location.

súbita ou de desenvolvimento rápido, focal ou global, sem qualquer outra causa além da vascular. Tendo em conta que o cérebro é um órgão altamente complexo e organizado, a gravidade e o comprometimento dos défices causados por um AVC, depende em grande parte da sua extensão e localização. Fisiologicamente, estes défices são o resultado da perda de circuitos e conexões neuronais ligados às funções sensoriais, motoras e cognitivas (Renton et al., 2017).

Em termos motores as sequelas causadas pelo AVC são geralmente a hemiparesia ou a hemiplegia, com grande impacto na mobilidade global e na função do membro superior, especialmente na função da mão, sendo esta, uma das consequências mais incapacitantes (Raghavan et al., 2015). Segundo Blomgren et al., (2019), a autonomia no desempenho das atividades da vida diária (AVD) pode ser condicionada pelas disfunções cognitivas, motoras, sensitivas e emocionais. Ao mesmo tempo, a incapacidade de utilizar o membro superior nas AVD pode levar à perda de independência nas suas ocupações significativas (como por exemplo, trabalho, condução, cuidados pessoais) podendo ainda contribuir para a sua institucionalização (Winstein et al., 2016).

As AVD devem ser realizadas para que o sobrevivente de AVC se mantenha integrado na sua comunidade. O que sabemos atualmente é que os sobreviventes de um AVC apresentam níveis reduzidos de participação nas suas atividades do dia a dia, diminuindo o seu envolvimento ao longo dos anos, (Wondergem et al., 2017). Assim, melhorar a função do membro superior é um dos principais objetivos durante o processo de reabilitação (Fernández-Gómez et al., 2018), pois a capacidade para alcançar e manipular objetos, está na base das nossas interações diárias com o ambiente (Turella et al., 2014).

A neuroreabilitação tem como objetivo principal desenvolver intervenções baseadas na evidência, através de estudos sobre a aprendizagem e a adaptação, bem como, mostrar os seus efeitos, no que diz respeito à plasticidade cerebral e à recuperação funcional, dependente da experiência ou da prática de exercícios específicos (Maier et al., 2019). A Terapia Ocupacional (TO) e a Fisioterapia (FT), intervêm em diversos contextos de saúde, nomeadamente na área da neuroreabilitação com sobreviventes de AVC. Neste contexto, têm como objetivos, melhorar as funções cognitivas e motoras, o envolvimento e a participação nas AVD, assim como, facilitar a recuperação do indivíduo, reduzindo ou prevenindo défices nas funções motoras (de Jong et al., 2018).

O treino mental através da imagética motora (IM), amplamente estudado e aplicado em áreas como o desporto e a psicologia, trouxe uma nova visão aos limites da neuroreabilitação e à prática clínica destas profissões (Plakoutsis et al., 2022). O conceito de treino mental através da IM engloba a melhoria de competências motoras através de práticas mentais, sem a necessidade de realizar a ação fisicamente. O termo IM (em inglês Motor Imagery) é desde há alguns anos utilizado para abordar especificamente o treino mental de movimentos do corpo (Schuster et al., 2011).

Uma das características fundamentais desta abordagem, é a possibilidade de criar e treinar representações mentais de uma ação sem a necessidade de executar o movimento. Neste sentido, a literatura sugere que a IM partilha redes neuronais

Physiologically, these deficits result from the loss of circuits and neural connections linked to sensory, motor, and cognitive functions (Renton et al., 2017).

In motor terms, the sequelae caused by stroke are generally hemiparesis or hemiplegia, with a significant impact on overall mobility and upper limb function, especially hand function, which is one of the most disabling consequences (Raghavan et al., 2015). According to Blomgren et al., (2019), autonomy in performing daily living activities (DLAs) may be conditioned by cognitive, motor, sensory, and emotional dysfunctions. At the same time, the inability to use the upper limb in DLAs can lead to a loss of independence in their significant occupations (such as work, driving, personal care) and may even contribute to their institutionalization (Winstein et al., 2016).

DLAs must be performed so that stroke survivors remain integrated into their community. What we currently know is that stroke survivors show reduced levels of participation in their day-to-day activities, decreasing their involvement over the years (Wondergem et al., 2017). Therefore, improving upper limb function is one of the main objectives during the rehabilitation process (Fernández-Gómez et al., 2018), as the ability to reach and manipulate objects is at the core of our daily interactions with the environment (Turella et al., 2014).

The main goal of neurorehabilitation is to develop evidence-based interventions through studies on learning and adaptation, as well as to demonstrate their effects in terms of brain plasticity and functional recovery, dependent on the experience or practice of specific exercises (Maier et al., 2019). Occupational Therapy (OT) and Physiotherapy (PT), intervene in various health contexts, particularly in neurorehabilitation with stroke survivors. In this context, their objectives include improving motor functions, engagement, and participation in DLAs of individuals, as well as facilitating the individual's recovery, reducing, or preventing deficits in motor functions (de Jong et al., 2018).

Mental training through Motor Imagery (MI), widely studied and applied in areas such as sport and psychology, has brought a new perspective to the limits of neurorehabilitation and to the clinical practice of these professions (Plakoutsis et al., 2022). The concept of mental training through MI encompasses the improvement of motor skills through mental practices, without the need to physically perform the action. The term MI has been used in recent years to specifically address the mental training of body movements (Schuster et al., 2011).

One of the key features of this approach is the ability to create and train mental representations of an action without the need to execute the movement. In this sense, the literature suggests that MI shares common neural networks with motor execution and, in turn, promotes the activation of neural patterns involved in the control, planning, and programming of movement (Henschke et al., 2023).

Additionally, this approach is related to the concept of "mirror neurons," which play a fundamental role in the understanding of motor actions and empathy. Mirror neurons are a type of neuron present in motor circuits, activated not only when we perform an action but also when we observe someone else performing the same action, and even when we imagine that motor action. This ability to map others' actions

comuns à execução motora e, por sua vez, promove a ativação de padrões neuronais envolvidos no controle, planejamento e programação do movimento (Henschke et al., 2023).

Adicionalmente, esta abordagem está relacionada com o conceito de "neurónios espelho", que desempenham um papel fundamental na compreensão das ações motoras e da empatia. Os neurónios espelho são um tipo de neurónio, que estão presentes nos circuitos motores, que se ativam tanto quando realizamos uma ação como quando observamos alguém a executar a mesma ação, e até mesmo quando imaginamos essa ação motora. Esta capacidade de mapear as ações dos outros no nosso próprio sistema neuronal tem implicações profundas na compreensão da IM e das suas bases neurais (Bonini, et al., 2022).

Vários estudos indicam-nos que esta técnica parece ser mais eficaz quando associada às terapias de reabilitação comuns, como a TO e a FT (Villa-Berges et al., 2023). A sua aplicação exige menos esforço por parte da pessoa e aumenta a sua motivação para o envolvimento nas tarefas terapêuticas subsequentes (Carrasco et al., 2016). O objetivo deste tipo de intervenção parece ser a maximização da concentração e da motivação da pessoa sem condicionantes quanto ao tempo, equipamento e défices motores.

A realização desta revisão narrativa surge em resposta ao crescente interesse no campo da IM e à importância da sua aplicação no contexto da neuroreabilitação. Como vimos, a IM, processo que envolve a simulação mental de ações motoras, tem ganhado destaque como uma abordagem promissora para melhorar o desempenho motor em indivíduos que enfrentam condições neurológicas, como o AVC.

O contexto atual dos avanços tecnológicos e científicos tornou evidente que a IM pode desempenhar um papel significativo na recuperação funcional desses indivíduos. No entanto, apesar da crescente popularidade desta abordagem, é fundamental entender as bases teóricas e os mecanismos subjacentes à sua eficácia, a fim de otimizar a sua aplicação e desenvolver intervenções mais precisas e eficientes.

A revisão narrativa que apresentamos neste artigo desempenha um papel relevante ao consolidar as evidências científicas disponíveis sobre a IM no contexto de AVC. Ao reunir e sintetizar estudos relevantes, esta revisão procura identificar as tendências, lacunas e desafios na investigação existente. Além disso, pretende destacar os avanços mais recentes, bem como, oferecer uma visão global sobre como a IM pode ser integrada de forma eficaz nos programas de reabilitação e nas estratégias de intervenção clínica.

A relevância desta revisão narrativa também reside na sua capacidade de facilitar a compreensão do tema. Em muitos casos, os artigos existentes sobre o assunto podem ser excessivamente complexos e dispersos. Através da análise e síntese cuidadosa da literatura, esta revisão tem o propósito de apresentar o conhecimento de forma mais acessível, tornando mais fácil para os investigadores e os clínicos entenderem as implicações da IM na reabilitação neuromotora, em especial do membro superior. Ao unir informações fragmentadas e clarificar conceitos complexos, procura ser uma fonte centralizada de conhecimento que ajuda a esclarecer este tema para todos os interessados.

onto our own neural system has profound implications for understanding MI and its neural bases (Bonini, et al., 2022).

