

# Instruções explícitas na aprendizagem motora de crianças com Paralisia Cerebral

*Explicit instructions in the motor learning of children with Cerebral Palsy*

*Instrucciones explícitas en el aprendizaje motor de niños con Parálisis Cerebral*

Danielle Borrego Perez<sup>1</sup>, Isabella Vendramini Costa<sup>2</sup>,  
Rafael Pereira Oliveira<sup>3</sup>, Isabela Dias Bergamin<sup>4</sup>,  
Paulo Sérgio dos Santos Silva<sup>5</sup>, Maristela Campos Muner<sup>6</sup>,  
Renato Franco de Camargo<sup>7</sup>

1.Fisioterapeuta. Docente do curso de Fisioterapia e Coordenadora do projeto, Universidade São Francisco. Bragança Paulista-SP, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6058-2212>

2.Acadêmica de Fisioterapia da Universidade São Francisco (USF). Bragança Paulista-SP, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7101-255X>

3.Acadêmico de Fisioterapia da Universidade São Francisco (USF). Bragança Paulista-SP, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-6274-5355>

4.Acadêmica de Fisioterapia da Universidade São Francisco (USF). Bragança Paulista-SP, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-0687-8839>

5.Acadêmico de Fisioterapia da Universidade São Francisco (USF). Bragança Paulista-SP, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-1083-7716>

6.Acadêmica de Fisioterapia da Universidade São Francisco (USF). Bragança Paulista-SP, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0047-3599>

7.Engenheiro. Docente do curso de Engenharia Elétrica (USF). Bragança Paulista-SP, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2273-7399>

## Resumo

**Introdução.** A paralisia cerebral (PC) é primariamente um distúrbio neuromotor que afeta o desenvolvimento do movimento, tônus muscular e postura. Considerando que a principal característica das crianças com paralisia cerebral são as deficiências neuomotoras, compreende-se que a ampliação da funcionalidade decorra de um planejamento que objetive a prevenção de agravos musculoesqueléticos secundários, a potencialização das capacidades motoras e maior envolvimento em atividades de mobilidade e tarefas do cotidiano.

**Objetivo.** Avaliar a influência do conhecimento explícito na aprendizagem motora de crianças com PC. **Método.** Trata-se de um relato de casos realizado na Universidade São Francisco, campus Bragança Paulista. Foram incluídas 2 crianças com PC de 4 anos. Os responsáveis foram notificados por meio de contato telefônico e orientados sobre o treinamento e finalidade da pesquisa. **Resultados.** A utilização de instruções explícitas nas fases iniciais da aprendizagem motora de crianças com PC favoreceu a aquisição de habilidades com estabilização e retenção precoce nos dois casos apresentados. **Conclusão.** A utilização de instruções explícitas durante a aprendizagem motora de crianças com PC pode favorecer a aquisição de habilidades com estabilização e retenção precoce, todavia, não é possível afirmar sua relevância para generalização dos ganhos.

**Unitermos.** Memória explícita; memória implícita; aprendizagem motora; paralisia cerebral

## Abstract

**Introduction.** Considering that the main characteristic of children with cerebral palsy are neuromotor deficiencies, it is understood that the expansion of functionality stems from planning that aims to prevent secondary musculoskeletal disorders, enhance motor skills and greater involvement in mobility activities and tasks of everyday life. **Objective.** Evaluate the

influence of explicit knowledge on the motor learning of children with Cerebral Palsy. **Method.** This is a case report carried out at the São Francisco University, Bragança Paulista campus. Two 4-year-old children with Cerebral Palsy were included. Those responsible were notified by telephone contact and instructed about the training and purpose of the research. **Results.** The use of explicit instructions in the early stages of motor learning in children with cerebral palsy favored the acquisition of skills with early stabilization and retention in the two cases presented. **Conclusion.** The use of explicit instructions during the motor learning of children with cerebral palsy may favor the acquisition of skills with early stabilization and retention, however, it is not possible to affirm its relevance for the generalization of gains.

**Keywords.** Explicit memory; implicit memory; motor learning; cerebral palsy

---

## Resumen

**Introducción.** La parálisis cerebral (PC) es principalmente un trastorno neuromotor que afecta el desarrollo del movimiento, el tono muscular y la postura. Considerando que la principal característica de los niños con parálisis cerebral son las deficiencias neuromotoras, se entiende que la ampliación de la funcionalidad proviene de una planificación que tiene como objetivo prevenir trastornos musculoesqueléticos secundarios, potenciar la motricidad y una mayor participación en las actividades de movilidad y tareas de la vida cotidiana.

**Objetivo.** Evaluar la influencia del conocimiento explícito en el aprendizaje motor de niños con PC. **Método.** Se trata de un reporte de caso realizado en la Universidad São Francisco, campus Bragança Paulista. Se incluyeron dos niños de 4 años con PC. Los responsables fueron notificados por contacto telefónico e instruidos sobre la formación y finalidad de la investigación. **Resultados.** El uso de instrucciones explícitas en etapas tempranas del aprendizaje motor en niños con PC favoreció la adquisición de habilidades con estabilización y retención temprana en los dos casos presentados. **Conclusión.** El uso de instrucciones explícitas durante el aprendizaje motor de niños con PC puede favorecer la adquisición de habilidades con estabilización y retención tempranas, sin embargo, no es posible afirmar su relevancia para la generalización de las ganancias.

**Palabras clave:** Memoria explícita; memoria implícita; aprendizaje motor; parálisis cerebral

---

Trabalho realizado na Universidade São Francisco (USF). Bragança Paulista-SP, Brasil.

Conflito de interesse: não

Recebido em: 23/06/2023

Aceito em: 25/07/2023

**Endereço para correspondência:** Danielle Borrego Perez. Av. São Francisco de Assis 218. Departamento de Fisioterapia. Universidade São Francisco (USF). Bragança Paulista-SP, Brasil. E-mail: [danielle.perez@usf.edu.br](mailto:danielle.perez@usf.edu.br)

---

## INTRODUÇÃO

### Paralisia Cerebral

A paralisia cerebral (PC) é primariamente um distúrbio neuromotor que afeta o desenvolvimento do movimento, tônus muscular e postura. As deficiências neuromotoras se caracterizam por alterações não progressivas decorrentes de lesões no cérebro fetal ou imaturo em desenvolvimento e são frequentemente acompanhadas por deficiências da sensação, percepção, cognição, comunicação,

comportamento e por lesões musculoesqueléticas secundárias<sup>1</sup>.

A aprendizagem de habilidades motoras desempenha papel importante na capacidade da criança de participar das atividades da vida diária, considerando que crianças com PC têm menor capacidade para adquirir novas habilidades motoras, o que pode contribuir com as limitações no desempenho dessas atividades e impactar negativamente no bem-estar individual e na interação social<sup>2</sup>.

Considerando que a principal característica das crianças com paralisia cerebral são as deficiências neuromotoras, compreende-se que a ampliação da funcionalidade decorra de um planejamento que objetive a prevenção de agravos musculoesqueléticos secundários, a potencialização das capacidades motoras e maior envolvimento em atividades de mobilidade e tarefas do cotidiano<sup>1,3</sup>.

Fatores como o engajamento e envolvimento durante a realização da atividade, a especificidade e o nível de desafio da tarefa, maximizam a aprendizagem motora. Evidências sugerem que a utilização de abordagens voltadas para a execução de tarefas, apresentam excelentes resultados. Na criança com PC, os treinamentos dos membros superiores apresentam resultados superiores aos treinamentos de membros inferiores e uma possível justificativa seria que os treinamentos de membros superiores são mais motivadores<sup>4,5</sup>.