Various studies indicate that this technique seems to be more effective when combined with common rehabilitation therapies, such as OT and PT (Villa-Berges et al., 2023). Its application requires less effort on the part of the individual and increases their motivation for engagement in subsequent therapeutic tasks (Carrasco et al., 2016). The aim of this type of intervention appears to be the maximization of the individual's concentration and motivation without constraints on time, equipment, and motor deficits.

The undertaking of this narrative review arises in response to the growing importance and interest in the field of MI and its application in the context of neurorehabilitation. As we have seen, MI, a mental process involving the mental simulation of motor actions, has emerged as a promising approach to improve motor performance in individuals facing neurological conditions, such as stroke.

The current context of technological and scientific advancements has made it evident that MI can play a significant role in the functional recovery of these individuals. However, despite the growing popularity of this approach, it is crucial to understand the theoretical foundations and the underlying mechanisms of its efficacy, to optimize its application and develop more precise and efficient interventions.

The narrative review we present in this article plays a relevant role in consolidating the available scientific evidence on MI in the context of stroke. By gathering and synthesizing relevant studies, this review seeks to identify trends, gaps, and challenges in existing research. Furthermore, it aims to highlight the most recent advancements, as well as offer a comprehensive overview of how MI can be effectively integrated into rehabilitation programs and clinical intervention strategies.

The relevance of this narrative review also lies in its ability to facilitate the understanding of the topic. In many cases, existing articles on the subject may be overly complex and scattered. Through careful analysis and synthesis of the literature, this review aims to present knowledge in a more accessible manner, making it easier for researchers and clinicians to understand the implications of MI in neuromotor rehabilitation, especially of the upper limb. By bringing together fragmented information and clarifying complex concepts, this review seeks to be a centralized source of knowledge that helps to elucidate the field for all those interested.

Thus, with this narrative review, we aim to explore the theoretical aspects inherent in the use of MI, with a special focus on the rehabilitation of the upper limb in stroke survivors.

## 2. METHODOLOGY

The methodology began with the search for bibliographic sources through databases: PubMed, EBSCOhost, CINAHL, Scopus, Web of Science, and PEDro. To optimize the search, we used a combination of keywords with the Boolean operators 'OR' and 'AND', resulting in the following search expression: ("brain infarction" OR "cerebrovascular accident" OR stroke) AND ("motor imagery" OR "mental practice" OR "mental imagery") AND ("upper extremity" OR "upper limb" OR arm).

Assim, com esta revisão narrativa pretendemos explorar os aspetos teóricos inerentes à utilização da IM, com especial enfoque na reabilitação do membro superior em sobreviventes de AVC.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia iniciou-se com a procura de fontes bibliográficas através das bases de dados: PubMed, EBSCOhost, CINAHL, Scopus, Web of Science e PEDro. Para otimizar a busca, utilizamos uma combinação de palavras-chave com os operadores booleanos 'OR' e 'AND', resultando na seguinte expressão de pesquisa: ("brain infarction" OR "cerebrovascular accident" OR stroke) AND ("motor imagery" OR "mental practice" OR "mental imagery") AND ("upper extremity" OR "upper limb" OR arm).

Os critérios de inclusão estabelecidos foram: estudos que investigaram o uso da IM em pessoas pós-AVC, estudos que avaliaram a função do membro superior após a intervenção com IM, publicações em inglês, espanhol ou português. No que se refere à eficácia da intervenção, foram selecionados estudos controlados e randomizados, bem como revisões sistemáticas.

Em contrapartida, excluímos estudos que não se focaram especificamente na função do membro superior, bem como na utilização da técnica de imagética motora, e ainda, artigos de opinião, capítulos de livros e aqueles sem acesso ao texto completo.

A seleção inicial dos estudos identificados baseou-se na avaliação de títulos e resumos. Os que se mostraram potencialmente relevantes foram lidos na íntegra para determinar a sua adequação. Extraímos dos estudos selecionados dados como: autoria, ano de publicação, metodologia, amostra, intervenção, resultados e conclusões, organizando-os de forma descritiva. Por fim, destacamos que a data da última pesquisa foi realizada a 30 de maio de 2023.

## 3. RESULTADOS

Com a análise dos 14 estudos selecionados, verificou-se que estes foram conduzidos em seis países e publicados em 13 revistas científicas diferentes, revistos por pares. No total, os estudos abrangeram 470 pessoas com idade superior a 18 anos, que foram avaliadas relativamente: à função motora do membro superior; função cognitiva global e capacidade de imagética motora. Todos os estudos são empíricos e com grupo de controlo.

A fim de facilitar a visualização dos estudos selecionados, os resultados foram organizados de acordo com a revista, autor, ano de publicação, país, tipo de estudo (tabela 1).

## 4. REVISÃO DA LITERATURA

### 4.1. DEFINIÇÃO E MECANISMOS DA IMAGÉTICA MOTORA

O campo da representação e da simulação de atos motores tem já uma longa história na psicologia e no estudo do movimento. Em 1825, Johann Friedrich Herbart, tinha relacionado os movimentos do corpo aos seus efeitos perceptivos e proposto que, o treino com imagética recorrendo a esses efeitos (perceptivos), podia promover a recuperação de movimentos. Algumas décadas mais tarde, também William

The inclusion criteria established were studies that investigated the use of MI in post-stroke individuals, studies that evaluated upper limb function after intervention with MI, publications in English, Spanish, or Portuguese. In terms of intervention efficacy, controlled and randomized studies, as well as systematic reviews, were selected.

Conversely, we excluded studies that did not specifically focus on upper limb function, as well as the use of the motor imagery technique, and opinion articles, book chapters, and those without access to the full text.

The initial selection of identified studies was based on the evaluation of titles and abstracts. Those that appeared potentially relevant were read in full to determine their suitability. From the selected studies, we extracted data such as: authorship, publication year, methodology, sample, intervention, results, and conclusions, organizing them in a descriptive manner. Finally, we highlight that the date of the last search conducted was 30th May 2023.

## 3. RESULTS

From the analysis of the 14 selected studies, it was found that these were conducted in six countries and published across 13 different peer-reviewed journals (table 1). In total, the studies covered 470 individuals over the age of 18, who were assessed for: upper limb motor function; global cognitive function, and motor imagery ability. All studies are empirical and include a control group.

To facilitate the visualization of the selected studies, the results were organized according to the journal, author, publication year, country, and study type (table 1).

## 4. LITERATURE REVIEW

### 4.1. DEFINITION AND MECHANISMS OF MOTOR IMAGERY

The field of representation and simulation of motor acts has a long history in psychology and the study of movement. In 1825, Johann Friedrich Herbart related body movements to their perceptual effects and proposed that training with imagery using these effects could promote the recovery of movements. A few decades later, William James in 1890 argued that any representation of movement somehow awakened the actual movement (Schack et al., 2020).

In the 20th century, MI was seen as a process similar to perception, in the absence of any external stimulus input (Munzert, et al., 2009). To understand this process, Farah (1984) proposed a computational model describing that the imagery process began with the retrieval of information from long-term memory, with this information processed from long-term memory to working memory. This model could, according to Munzert et al. (2009), be adaptable to MI.

Currently, there are various definitions for MI, but the most common defines this process as a dynamic mental state, during which representations of a certain motor act are internally rehearsed and repeated, without any motor action (Andrade et al., 2017). It is considered a body-based simulation technique, where the person is led to create the mental image of a certain movement, with an emphasis on its multisensory components, according to two distinct perspectives: (I) implicit or internal MI,

James, em 1890, defendeu que qualquer representação do movimento despertava, de alguma forma, o movimento real (Schack et al., 2020).

Já no século XX, a IM era vista como um processo semelhante à percepção, na ausência de qualquer entrada de estímulo externo (Munzert, et al., 2009). Para entender este processo, Farah (1984) propôs um modelo computacional que descrevia que o processo de imagética começava com a recuperação da informação da memória de longo prazo, sendo essa informação processada desde a memória de longo prazo, para a memória de trabalho. Este modelo poderia, segundo Munzert et al. (2009), ser adaptável à IM.

through internal visualization, from the perspective of the self, imagining performing a certain movement, and (II) explicit or external MI, through external visualization, where the person visualizes themselves, as an observer, performing a movement (Lee et al., 2019).