Compreender as características da criança com PC, bem como as características individuais de cada criança, torna-se essencial para o delineamento de estratégias bem-sucedidas, que agreguem habilidades para a execução e envolvimento em atividades e participações sociais. A interação da criança com a tarefa se dá por meio de orientações e pistas extrínsecas, além da estrutura e organização das tarefas e, portanto, a aprendizagem motora deve resultar desta interação.

### **Aprendizagem motora**

O aprendizado é definido como a aquisição do conhecimento ou habilidade, incluindo a retenção e o armazenamento, sendo a memória o resultado do aprendizado<sup>6</sup>. A retenção de experiências pode ocorrer por processos diferentes.

O sistema motor possui habilidade para desenvolver movimentos com acurácia por meio de um sistema adaptativo que aprende por predição de erros devido aos inputs sensoriais<sup>7</sup>. A adaptação sensório-motora envolve dois processos de memória: o primeiro, processo rápido de adaptação a tarefa, que produz uma memória motora que decai rapidamente<sup>8</sup>. Este proporciona ao sistema a capacidade de responder às variações súbitas do ambiente. O segundo, um processo de adaptação mais lento que produz uma memória que decai mais lenta e gradualmente, propiciando ao sistema a habilidade de responder as variações mais estáveis do ambiente.

A aprendizagem motora segue duas fases distintas; a primeira, compreendida pela habituação e aprimoramento induzido pela repetição da tarefa em um pequeno espaço de tempo (*fast learning*), que pode ser conceituado como a fase de aquisição das habilidades relevantes para a tarefa realizada dentro da sessão de treinamento<sup>9,10</sup>. Nesta fase, é esperado o aumento da velocidade e acurácia. Áreas cerebrais são marcadas pela ativação neuronal, que se tornam cada vez mais ágil com a repetição. Em uma segunda fase, seguida por período de aquisições mais lentas e maior tempo de treinamento, que pode refletir uma evolução gradual de uma representação específica para as habilidades treinadas. Desta forma, o produto deste treinamento pode vir a ser a consolidação desta representação e o armazenamento de uma memória de longo prazo (*slow learning*).

A atenção para com os eventos que capacitam o indivíduo a aprender a tarefa motora foram discutidas por diferentes teorias. Pesquisas crescentes, considerando enfaticamente os sistemas e subsistemas envolvidos no processo de aprendizagem motora, tornaram-se mais frequentes após 1960. Keele e Posner (1968) estudaram o processamento da informação visual no contexto de habilidades motoras<sup>11</sup>; Adams (1971) em sua teoria, relacionou a aprendizagem motora com o desenvolvimento de traços de memória por meio do uso de *feedback*<sup>12</sup>. Schmidt (1975) apresentou a teoria de esquema, vista como uma regra que representa as relações entre as

variáveis, uma construção de memória generalizada; um esquema da ação<sup>13</sup>.

Os sistemas de memória se distinguem pelas informações que processam e os meios que operam. A memória explícita ou declarativa, funciona como uma representação do mundo externo, normalmente expressa por meio da linguagem no dia a dia. Seus principais componentes são de origem semântica e episódica. Sua aquisição requer o envolvimento de sistemas e estruturas como o lobo temporal medial e lobo frontal<sup>14</sup>. A memória declarativa caracteriza-se por armazenamento de eventos que ocorre em uma única tentativa, seu conteúdo pode ser utilizado de forma flexível, podendo orientar o desempenho em diferentes contextos e a aprendizagem depende de processamento consciente<sup>15</sup>.

A memória não-declarativa ou implícita, refere-se às habilidades adquiridas, que não podem ser expressas por lembrança, ou seja, recordação consciente. O conteúdo processado por esse sistema está relacionado às diferentes formas inconscientes de responder ao mundo. Os elementos dos eventos aprendidos são adquiridos por estimativas e *feedbacks*<sup>16</sup>.

Alguns pesquisadores afirmam que a aprendizagem de procedimentos é guiada por feedback e que esse tipo de memória resultaria em um hábito<sup>17,18</sup>.

A memória implícita foi caracterizada por meio do padrão de ativação, do processamento e dos sistemas de armazenamento de memória<sup>19</sup>.

Fenômenos de memória implícita, como aprendizagem de habilidades, são atribuídos a um sistema procedural em que a memória é expressa por modificação de desempenho. Entretanto, é importante considerar que o resgate não consciente das informações armazenadas na memória implícita, não pode ser completamente dissociado do processamento explícito, uma vez que o processamento de informações implícitas geralmente está associado a recordações conscientes de experiências anteriores.

Apesar da aprendizagem motora ser armazenada de forma implícita, muitos processos cognitivos estão envolvidos no seu desenvolvimento. As informações obtidas por meio dos dois sistemas de memória podem ser acessadas tanto por um quanto pelo outro<sup>20</sup>. Nas fases iniciais da aprendizagem motora, o sistema atua a nível cortical, controlando a tarefa de forma consciente. O sistema é processado a nível subcortical, atua de forma inconsciente e substitui gradualmente o controle consciente, até que o desempenho se torne automático.

Diante disto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência do conhecimento explícito na aprendizagem motora de crianças com Paralisia Cerebral.

## **MÉTODOS**

Trata-se de um relato de casos realizado na Universidade São Francisco, campus Bragança Paulista. Foram incluídas duas crianças com Paralisia Cerebral de 4 anos. Os responsáveis foram notificados por meio de

contato telefônico e orientados sobre o treinamento e finalidade da pesquisa. Os responsáveis assinaram o Termo de Consentimento e Assentimento. O estudo foi aprovado no comitê de ética e pesquisa da Universidade São Francisco sob o parecer número 55951921.1.0000.5514.

Foi realizada uma sessão de treinamento, por meio de um dispositivo de acionamento manual conectado a um computador. O dispositivo contava com 5 carrinhos acionadores, paralelamente acoplados às lâmpadas de Led que indicavam o início da sequência. O tempo de execução de movimento foi mensurado a partir da sinalização do alvo até a ativação manual do acionador correspondente ao final do percurso percorrido. A ilustração do dispositivo consta na Figura 1.

Figura 1: Dispositivo acionador



### **Protocolo aplicado**

A tarefa consistia em realizar um alcance anterior do carrinho assim que a luz de LED indicava. Inicialmente, realizaram 5 tentativas para familiarização com a tarefa,

seguidas por 5 blocos de 5 repetições de aquisição com mensuração do tempo de acionamento do sensor e acertos. O intervalo entre as tentativas foi de 10 segundos e o intervalo entre os blocos de 1 minuto. Os indivíduos realizaram 2 tentativas após 5 minutos para avaliação da retenção. Todos os blocos foram constituídos pela mesma sequência e os acionadores posicionados no lado da mão dominante ou sadia da criança, para que as alterações musculoesqueléticas não interfiram na análise dos dados. Para análise da transferência, os indivíduos realizaram uma tentativa com alteração da sequência. Os dois pacientes receberam as seguintes informações explícitas durante a fase de aquisição:

- 1) Quando a luz acender traga o carrinho para perto de você;
- 2) Espere a luz acender e puxe o mais rápido que puder;
- 3) Só pode pegar o carrinho quando a luz acender;
- 4) O carrinho precisa chegar próximo do seu corpo.

### **Relato do caso 1**

Menor RDF com 4 anos de idade cronológica, com diagnóstico de PC bilateral espástica, quadriparético de predomínio à esquerda, classificado no nível III do Sistema de Classificação da Função Motora Grossa (GMFCS) e na escala Sistema de Classificação da função manual (MACS) Nível I, apresenta alcance voluntário e boa compreensão dos comandos e orientações do pesquisador; é capaz de sustentar a atenção durante a prática e seguir as pistas