In this context, the person is asked to mentally recreate sensorimotor representations (for example, the sensation of holding a cup) that typically emerge during the planning and execution of a specific movement (Ruffino et al., 2019). While in the execution of the movement perception is generated by the transmission of information by the senses, in MI, perceptual information is accessed through memory (Ietswaart et al., 2011).

Tabela/Table 1: Artigos selecionados/Selected studies.

Revista/Journal	Autores/Author	Ano/Year	País/Country	Tipo de estudo/Study design
BRAIN	Ietswaart et al.	2011	Reino Unido/UK	RCT
European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine	Riccio, Iolascon, Barillari, Gimigliano, & Gimigliano	2010	Itália/Italy	RCT
Archives of Physical Medicine and Rehabilitation	Bovend'Eerd, Dawes, Sackley, Izadi, & Wade	2010	Holanda/Netherlands	RCT
Medicine	Ji et al.	2021	Coreia do Sul/South Korea	RCT
Stroke	S J Page, Levine, & Leonard	2007	EUA/USA	RCT, Estudo na fase II (pós estudo piloto)/RCT phase II study (post pilot study)
JAMDA (American Medical Directors Association)	Timmermans et al.	2013	Holanda/Netherlands	RCT – single-blind
The American Journal of Occupational Therapy	Nilsen, Gillen, DiRusso, & Gordon	2012	EUA/USA	RCT, parallel group
JAMDA	Braun et al.	2012	Holanda/Netherlands	RCT
NEURAL REGENERATION RESEARCH	Li et al.	2018	China	RCT
Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering	Wang et al.	2019	China	RCT
Journal of Physical Therapy Science	Park, Lee, Cho, Kim, & Yang	2015	Coreia do Sul/South Korea	RCT
Physical Medicine and Rehabilitation	S J Page, Levine, & Leonard,	2005	EUA/USA	RCT
Annals of Rehabilitation Medicine	Oh, Kim, Kim, & Kim	2016	Coreia do Sul/South Korea	RCT: estudo cross-over AB/BA/RCT: cross-over AB/BA
Clin Rehabil.	Stephen J Page, Dunning, Hermann, Leonard, & Levine	2012	EUA/USA	RCT

Atualmente é possível encontrar várias definições para a IM, mas a mais comum define este processo como sendo um estado mental dinâmico, durante o qual as representações de um determinado ato motor são internamente ensaiadas e repetidas, sem qualquer ação motora (Andrade et al., 2017). É considerada uma técnica de simulação baseada no corpo, onde a pessoa é levada a criar a imagem mental de um determinado movimento, com ênfase nas suas componentes multissensoriais, segundo duas perspectivas distintas: (I) IM implícita ou interna, através da visualização interna, sob a perspectiva do próprio, imaginando-se a realizar determinado movimento e (II) IM explícita ou externa, através da visualização externa, em que a pessoa se visualiza, como observador, a executar um movimento (Lee et al., 2019).

Nesse contexto, solicita-se à pessoa que recrie mentalmente representações sensoriomotoras (por exemplo, a sensação

According to Hardwick et al., (2018), the literature shows that this technique promotes the involvement of motor and sensory areas responsible for movement execution, such as the primary somatosensory area (S1), the premotor cortex, the primary motor cortex (M1), the posterior parietal region (PPR), the basal nuclei (BN), and the cerebellum. We know, through neuroimaging studies, that MI and Movement Execution (ME) share not only cortical areas but also cortical networks, which are called mirror neuron networks (Sharma et al., 2013).

The difference between MI and mental training is that the former is the process of creating mental images of a movement, once or repeatedly, while mental training is the act of mentally repeating a motor action with the goal of learning or improving that process. Nowadays, the term MI is used in both senses, and the term "mental practice" may also be found as a synonym.

Voluntary movement in humans is a product of the

de segurar um copo) que normalmente emergem durante o planejamento e a execução de um movimento específico (Ruffino et al., 2019). Enquanto na execução do movimento a percepção é gerada pela transmissão de informações pelos sentidos, na IM a informação perceptiva é acedida através da memória (Ietswaart et al., 2011).

Segundo, Hardwick, et al., (2018) a literatura mostra que esta técnica promove o envolvimento de áreas motoras e sensitivas, responsáveis pela execução do movimento, como a área somatossensorial primária (S1), o córtex pré-motor, o córtex motor primário (M1), a região parietal posterior (CPP), os núcleos da base (NB) e o cerebelo. Sabemos, através de estudos com neuroimagem, que a IM e a Execução de Movimento (EM) partilham não só áreas corticais, mas também redes corticais, são chamadas as redes de neurónios em espelho (Sharma et al., 2013).

A diferença entre a IM e o treino mental, é que a primeira é o processo de criar imagens mentais de um movimento, uma vez ou repetidamente, ao passo que o treino mental trata-se do ato de repetir mentalmente uma ação motora com o objetivo de aprender ou melhorar esse processo. Hoje em dia o termo IM é utilizado com os dois sentidos, poderemos encontrar ainda o termo prática mental como sinónimo.

O movimento voluntário no ser humano, é um produto da interação complexa entre vários sistemas e órgãos que culmina na contração muscular voluntária, acompanhada da mobilização de estruturas que levam a uma determinada ação (Schwartz et al., 2016). Ao contrário do que acontece com a EM, interpretar as representações neuronais durante o processo de IM não é tão claro, tendo em conta os desafios para determinar concretamente o que a pessoa está a imaginar, mesmo não se tratando de um processo totalmente "offline", uma vez que, é sensível a estímulos aferentes (Munzert et al., 2009). Em 2017, Hardwick e os colegas, numa meta-análise analisaram diversos estudos de forma a entenderem a relação entre a IM, a observação da ação e a EM e concluíram que a IM recrutava uma rede neural que envolvia as regiões corticais pré-motora e parietal e subcorticais nomeadamente o tálamo, o putámen e o cerebelo. No caso da EM, esta envolvia a ativação de áreas sensoriomotoras, pré-motoras, o tálamo, o putámen e cerebelo. Estas comparações permitiram perceber a existência de uma relação entre estes processos e identificar um padrão entre as áreas pré-motora, parietal e somatossensorial. Assim, propuseram que a IM e a EM recrutavam padrões neuronais semelhantes, mas não totalmente idênticos (Henschke et al., 2023).

#### **4.2. AVC E NEUROPLASTICIDADE: DESAFIOS NA REABILITAÇÃO DO MEMBRO SUPERIOR**

As doenças neurológicas acarretam uma carga de limitações muito significativa nas funções neuromotoras e psicossociais, exigindo um processo de reabilitação específico e individualizado, e por vezes prolongado, especialmente no que respeita aos tratamentos que exploram a recuperação cerebral e os processos de neuroplasticidade. O AVC contribui com mais de cinquenta por cento do ônus das doenças que causam dificuldades no desempenho das AVD, superando qualquer outra doença neurológica. Portanto, é crucial que

complex interaction between various systems and organs that culminates in voluntary muscle contraction, accompanied by the mobilization of structures that lead to a specific action (Schwartz et al., 2016). Unlike with ME, interpreting neural representations during the MI process is not as clear, given the challenges in concretely determining what the person is imagining, even though it is not a completely "offline" process, as it is sensitive to afferent stimuli (Munzert et al., 2009). In 2017, Hardwick and colleagues, in a meta-analysis, analyzed various studies to understand the relationship between MI, action observation, and ME and concluded that MI recruited a neural network that involved pre-motor and parietal cortical regions and subcortical regions namely the thalamus, the putamen, and the cerebellum. In the case of ME, it involved the activation of sensorimotor, premotor areas, the thalamus, the putamen, and the cerebellum. These comparisons allowed understanding the existence of a relationship between these processes and identifying a pattern among the premotor, parietal, and somatosensory areas. Thus, they proposed that MI and ME recruited similar but not entirely identical neural patterns (Henschke et al., 2023).

#### **4.2. STROKE AND NEUROPLASTICITY: CHALLENGES IN UPPER LIMB REHABILITATION**

Neurological diseases bring a significant burden of limitations on neuromotor and psychosocial functions, requiring a specific, individualized, and sometimes prolonged rehabilitation process, especially regarding treatments that explore brain recovery and neuroplasticity processes. Stroke contributes to more than fifty percent of the burden of diseases causing difficulties in performing ADLs, surpassing any other neurological disease. Therefore, a coordinated effort among various neurorehabilitation professionals, individuals with brain injuries, and the community is crucial to address this complex condition (Khan et al., 2017).

Upper limb paresis/plegia is one of the most disabling deficits caused by stroke, being one of the most prevalent limitations in stroke survivors treated by rehabilitation teams due to its impact on the ability to perform ADLs. The main goal of rehabilitation is to promote functional autonomy and improve quality of life (Le Dantseur et al., 2020). In the acute phase after a stroke, due to paresis, individuals tend to not use the affected upper limb, promoting its disability and the loss of cortical representation of the upper limb. Over time, this behavior can be learned, and the individual may stop incorporating the affected limb into their functional activities, even if some movement has been recovered (Raghavan et al., 2015).

From a functional perspective, the reduction or lack of muscle strength, sensory and perceptual deficits, lack of overall mobility, and pain can contribute to increased disabilities and disuse of the affected limb, contributing to increased dependence on daily occupations (Hatem et al., 2016). Physical inactivity can result in a reduction of cardiorespiratory capacity and muscle strength, leading to a decline in participation in ADLs (Wondergem et al., 2017). On the other hand, spasticity and motor compensations can occur throughout the recovery process, leading to abnormal movements, which when repeated and reinforced, lead to maladaptive neuroplasticity

haja um esforço coordenado entre diversos profissionais de neuroreabilitação, pessoas com lesões cerebrais e a comunidade como um todo para enfrentar esta condição complexa (Khan et al., 2017).

A parésia/plegia do membro superior é um dos défices mais incapacitantes provocados pelo AVC, sendo uma das limitações mais prevalentes nos sobreviventes de AVC, tratados pelas equipas de reabilitação, devido ao seu impacto na capacidade de realizar as AVD, sendo o objetivo principal da reabilitação, promover a autonomia e independência funcional e melhorar a qualidade de vida (Le Danseur et al., 2020). Na fase aguda, após um AVC, devido à parésia, as pessoas tendem a não usar o membro superior afetado, promovendo a sua incapacidade e a perda de representação cortical do membro superior. Com o decorrer do tempo, este comportamento pode ser aprendido e a pessoa deixa de incorporar o membro afetado nas suas atividades funcionais, mesmo que já tenha recuperado alguns movimentos (Raghavan et al., 2015).

Sob a perspetiva funcional a diminuição ou falta de força muscular, os défices sensoriais e perceptivos, a falta de mobilidade global e a dor, podem contribuir para o aumento das incapacidades e para desuso do membro afetado, contribuindo para o aumento da dependência no desempenho das ocupações do dia-a-dia (Hatem et al., 2016). A inatividade física, pode resultar numa redução da capacidade cardiorrespiratória e da força muscular, levando a um declínio da participação nas AVD (Wondergem et al., 2017). Por outro lado, a espasticidade e as compensações motoras, podem ocorrer ao longo do processo de recuperação, levando a movimentos anormais, que quando repetidos e reforçados, conduzem a uma neuroplasticidade mal-adaptativa e ao uso desadequado de ambos os membros (afetado e não afetado) (Li et al., 2017). A espasticidade, é também considerada uma das consequências mais frequentes, podendo causar deformidades e dor no membro superior, limitando por isso a sua função (Shin et al., 2018). Assim, as intervenções que visam melhorar os défices motores do membro superior, são uma prioridade na reabilitação do indivíduo pós AVC (Salvalaggio et al., 2023).

Atualmente, sabemos que o cérebro revela um espectro de capacidades intrínsecas que se moldam como um sistema altamente dinâmico, com capacidade para alterar as propriedades dos seus circuitos neuronais, esse processo é denominado por neuroplasticidade ou plasticidade cerebral (Hara et al., 2015). Assim a neuroplasticidade, é a capacidade do sistema nervoso para responder a estímulos intrínsecos ou extrínsecos, reorganizando a sua estrutura, função e conexões e para se modificar quer a nível sináptico, quer a nível dos circuitos neuronais, quer a nível funcional. Sendo o cérebro um sistema auto-organizado, que se adapta a um ambiente específico ao longo da vida pré e pós-natal, o comportamento adaptativo em resposta a uma lesão do sistema nervoso requer uma compreensão da interação entre os subsistemas do cérebro, do meio ambiente e do contínuo feedback entre eles (Khan et al.,) e (Chang et al., 2014).

Este conhecimento é significativo à luz das evidências emergentes, mostrando que a plasticidade cerebral desempenha um papel intrínseco na recuperação após a lesão. Em particular, na recuperação da função motora, acompanhada

and inappropriate use of both limbs (affected and unaffected) (Li et al., 2017). Spasticity is also considered one of the most frequent consequences, which can cause deformities and pain in the upper limb, thereby limiting its function (Shin et al., 2018). Thus, interventions aimed at improving motor deficits of the upper limb are a priority in the rehabilitation of individuals post-stroke (Salvalaggio et al., 2023).

Currently, we understand that the brain displays a spectrum of intrinsic capabilities that shape it as a highly dynamic system, capable of altering the properties of its neural circuits. This process is termed neuroplasticity or brain plasticity (Hara et al., 2015). Thus, neuroplasticity is the nervous system's capacity to respond to intrinsic or extrinsic stimuli by reorganizing its structure, function, and connections, and to modify itself at the synaptic level, neural circuitry level, and functional level. As the brain is a self-organizing system that adapts to a specific environment throughout pre- and post-natal life, adaptive behavior in response to an injury to the nervous system requires an understanding of the interaction between the brain's subsystems, the environment, and the continuous feedback between them (Khan et al., and (Chang et al., 2014).

This knowledge is significant considering emerging evidence showing that brain plasticity plays an intrinsic role in recovery after injury. In the recovery of motor function, accompanied by a redistribution of activity within a network of multiple cortical and subcortical motor areas of parallel action (Ietswaart et al., 2011). Activation of cortical and subcortical areas during the execution of MI tasks has been observed through neuroimaging studies, notably the pre-motor, primary motor, primary somatosensory, and parietal areas (Hardwick et al., 2017).

Brain plasticity can lead to a certain degree of spontaneous recovery; however, rehabilitation can facilitate and enhance these processes (Su et al., 2020). Neuronal reorganization and plasticity resulting from stroke begin in the early stages and continue over several weeks, also involving brain regions distant from the lesion site. The acute phase occurs immediately after the first hours of injury with modifications in blood flow, edema, metabolism, and inflammatory process. Over time, there is a gradual reorganization of the sensorimotor system. During this initial stage, spontaneous and endogenous recovery can be observed. The second phase of post-stroke begins weeks to months later, when spontaneous recovery reaches a plateau, representing a stable but still modifiable chronic phase (Hara et al., 2015). According to Albert et al. (2014), neurorehabilitation should begin early, approximately 72 hours after the stroke, with a rigorous assessment and subsequently with a clear definition of specific goals for an individualized rehabilitation process.

Thus, the challenge to improve the motor function recovery of an individual who has suffered a stroke involves understanding how to engage and optimally modify surviving neural networks, with the goal of providing new responses and strategies that compensate for the loss of injured tissues, facilitating the process of brain plasticity (Khan et al., 2017).

### 4.3. MOTOR IMAGERY IN UPPER LIMB REHABILITATION IN INDIVIDUALS WITH STROKE

por uma redistribuição da atividade dentro de uma rede de múltiplas áreas motoras corticais e subcorticais, de ação paralela (letsvaart et al., 2011). Tendo sido observado, através de estudos com neuroimagem, a ativação das áreas corticais e subcorticais durante a execução de tarefas de IM, nomeadamente as áreas pré-motora, motora primária, somatossensorial primária e parietais (Hardwick et al., 2017).

A plasticidade cerebral pode conduzir a um certo grau de recuperação espontânea, contudo, a reabilitação pode facilitar e potenciar estes processos (Su et al., 2020). A reorganização neuronal e a plasticidade que decorrem do AVC começam nas fases iniciais e continuam durante várias semanas, envolvendo também regiões do cérebro distantes do local da lesão. A fase aguda, ocorre logo após as primeiras horas da lesão com modificações no fluxo sanguíneo, edema, metabolismo e processo inflamatório. E ao longo do tempo, dá-se uma reorganização gradual do sistema sensorio-motor. Durante este primeiro estágio, pode observar-se uma recuperação espontânea e endógena. A segunda fase do pós AVC começa semanas a meses depois, quando a recuperação espontânea atinge um plateau representando uma fase crónica estável, mas ainda modificável (Hara et al., 2015). De acordo com Albert et al. (2014), a neuroreabilitação deve ter um início precoce, entre mais ou menos 72 horas após o AVC, com uma avaliação rigorosa e posteriormente com uma definição clara dos objetivos específicos para um processo de reabilitação individualizado.

Assim o desafio para melhorar a recuperação da função motora de uma pessoa que sofreu um AVC passa por entender como envolver e modificar, de forma otimizada, as redes neuronais sobreviventes, com o objetivo de fornecer novas respostas e estratégias que compensem a perda dos tecidos lesados, facilitando o processo de plasticidade cerebral (Khan et al., 2017).