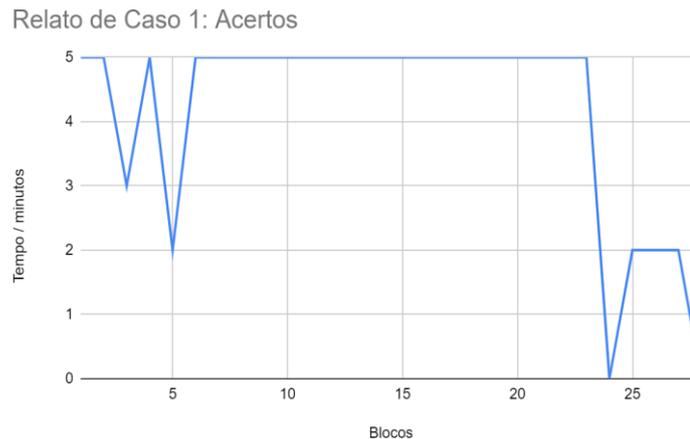
explícitas ofertadas. Quanto às habilidades motoras de membros superiores, RDF realiza manipulação de objetos facilmente e com sucesso, apresenta comprometimento da velocidade para tarefas manuais e precisão, todavia, sua independência não é limitada.

Durante o protocolo de treinamento, RDF, na fase de aquisição, apresentou estabilização do padrão motor a partir da 6ª tentativa do bloco 2, mensurada por meio da quantidade de acertos na sequência proposta com média de acertos de 4,48 acertos. A estabilização da redução do tempo para a execução das tentativas foi mais expressiva no bloco 2, com pequenas oscilações entre as tentativas. Na fase de retenção, apresentou 2 acertos em cada tentativa e na transferência imediata, não apresentou generalização. As mensurações estão ilustradas nas Figuras 1 e 2.

Figura 1. Tempo de execução - caso 1.



Figura 2. Número de acertos - Caso 1.



## Relato do caso 2

Menor JPF com 4 anos de idade cronológica, com diagnóstico de PC bilateral espástico quadriparético de predomínio à direita, classificado no nível IV de GMFCS e na escala MACS Nível II, apresenta alcance voluntário e boa compreensão dos comandos e orientações do pesquisador com deficiência para atenção sustentada e seletiva. Quanto às habilidades de membros superiores, JPF manipula a maioria dos objetos com qualidade e velocidade reduzidas, utiliza algumas alternativas para manipulação e independência para as atividades manuais.

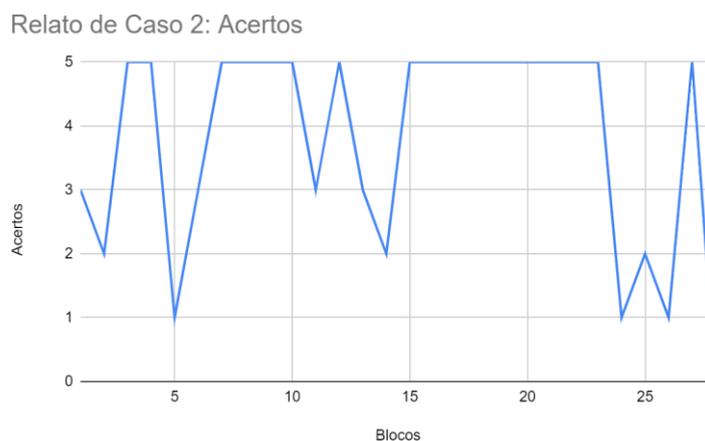
Durante o protocolo de treinamento, JPF, na fase de aquisição, apresentou estabilização do padrão motor a partir da 1ª tentativa do bloco 4, mensurada por meio da quantidade de acertos na sequência proposta com média de acertos de 4 acertos. Não houve estabilização no tempo de execução da sequência. Na fase de retenção, apresentou 1

acerto na tentativa 1 e 5 acertos na tentativa 2. Na transferência imediata, não apresentou generalização. As mensurações estão ilustradas nas Figuras 3 e 4.

Figura 3. Tempo de execução - caso 2.