### **4.3. A IMAGÉTICA MOTORA NA REABILITAÇÃO DO MEMBRO SUPERIOR EM PESSOAS COM AVC**

A capacidade para criar e manipular representações mentais é uma competência humana extraordinária da qual faz parte a capacidade de IM (Daprati et al., 2010). Com os notáveis avanços tecnológicos, nas últimas duas décadas, na área da saúde, nomeadamente, no campo da investigação das interfaces cérebro-computador, sentiu-se um crescente interesse na exploração da IM como ferramenta terapêutica (Kaya et al., 2018). A possibilidade de estudar a IM com estudos com neuroimagem, com métodos como a ressonância magnética funcional e a eletroencefalografia, contribuiu para perceber os mecanismos neuronais responsáveis por este processo, e o potencial da sua utilização como ferramenta para a reabilitação de pessoas com AVC e outras lesões cerebrais.

Tendo por base este conhecimento, a IM é considerada uma ferramenta cognitiva com potencial para ser utilizada, estrategicamente, com o objetivo de facilitar e otimizar a aquisição de capacidades sensorio motoras (Schack et al., 2014). No caso de pessoas com AVC, a velocidade de recuperação vai decrescendo ao longo do tempo, pelo que o processo de reabilitação deve ser iniciado logo que possível.

É aqui que a IM pode ter um papel preponderante, uma vez

The capacity to create and manipulate mental representations is an extraordinary human competence, which includes the ability for MI (Daprati et al., 2010). With the remarkable technological advances in the health sector, particularly in the field of brain-computer interface research over the last two decades, there has been growing interest in exploring MI as a therapeutic tool (Kaya et al., 2018). The ability to study MI with neuroimaging studies, using methods such as functional magnetic resonance imaging and electroencephalography, has contributed to understanding the neuronal mechanisms responsible for this process, and the potential of its use as a tool for the rehabilitation of individuals with stroke and other brain injuries.

Based on this knowledge, MI is considered a cognitive tool with potential to be strategically used to facilitate and optimize the acquisition of motor skills (Schack et al., 2014). In the case of individuals with stroke, the speed of recovery decreases over time, hence the rehabilitation process should be initiated as soon as possible.

This is where MI can play a predominant role, as it promotes awareness and activation of the neural structures responsible for the upper limb, even if the individual is unable to execute any movement. For individuals who have suffered a stroke, when there is no movement in a particular structure or there is great difficulty in performing it, especially in the acute phase of the disease, this technique can be an effective tool to facilitate the activation of neural patterns similar to those responsible for the execution of movement, by the possibility of recruiting similar neural networks (Williams et al., 2012).

The literature suggests that MI in the context of neurorehabilitation, and specifically in individuals with stroke, can play a fundamental role in the recovery of lost movements. Considering that individuals who have suffered a stroke are often unable to perform specific movements, MI appears to be a useful tool to facilitate the relearning of affected movements (Li et al., 2018).

The ability to be independent after a stroke largely depends on the recovery of motor function, especially the function of the upper limbs (Stinear et al., 2014). OT and PT are recognized as the focus of motor rehabilitation therapies for neurological injuries. Their approaches involve sensorimotor stimulation with the goal of optimizing the brain's capacity to reorganize, alongside spontaneous recovery, and stimuli from the social/family environment, through activities directed at self-care and functional activities (Kristensen et al., 2016). Mental training through MI has been explored as complementary techniques to existing interventions with individuals who have suffered a stroke, particularly applied to the upper limb. The results of various publications suggest it could be a promising approach, when used in complement to OT and PT, especially in individuals with significant motor impairments (Nunes et al., 2005).

It is essential to consider whether individuals have the capacity to effectively experience the MI process, making it important to assess each person's ability to imagine movement before applying any MI-based intervention protocol (Debarnot et al., 2014), especially in individuals with parietal lobe injuries, who seem to have a diminished capacity for experiencing MI (Stinear et al., 2007).

que, promove a consciencialização e ativação das estruturas neuronais responsáveis pelo membro superior, mesmo que a pessoa não apresente capacidade para executar qualquer movimento. No caso de pessoas que sofreram um AVC, quando não existe movimento numa determinada estrutura ou há uma grande dificuldade em executá-lo, principalmente numa fase aguda da doença, esta técnica pode ser uma boa ferramenta para facilitar a ativação de padrões neuronais semelhantes aos padrões responsáveis pela execução do movimento, pela possibilidade de recrutar redes neuronais semelhantes (Williams et al., 2012).

A literatura encontrada refere que a IM no contexto da neurorreabilitação e especificamente em pessoas com AVC, pode ter um papel fundamental na recuperação dos movimentos perdidos. Tendo em conta que as pessoas que sofreram um AVC são muitas vezes incapazes de realizar movimentos específicos, a IM parece ser uma ferramenta útil para facilitar a reaprendizagem dos movimentos afetados (Li et al., 2018).

A capacidade para ser independente após um AVC, depende em grande parte, da recuperação da função motora, especialmente da função dos membros superiores (Stinear et al., 2014). A TO e a FT são reconhecidas como o foco das terapias de reabilitação motora das lesões neurológicas. As suas abordagens envolvem a estimulação sensoriomotora com o objetivo de otimizar a capacidade do cérebro para se reorganizar, a par da recuperação espontânea, e de estímulos do ambiente social/ familiar, através de atividades dirigidas aos autocuidados e atividades funcionais (Kristensen et al., 2016). O treino mental através da IM tem sido explorado como uma técnica complementar às intervenções existentes com pessoas que sofreram um AVC, nomeadamente, aplicadas ao membro superior. Os resultados de várias publicações sugerem que pode ser uma abordagem promissora, quando utilizada como complemento à TO e FT, principalmente em pessoas com comprometimentos motores muito significativos (Nunes et al., 2005).

É importante ter em conta se as pessoas têm a capacidade de vivenciar o processo de IM de forma eficaz sendo, por isso, importante avaliar a capacidade de imaginar o movimento de cada um, antes de aplicar qualquer protocolo de intervenção baseado na IM (Debarnot et al., 2014) principalmente em pessoas com lesões nos lobos parietais, que parecem ter menos capacidade para vivenciar a IM (Stinear et al., 2007).

Nos estudos desenvolvidos em pessoas com AVC, foi demonstrada a existência de uma ativação neuronal ipsilateral ao membro que executava o movimento (em tarefas simples). Este conhecimento é consistente com a premissa de que as estruturas motoras ipsilaterais, podem compensar funcionalmente as disfunções do córtex motor contralateral, especialmente nos estágios iniciais da reabilitação. Através da análise de estudos com neuroimagem, observou-se um aumento da ativação de M1 e da AMS ipsilateral durante a realização da IM com o membro afetado, ao contrário do que foi observado em pessoas saudáveis, em que a ativação neuronal durante a realização das mesmas tarefas foi mais visível contralateralmente, em M1, em S1 e na AMS (Munzert et al., 2009). O desempenho da IM e os padrões da atividade

In studies conducted on individuals with stroke, there has been demonstrated existence of ipsilateral neuronal activation to the limb performing the movement (in simple tasks). This knowledge is consistent with the premise that ipsilateral motor structures can functionally compensate for dysfunctions of the contralateral motor cortex, especially in the initial stages of rehabilitation. Through the analysis of neuroimaging studies, an increase in the activation of ipsilateral M1 and SMA during the performance of MI with the affected limb was observed, contrary to what was seen in healthy individuals, where neuronal activation during the performance of the same tasks was more visibly contralateral, in M1, S1, and SMA (Munzert et al., 2009). The performance of MI and brain activity patterns may vary depending on the individual's ability to create an action representation (Lee et al., 2019) and the modality that best suits everyone, in order to increase the efficacy and vividness with which the mental representations are visualized (Sakurada et al., 2017). However, the interval between the injury and the resulting neuroplasticity process for acquiring new skills can be variable, and the data collection of studies may be conditioned by this time window (Ruffino et al., 2019).

Currently, the literature suggests that mental training with MI as a complement to OT and PT, compared to rehabilitation alone, shows beneficial results for upper limb function, with significant improvements in movement quality (Barclay et al., 2020).

Furthermore, according to Ellen et al., (2015) and Santos et al., (2022), MI may be more effective if the mental training of a specific motor act is followed by the physically rehearsed execution, an effect known as motor priming. Thus, this priming method highlights a synergism between mental and physical training, demonstrating that the interaction between mental practice and physical practice can play a crucial role in improving motor tasks and optimizing motor learning. This effect suggests that MI not only facilitates the reinforcement of neural connections related to movement but also aids in the coordination between mental representation and physical execution. This has not only practical implications for rehabilitation but also sheds light on the complex interconnection between mental and physical processes involved in performing complex motor actions (Stoykov et al., 2015).