Figura 4. Número de acertos - caso 2



## DISCUSSÃO

Durante o processo de aprendizagem motora, o processamento das informações permanece sob

gerenciamento explícito, especialmente, nas fases iniciais da aprendizagem, no qual o controle permanece consciente. Para formação e gerenciamento de memórias explícitas, o aprendiz deve apresentar boas capacidades cognitivas, especialmente as capacidades atencionais<sup>21-24</sup>. Em particular, a memorização e manipulação de conteúdos explícitos são processadas nos estágios iniciais, por meio da memória operacional. Evidências reconhecem que a aprendizagem motora depende do funcionamento da memória operacional<sup>25</sup>. No relato do caso 2, foi possível inferir que a criança apresentava deficiências importantes, não mensuradas neste estudo, para a atenção seletiva e sustentada, o que pode justificar a necessidade de um número maior de tentativas para estabilização do desempenho. Já no relato do caso 1, a criança apresentou estabilização do padrão motor hábil mais precocemente, visivelmente identificada na curva de aprendizagem.

A capacidade de memória operacional está relacionada com o desempenho nos estágios iniciais de aprendizagem de uma tarefa motora<sup>26</sup>.

Outros estudos evidenciam que o desempenho motor está intimamente associado à memória operacional e que empregar pistas explícitas fragmentadas por analogia pode reduzir a necessidade de processamento da memória operacional, auxiliando o aprendiz a lidar com as demandas cognitivas da tarefa e resultando em melhor desempenho motor<sup>23,27</sup>.

Neste estudo, utilizamos os carrinhos e circuitos com formatos de pista, mais instruções verbais padronizadas para fornecer pistas explícitas prescritivas e análogas.

Em uma sessão de treinamento, por meio da estabilização dos acertos nos dois casos relatados, é possível reconhecer que instruções explícitas auxiliam a criança a obter parâmetros sobre o que fazer e como fazer, de maneira que o processo de aprendizagem motora se torne mais rápido e a retenção da habilidade aprendida ocorra precocemente<sup>28</sup>. A instrução verbal ou pista explícita, como denominamos neste estudo, pode oferecer conteúdo prescritivo, relacionado ao planejamento e execução dos componentes da tarefa, ou empregar analogias associadas, tais como os carrinhos e a tarefa de brincar com os carrinhos. Alguns estudos mostram que a abordagem por analogia apresenta melhores resultados na aprendizagem motora<sup>29-31</sup>. Utilizar pistas por analogia pode auxiliar o planejamento da ação motora por meio do fracionamento ou integração de informações das estruturas que compõem a tarefa motora treinada, tornando o processamento menos consciente e favorecendo a aprendizagem motora<sup>29-31</sup>.

Os achados deste estudo podem estar relacionados ao fato de que empregar instruções explícitas durante a aprendizagem de uma habilidade motora de membro superior contribui com o direcionamento atencional para um foco externo. Instruções relacionadas com o autogerenciamento da tarefa por meio de processos

conscientes, direcionando o foco atencional do aprendiz externamente, podem associar-se à melhores resultados na aquisição de uma habilidade motora de membro superior. O foco externo de atenção parece contribuir, especialmente, com habilidades motoras que demandem alta complexidade motora, tais como os movimentos da mão ou nos dedos durante uma atividade, promovendo a automatização da tarefa, reduzindo a demanda cognitiva e atencional e potencializando o planejamento motor<sup>32,33</sup>.

O tempo de execução das sequências dos dois casos deste estudo, se manteve instável. As crianças manusearam os carrinhos com a mão que intencionalmente iniciaram a familiarização, não havendo interferência do examinador. Comparando-se o tempo de reação das crianças com PC em relação ao tempo de reação de crianças com desenvolvimento típico<sup>34-36</sup>, foi observado que mesmo quando as crianças com PC usavam a mão dominante, deficiências no tempo de reação, em comparação com as crianças com desenvolvimento típico, foram observadas, corroborando com os achados deste estudo, no qual as crianças não apresentaram estabilização do tempo de realização na fase de aquisição.