It is important to emphasize that in recent years, MI has emerged as a fundamental resource in the use of brain-machine interfaces. This approach has been explored to establish a direct connection between the brain and technological devices, enabling the control of physical or virtual objects through brain activity. MI plays a crucial role in this context, as it can be used to enhance the interaction between the human brain and machines, facilitating communication and control in an innovative and impactful way (Liu et al., 2023).

Regarding the limitations of studies on this topic, most recent studies using MI suggest improvements in various areas, notably in upper limb function and performance of ADLs, in hemiplegic individuals post-stroke. However, these studies often have a very small sample size, which does not allow for generalizing their results (Villa-Berges et al., 2023). Moreover, the duration of therapy, the intensity, and the treatment time

cerebral podem variar dependendo da capacidade que a pessoa apresenta para criar uma representação da ação (Lee et al., 2019) e da modalidade que melhor se adequa a cada um, de forma a aumentar a eficácia e a vividez com que as representações mentais são visualizadas (Sakurada et al., 2017). No entanto, também o intervalo entre a lesão e o processo de neuroplasticidade que dela decorre, para a aquisição de novas competências, pode ser variável e a recolha dos dados dos estudos pode estar condicionada por esta janela de tempo (Ruffino et al., 2019).

Atualmente, o que a literatura nos diz é que o treino mental com IM como complemento da TO e/ou da FT, em comparação com a reabilitação por si só, mostra resultados benéficos para a função do membro superior, com melhorias significativas na qualidade do movimento (Barclay et al., 2020).

Por outro lado, de acordo com Ellen et al., (2015) e com Santos et al., (2022), a IM pode ser mais eficaz se o treino mental de um determinado ato motor for seguido pela execução física ensaiada mentalmente, efeito a que se chama de *priming* motor. Assim, esse método de *priming* destaca um sinergismo entre o treino mental e o físico, demonstrando que a interação entre a prática mental e a prática física pode desempenhar um papel crucial na melhoria das tarefas motoras e na otimização da aprendizagem motora. Esse efeito sugere que a IM não facilita apenas o reforço das conexões neurais relacionadas com o movimento, mas também auxilia na coordenação entre a representação mental e a execução física. Isso não só tem implicações práticas para a reabilitação, mas também lança luz sobre a interconexão complexa entre os processos mentais e físicos envolvidos na execução de ações motoras complexas (Stoykov et al., 2015).

É importante ressaltar que nos últimos anos, a IM tem-se destacado como um recurso fundamental na utilização de interfaces cérebro-máquina. Essa abordagem tem sido explorada para estabelecer uma conexão direta entre o cérebro e dispositivos tecnológicos, permitindo o controlo de objetos físicos ou virtuais através da atividade cerebral. A IM desempenha um papel crucial nesse contexto, uma vez que pode ser empregue para melhorar a interação entre o cérebro humano e máquinas, facilitando a comunicação e o controlo de forma inovadora e impactante (Liu et al., 2023).

Em termos de limitações dos estudos sobre esta temática, a maior parte dos estudos recentes, com recurso à IM, sugerem melhorias em várias áreas, nomeadamente na função do membro superior e no desempenho das AVD, em pessoas hemiplégicas, pós-AVC, no entanto, esses estudos por vezes têm uma amostra muito pequena, o que não permite generalizar os seus resultados (Villa-Berges et al., 2023). Além disso, a duração da terapia, a intensidade e o tempo de tratamento de cada sessão, variam entre os estudos, o que dificulta a tomada de decisão no que respeita ao desenho de um protocolo para a aplicação da IM (Nilsen et al., 2010). A duração e intensidade, bem como, as características da amostra, carecem de ser bem definidas para que as pessoas possam beneficiar o máximo possível deste tipo de intervenção (Grangeon et al., 2012).

## 5. DISCUSSÃO

A maioria dos estudos encontrados, sugere um papel

de cada sessão vary among studies, complicating decision-making regarding the design of a protocol for the application of MI (Nilsen et al., 2010). The duration and intensity, as well as the characteristics of the sample, need to be well defined so that individuals can benefit as much as possible from this type of intervention (Grangeon et al., 2012).

## 5. DISCUSSION

The majority of studies reviewed suggest a positive and promising role of MI in neurorehabilitation, especially in people post-stroke. This technique allows for the activation of neural structures even in individuals who are unable to perform movements, suggesting that MI can play a significant role in the recovery of movements after a stroke (Li et al., 2018). It involves the activation of structures directly related to motor planning, such as the dorsolateral prefrontal cortex and the posterior parietal cortex, as well as areas related to the execution of movement, including the premotor cortex, the cerebellum, and the basal ganglia.

Moreover, neuroimaging studies show specific patterns of neuronal activation, very close to those activated by ME, in post-stroke patients, reinforcing its potential in rehabilitation. However, it is important to highlight the existence of limitations in the studies, such as small sample sizes, which hampers the generalization of results, and heterogeneity in treatment protocols, complicating their implementation.

OT and PT are recognized as pillars of neurological rehabilitation (Kristensen et al., 2016), and MI is seen as a complement to these traditional interventions. Recent literature suggests that when MI is used in combination with OT and PT, the outcomes are more positive, especially for individuals with significant motor impairments.

It's crucial to consider the individual's capacity to imagine movements before implementing MI-based strategies, particularly in people with parietal lobe injuries.

In terms of research, the field of MI in neurorehabilitation requires further studies to establish standardized protocols, given the current heterogeneity in treatment protocols. The integration of MI with technological advances, such as brain-machine interfaces, suggests a promising path for future investigations. Finally, it would be essential to expand study samples to generalize and validate the benefits of MI in post-stroke rehabilitation.

## 6. CONCLUSION

The unique ability of humans to create and manipulate mental representations, particularly through MI, has sparked renewed interest in the field of rehabilitation. In recent years, advances in neuroimaging have greatly contributed to understanding the potential of MI in the neurorehabilitation of individuals who have suffered a stroke, specifically in rehabilitating upper limb function, promoting greater concentration and motivation during the execution of proposed motor tasks, with effects on neuronal connection and neuroplastic processes.

The studies reviewed indicate that this technique is more effective when applied from an internal perspective, and even more so when used as a priming effect. Its effects are more

positivo e promissor da IM na neuroreabilitação, especialmente em pessoas pós-AVC. Esta técnica permite a ativação de estruturas neuronais mesmo em pessoas que não conseguem executar movimentos, o que sugere que a IM pode desempenhar um papel importante na recuperação de movimentos após um AVC (Li et al., 2018). Envolvendo a ativação de estruturas diretamente relacionadas com o planejamento motor como: córtex pré-frontal dorso lateral e o córtex parietal posterior, mas também de áreas relacionadas com a execução do movimento como: o córtex pré-motor, o cerebelo e os núcleos da base.

Além disso, os estudos de neuroimagem mostram padrões específicos de ativação neuronal, muito próximos dos ativados pela EM, em pessoas pós-AVC, o que reforça o seu potencial na reabilitação. Contudo, é importante destacar a existência de limitações nos estudos, como amostras pequenas, o que dificulta a generalização dos resultados, e a heterogeneidade nos protocolos de tratamento, o que dificulta a sua implementação.

A TO e a FT são reconhecidas como pilares da reabilitação neurológica (Kristensen et al., 2016), e a IM é vista como um complemento a estas intervenções tradicionais. A literatura recente sugere que, quando a IM é usada em combinação com a TO e FT, os resultados são mais positivos, especialmente para indivíduos com comprometimentos motores significativos.

Temos a destacar que na implementação de estratégias baseadas na IM é essencial considerar a capacidade individual de imaginar movimentos antes de implementar esses protocolos, sobretudo em pessoas com lesões nos lobos parietais.

Em termos de investigação, o campo da IM na neuroreabilitação requer mais estudos para estabelecer protocolos padronizados, dada a atual heterogeneidade nos protocolos de tratamento. A integração da IM com avanços tecnológicos, como interfaces cérebro-máquina, sugere um caminho promissor para futuras investigações. Por fim, seria fundamental expandir as amostras de estudo para se conseguir generalizar e validar os benefícios da IM na reabilitação pós-AVC.

## 6. CONCLUSÕES

A capacidade única dos seres humanos de criar e manipular representações mentais, particularmente através da IM, tem suscitado um renovado interesse nos domínios da reabilitação. Nos últimos anos, os avanços na neuroimagem trouxeram um grande contributo sobre o potencial da imagética motora, na neuroreabilitação de pessoas que sofreram AVC, nomeadamente na reabilitação da função do membro superior, promovendo uma maior concentração e motivação da pessoa durante a realização das tarefas motoras propostas, com efeitos na conexão neuronal e nos processos neuroplásticos.