Apesar da aprendizagem motora ser processada e armazenada por meio de processos implícitos, muitos processos cognitivos estão envolvidos no seu desenvolvimento. As informações obtidas por meio dos dois sistemas de memória podem ser acessadas tanto por um quanto pelo outro<sup>20</sup>. Nas fases iniciais da aprendizagem

motora, o sistema atua a nível cortical, controlando a tarefa de forma consciente. O sistema processador a nível subcortical, atua de forma inconsciente e substitui gradualmente o controle consciente, até que o desempenho se torne automático, resultando em estabilização do desempenho na tarefa treinada.

Neste relato de dois casos, a presença de informações explícitas durante inicial da aprendizagem motora, contribuiu positivamente, considerando o desempenho na tarefa dos indivíduos treinados. Utilizar pistas explícitas nas fases iniciais da aprendizagem motora contribuiu com a aquisição de padrões hábeis, evidenciados pela diminuição do tempo de execução e estabilização dos acertos durante a fase de aquisição da tarefa treinada, não se mantendo na fase de retenção, o que pode ser justificado pelo tempo e número de sessões de aplicação do protocolo.

Como limitação, os indivíduos manusearem os carrinhos acionadores com o membro superior que apresentasse melhor condições motoras, todavia, há de se considerar que o planejamento motor, as condições sensoriais e biomecânicas que interferem direta ou indiretamente no alcance e preensão, não foram caracterizadas neste estudo.

## **CONCLUSÃO**

A utilização de instruções explícitas durante a aprendizagem motora de crianças com paralisia cerebral pode favorecer a aquisição de habilidades com estabilização

e retenção precoce, todavia, não é possível afirmar sua relevância para generalização dos ganhos.

Novas pesquisas, com desenhos metodológicos mais robustos poderão responder com maior completude qual é o tipo de instrução explícita que apresenta melhor contribuição com os processos de aprendizagem motora em crianças com paralisia cerebral.

## REFERÊNCIAS

1. Graham HK, Rosenbaum P, Paneth N, Dan B, Lin JP, Damiano DL, *et al.* Cerebral palsy. *Nature Rev Dis Prim* 2016;2:15082. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.82>
2. Schoenmaker J, Houdijk H, Steenbergen B, Reinders-Messelink HA, Schoemaker MM. Effectiveness of different extrinsic feedback forms on motor learning in children with cerebral palsy: a systematic review. *Disabil Rehab* 2023;45:1271-84. <https://doi.org/10.1080/09638288.2022.2060333>
3. Patel DR, Neelakantan M, Pandher K, Merrick J. Cerebral palsy in children: a clinical overview. *Translat Ped* 2020;9:S125-35. <https://doi.org/10.21037/tp.2020.01.01>
4. Novak I, McIntyre S, Morgan C, Campbell L, Dark L, Morton N, *et al.* A systematic review of interventions for children with cerebral palsy: state of the evidence. *Dev Med Child Neurol* 2013;55:885-910. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12246>
5. Huang H, Fethers L, Hale J, McBride A. Bound for Success: A Systematic Review of Constraint-Induced Movement Therapy in Children With Cerebral Palsy Supports Improved Arm and Hand Use. *Phys Ther* 2009;89:1126-41. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080111>
6. Kandel ER. Cellular mechanisms of learning and the biological basis of individuality. *In: Kandel ER, Schwartz JH, Jessel TM (eds.). Principles of Neuroscience.* New York: McGraw Hill; 2000; p.1247-79.
7. Mazzone P. An Implicit Plan Overrides an Explicit Strategy during Visuomotor Adaptation. *J Neurosci* 2006;26:3642-5. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5317-05.2006>
8. Smith MA, Ghazizadeh A, Shadmehr R. Interacting Adaptive Processes with Different Timescales Underlie Short-Term Motor Learning. *PLoS Biol* 2006;4:e179. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040179>
9. Karni A, Meyer G, Jezzard P, Adams MM, Turner R, Ungerleider LG. Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature* 1995;377:155-8. <https://doi.org/10.1038/377155a0>