Os estudos analisados apontam para uma maior eficácia desta técnica quando aplicada sob a perspectiva interna, e ainda quando utilizada como efeito *priming*, e os seus efeitos são mais visíveis quando esta técnica está associada à intervenção da TO e FT.

Não existe ainda um protocolo universal, de intervenção com imagética motora, contudo sabe-se que o tempo de sessão varia entre 20 a 60 min., e de imagética entre 10 a 20min., 2 a 5 vezes por semana, durante 2 a 8 semanas.

pronounced when this technique is combined with OT or PT.

There is not yet a universal protocol for intervention with MI; however, it is known that session times vary between 20 to 60 minutes, and imagery between 10 to 20 minutes, 2 to 5 times a week, for 2 to 8 weeks.

As take-home messages from this review, we would summarize:

1. There are different definitions of MI in the literature, but it is generally accepted as the internal rehearsal of a motor act.
2. MI recruits patterns similar, though not identical, to ME.
3. MI can be influenced by the individual's ability to imagine movement, which should be considered in interventions.
4. There appears to be a role for MI in the motor rehabilitation of individuals with stroke, as a complement to OT and PT.
5. Interest in MI has increased in recent years due to the development of brain-computer interface tools, where the potential of MI seems to be even greater.
6. More research is needed on the use of MI in the rehabilitation of the upper limb post-stroke, particularly with larger sample studies and exploring aspects related to the duration and intensity of interventions.

However, further research is necessary to establish standardized protocols and to fully explore its synergism with other therapeutic modalities, thereby optimizing outcomes for stroke survivors.

## CONFLICTS OF INTEREST

There were no conflicts of interest.

## AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Conceptualisation, Alexandra Guimarães, Ana Isabel Vieira, Hugo Santos e Maria Vânia Silva Nunes; methodology, Alexandra Guimarães e Hugo Santos, Maria Vânia Silva Nunes; validation, Hugo Santos, Ana Isabel Vieira, Maria Vânia Silva Nunes; formal analysis, Hugo Santos, Ana Isabel Vieira, Maria Vânia Silva Nunes; research, Alexandra Guimarães, Hugo Santos, Ana Isabel Vieira; resources, Alexandra Guimarães, Hugo Santos, Ana Isabel Vieira; data curation, Hugo Santos, Maria Vânia Silva Nunes; writing - preparation of original draft, Alexandra Guimarães; writing - revision and editing, Alexandra Guimarães, Hugo Santos, Maria Vânia Silva Nunes; visualisation, Alexandra Guimarães, Hugo Santos, Maria Vânia Silva Nunes; supervision, Hugo Santos, Maria Vânia Silva Nunes; project coordination, Hugo Santos, Maria Vânia Silva Nunes. All the authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Como *take-home messages* desta revisão sintetizaríamos:

1. Existem diferentes definições de IM na literatura, mas é genericamente aceite como ensaio interno de um ato motor.
2. A IM recruta padrões semelhantes, embora não idênticos, à EM.
3. A IM pode ser influenciada pela capacidade individual de imaginar o movimento, que deve ser considerada nas intervenções.
4. Parece haver um papel para a IM na reabilitação motora da pessoa com AVC, como complemento à TO e à FT:
5. O interesse na IM tem aumentado nos últimos anos pelo desenvolvimento de ferramentas de interface cérebro-computador, onde o potencial da IM parece ser ainda maior.
6. É necessária mais investigação sobre a utilização da IM na reabilitação do membro superior pós-AVC, particularmente com estudos com amostras maiores e explorando melhor aspetos relativos à duração e intensidade das intervenções.

Contudo, são necessárias investigações mais profundas para estabelecer protocolos padronizados e para explorar plenamente o seu sinergismo com outras modalidades terapêuticas, otimizando assim os resultados para os sobreviventes de AVC.

#### CONFLITO DE INTERESSES

Não se verificou conflitos de interesse.

#### CONTRIBUIÇÕES AUTORAIS

Conceptualização, Alexandra Guimarães, Ana Isabel Vieira, Hugo Santos e Maria Vânia Silva Nunes; metodologia, Alexandra Guimarães e Hugo Santos, Maria Vânia Silva Nunes; validação, Hugo Santos, Ana Isabel Vieira, Maria Vânia Silva Nunes; análise formal, Hugo Santos, Ana Isabel Vieira, Maria Vânia Silva Nunes; investigação, Alexandra Guimarães, Hugo Santos, Ana Isabel Vieira; recursos, Alexandra Guimarães, Hugo Santos, Ana Isabel Vieira; curadoria de dados, Hugo Santos, Maria Vânia Silva Nunes; redação - preparação do draft original, Alexandra Guimarães; redação - revisão e edição, Alexandra Guimarães, Hugo Santos, Maria Vânia Silva Nunes; visualização, Alexandra Guimarães, Hugo Santos, Maria Vânia Silva Nunes; supervisão, Hugo Santos, Maria Vânia Silva Nunes; coordenação do projeto, Hugo Santos, Maria Vânia Silva Nunes. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS/REFERENCES

- Andrade, J., Cecílio, J., Simões, M., Sales, F., & Castelo-Branco, M. Separability of motor imagery of the self from interpretation of motor intentions of others at the single trial level: an EEG study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 14(1), 63. 2017. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0276-4>
- Barclay, R. E., Stevenson, T. J., Poluha, W., Semenko, B., & Schubert, J. Mental practice for treating upper extremity deficits in individuals with hemiparesis after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2020(5). 2020. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005950.pub5>
- Bonini, L., Rotunno, C., Arcuri, E., & Gallese, V. Mirror neurons 30 years later: implications and applications. *Trends in Cognitive Sciences*, 26(9), 767–781. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2022.06.003>
- Chang, Y. Reorganization and plastic changes of the human brain associated with skill learning and expertise. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(1 FEB), 1–7. 2014. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00035>
- Daprati, E., Nico, D., Duval, S., & Lacquaniti, F. Different motor imagery modes following brain damage. *Cortex*, 46(8), 1016–1030. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.08.002>
- de Jong, L. D., van Wijck, F., Stewart, R. E., Geurts, A. C. H., & Dijkstra, P. U. Content of conventional therapy for the severely affected arm during subacute

- rehabilitation after stroke: An analysis of physiotherapy and occupational therapy practice. *Physiotherapy Research International*, 23(1), 1. 2018. <https://doi.org/10.1002/pri.1683>
- Debarnot, U., Sperduti, M., Di Rienzo, F., & Guillot, A. Experts bodies, experts minds: How physical and mental training shape the brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(MAY). 2014. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00280>
- Fernández-Gómez, E., & Sánchez-Cabeza, Á.. Motor imagery: A systematic review of its effectiveness in the rehabilitation of the upper limb following a stroke. *Revista de Neurología*, 66(5), 137–146. 2018. <https://doi.org/10.33588/rn.6605.2017394>
- García Carrasco, D., & Aboitiz Cantalapedra, J. Effectiveness of motor imagery or mental practice in functional recovery after stroke: a systematic review. *Neurología (English Edition)*, 31(1), 43–52. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.nrleng.2013.02.008>
- Grangeon, M., Revol, P., Guillot, A., Rode, G., & Collet, C. Could motor imagery be effective in upper limb rehabilitation of individuals with spinal cord injury? A case study. *Spinal Cord*, 50(10), 766–771. 2012. <https://doi.org/10.1038/sc.2012.41>
- Hara, Y. Brain plasticity and rehabilitation in stroke patients. *Journal of Nippon Medical School*, 82(1), 4–13. 2015. <https://doi.org/10.1272/jnms.82.4>
- Hardwick, R. M., Caspers, S., Eickhoff, S. B., & Swinnen, S. P. Neural Correlates of Motor Imagery, Action Observation, and Movement Execution: A Comparison Across Quantitative Meta-Analyses. *BioRxiv*, 1–50. 2017. <https://doi.org/10.1101/198432>
- Hardwick, R. M., Caspers, S., Eickhoff, S. B., & Swinnen, S. P. Neural correlates of action: Comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 94, 31–44. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.08.003>
- Hatem, S. M., Saussez, G., della Faille, M., Prist, V., Zhang, X., Dispa, D., & Bleyenheuft, Y. Rehabilitation of motor function after stroke: A multiple systematic review focused on techniques to stimulate upper extremity recovery. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10(SEP2016). 2016. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00442>
- Henschke, J. U., & Pakan, J. M. P. Engaging distributed cortical and cerebellar networks through motor execution, observation, and imagery. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 17(April), 1–11. 2023. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2023.1165307>
- Ietswaart, M., Johnston, M., Dijkerman, H. C., Joice, S., Scott, C. L., MacWalter, R. S., & Hamilton, S. J. C. Mental practice with motor imagery in stroke recovery: Randomized controlled trial of efficacy. *Brain*, 134(5), 1373–1386. 2011. <https://doi.org/10.1093/brain/awr077>
- Kaya, M., Binli, M. K., Ozbay, E., Yanar, H., & Mishchenko, Y. Data descriptor: A large electroencephalographic motor imagery dataset for electroencephalographic brain computer interfaces. *Scientific Data*, 5(October), 1–16. 2018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.211>
- Khan, F., Amaty, B., Galea, M. P., Gonzenbach, R., & Kesselring, J. Neurorehabilitation: applied neuroplasticity. *Journal of Neurology*, 264(3), 603–615. 2017. <https://doi.org/10.1007/s00415-016-8307-9>
- Kristensen, H. K., Ytterberg, C., Jones, D. L., & Lund, H. Research-based evidence in stroke rehabilitation: an investigation of its implementation by physiotherapists and occupational therapists. *Disability and Rehabilitation*, 38(26), 2564–2574. 2016. <https://doi.org/10.3109/09638288.2016.1138550>
- Le Danseur, M. Stroke Rehabilitation. *Critical Care Nursing Clinics of North America*, 32(1), 97–108. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cnc.2019.11.004>
- Lee, W. H., Kim, E., Seo, H. G., Oh, B. M., Nam, H. S., Kim, Y. J., ... Bang, M. S. Target-oriented motor imagery for grasping action: different characteristics of brain activation between kinesthetic and visual imagery. *Scientific Reports*, 9(1), 1–14. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49254-2>
- Li, F., Zhang, T., Li, B. J., Zhang, W., Zhao, J., & Song, L. P. Motor imagery training induces changes in brain neural networks in stroke patients. *Neural Regeneration Research*, 13(10), 1771–1781. 2018. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.238616>
- Li, S. Spasticity, motor recovery, and neural plasticity after stroke. *Frontiers in Neurology*, 8(APR), 1–8. 2017. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00120>
- Liu, X., Zhang, W., Li, W., Zhang, S., Lv, P., & Yin, Y. Effects of motor imagery based brain-computer interface on upper limb function and attention in stroke patients with hemiplegia: a randomized controlled trial. *BMC Neurology*, 23(1), 1–14. 2023. <https://doi.org/10.1186/s12883-023-03150-5>
- Maier, M., Ballester, B. R., & Verschure, P. F. M. J. Principles of Neurorehabilitation After Stroke Based on Motor Learning and Brain Plasticity Mechanisms. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 13(December), 1–18. 2019. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2019.00074>
- Munzert, J., Lorey, B., & Zentgraf, K. Cognitive motor processes: The role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain Research Reviews*, 60(2), 306–326. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.12.024>
- Nunes, S., Pereira, C., & Gomes da Silva, M. Evolução Funcional de Utentes após AVC nos Primeiros Seis Meses Após a Lesão. *ESSFisiOnline*, 1 (3), 3–20, 2005
- Oh, H. S., Kim, E. J., Kim, D. Y., & Kim, S. J. Effects of adjuvant mental practice on affected upper limb function following a stroke: Results of three-dimensional motion analysis, fugal-meyer assessment of the upper extremity and motor activity logs. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 40(3), 401–411. 2016. <https://doi.org/10.5535/arm.2016.40.3.401>
- Plakoutsis, G., Paraskevopoulos, E., Zavvos, A., & Papandreou, M. The Effects of Motor Imagery on Pain in Lower Limb Sports Injuries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthcare (Switzerland)*, 10(12), 1–11. 2022. <https://doi.org/10.3390/healthcare10122545>
- Raghavan, P. Upper Limb Motor Impairment After Stroke. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 26(4), 599–610. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2015.06.008>
- Renton, T., Tibbles, A., & Topolovec-Vranic, J. Neurofeedback as a form of cognitive rehabilitation therapy following stroke: A systematic review. *PLoS ONE*, 12(5), 1–17. 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177290>
- Ruffino, C., Gaveau, J., Papaxanthis, C., & Lebon, F. An acute session of motor imagery training induces use-dependent plasticity. *Scientific Reports*, 9(1), 20002. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56628-z>
- Saini, V., Guada, L., & Yavagal, D. R. Global Epidemiology of Stroke and Access to Acute Ischemic Stroke Interventions. *Neurology*, 97(20), S6–S16. 2021. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000012781>
- Sakurada, T., Nakajima, T., Morita, M., Hirai, M., & Watanabe, E. Improved motor performance in patients with acute stroke using the optimal individual attentional strategy. *Scientific Reports*, 7(January), 1–10. 2017. <https://doi.org/10.1038/srep40592>
- Salvalaggio, S., Cacciante, L., Maistrello, L., & Turolla, A. Clinical Predictors for Upper Limb Recovery after Stroke Rehabilitation: Retrospective Cohort Study. *Healthcare (Switzerland)*, 11(3), 1–11. 2023. <https://doi.org/10.3390/healthcare11030335>
- Santos, H., Baleia, I., Xavier, A., Branco, D., Leal, J., & Almeida, P. Effects of priming therapies on motor dysfunctions and cortical excitability in stroke patients: systematic review. *RevSALUS - Revista Científica Da Rede Académica Das Ciências Da Saúde Da Lusofonia*, 4(3). 2022. <https://doi.org/10.51126/revsalus.v4i3.467>

- Schack, T., Essig, K., Frank, C., & Koester, D. Mental representation and motor imagery training, 8(May), 1–10. 2014. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00328>
- Schack, T., & Frank, C. Mental Representation and the Cognitive Architecture of Skilled Action. *Review of Philosophy and Psychology*. 2020. <https://doi.org/10.1007/s13164-020-00485-7>
- Schuster, C., Hilfiker, R., Amft, O., Scheidhauer, A., Andrews, B., Butler, J., ... Ettlin, T. Best practice for motor imagery: a systematic literature review on motor imagery training elements in five different disciplines. *BMC Medicine*, 9(1), 75. 2011. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-9-75>
- Schwartz, A. B. Leading Edge Perspective Movement: How the Brain Communicates with the World. *Cell*, 164(6), 1122–1135. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.02.038>. Movement
- Sharma, N., & Baron, J. C. Does motor imagery share neural networks with executed movement: A multivariate fMRI analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(SEP), 1–8. 2013. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00564>
- Shin, Y. H., Kim, S. Y., Lee, H. I., Kim, D. Y., Lee, J., Sohn, M. K., ... Kim, Y. H. Association between Spasticity and Functional Impairments during the First Year after Stroke in Korea: The KOSCO Study. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation (Vol. 97)*. 2018. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000916>
- Stinear, C. M., & Byblow, W. D. Predicting and accelerating motor recovery after stroke. *Current Opinion in Neurology*, 27(6), 624–630. 2014. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000153>
- Stinear, C. M., Fleming, M. K., Barber, P. A., & Byblow, W. D. Lateralization of motor imagery following stroke. *Clinical Neurophysiology*, 118(8), 1794–1801. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.05.008>
- Stoykov, M. E., & Madhavan, S. Motor Priming in Neurorehabilitation. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 39(1), 33–42. 2015. <https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000065>
- Su, F., & Xu, W. Enhancing Brain Plasticity to Promote Stroke Recovery. *Frontiers in Neurology*, 11(October), 1–15. 2020. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.554089>
- Turella, L., & Lingnau, A. Neural correlates of grasping. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(SEP), 1–8. 2014. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00686>
- Villa-Berges, E., Laborda Soriano, A. A., Lucha-López, O., Tricas-Moreno, J. M., Hernández-Secorún, M., Gómez-Martínez, M., & Hidalgo-García, C. Motor Imagery and Mental Practice in the Subacute and Chronic Phases in Upper Limb Rehabilitation after Stroke: A Systematic Review. *Occupational Therapy International*, 2023, 1–12. 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/3752889>
- Williams, J., Pearce, A. J., Loporto, M., Morris, T., & Holmes, P. S. The relationship between corticospinal excitability during motor imagery and motor imagery ability. *Behavioural Brain Research*, 226(2), 369–375. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2011.09.014>
- Winstein, C. J., Stein, J., Arena, R., Bates, B., Chorney, L. R., Cramer, S. C., ... Zorowitz, R. D. Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery: A Guideline for Healthcare Professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke (Vol. 47)*. 2016. <https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000098>
- Wongergem, R., Pisters, M. F., Wouters, E. J., Olthof, N., De Bie, R. A., Visser-Meily, J. M. A., & Veenhof, C. The course of activities in daily living: Who is at risk for decline after first ever stroke? *Cerebrovascular Diseases*, 43(1–2), 1–8. 2017. <https://doi.org/10.1159/000451034>