10. Karni A. The acquisition of perceptual and motor skills: a memory system in the adult human cortex. *Cogn Brain Res* 1996;5:39-48. [https://doi.org/10.1016/s0926-6410\(96\)00039-0](https://doi.org/10.1016/s0926-6410(96)00039-0)
11. Keele SW, Posner MI. Processing of visual feedback in rapid movements. *J Exp Psychol* 1968;77:155-8. <https://doi.org/10.1037/h0025754>
12. Adams JA. A closed-loop theory of motor learning. *J Mot Behav* 1971;3:111-150. <https://doi.org/10.1080/00222895.1971.10734898>
13. Schmidt RA. A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychol Rev* 1975;82:225-60. <https://doi.org/10.1037/h0076770>
14. Shimamura AP, Janowsky JS, Squire LR. Memory for the temporal order of events in patients with frontal lobe lesions and amnesic patients. *Neuropsychologia* 1990;28:803-13. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(90\)90004-8](https://doi.org/10.1016/0028-3932(90)90004-8)
15. Clark RE, Squire LR. Classical conditioning and brain systems: the role of awareness. *Science* 1998;280:77-81. <https://doi.org/10.1126/science.280.5360.77>
16. Squire LR, Zola-Morgan S. The medial temporal lobe memory system. *Science* 1992;253:1380-6. <https://doi.org/10.1126/science.1896849>
17. Packard M, Hirsh R, White N. Differential effects of fornix and caudate nucleus lesions on two radial maze tasks: evidence for multiple memory systems. *J Neurosci* 1989;9:1465-72. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.09-05-01465.1989>
18. Knowlton BJ, Mangels JA, Squire LR. A Neostriatal Habit Learning System in Humans. *Science* 1996;273:1399-402. <https://doi.org/10.1126/science.273.5280.1399>
19. Schacter DL. Implicit memory: History and current status. *J Exp Psychol Learning Mem Cogn* 1987;13:501-18. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.13.3.501>
20. Brown RG. The role of cortico-striatal circuits in learning sequential information. *Parkinsons Dis Adv Neurol* 1999;80:31-9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10410700/>
21. Buszard T, Masters RS, Farrow D. The generalizability of working-memory capacity in the sport domain. *Curr Opin Psychol* 2017;16:5477. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.04.018>
22. Halsband U, Lange RK. Motor learning in man: A review of functional and clinical studies. *J Physiol* 2006;99:414-24. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.03.007>
23. Maxwell JP, Masters RSW, Eves FF. The role of working memory in motor learning and performance. *Consci Cogn* 2003;12:376-402. [https://doi.org/10.1016/s1053-8100\(03\)00005-9](https://doi.org/10.1016/s1053-8100(03)00005-9)
24. Buszard T, Farrow D, Verswijveren SJJM, Reid M, Williams J, Polman R, *et al.* Working memory capacity limits motor learning when implementing multiple instructions. *Front Psychol* 2017;8:1350. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01350>
25. Masters RS, Poolton JM, Maxwell JP, Raab M. Implicit Motor Learning and Complex Decision Making in Time-Constrained

- Environments. *J Motor Behav* 2008;40:71-9.  
<https://doi.org/10.3200/JMBR.40.1.71-80>
26. Buszard T, Farrow D, Zhu FF, Masters RSW. Examining movement specific reinvestment and working memory capacity in adults and children. *Inter J Sport Psychol* 2013;44:351-66.  
<https://doi.org/10.7352/IJSP.2013.44.351>
27. Tse ACY, Fong SSM, Wong TWL, Masters R. Analogy motor learning by young children: a study of rope skipping. *Eur J Sport Sci* 2016;17:152-9. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1214184>
28. Masters RSW. Knowledge, knerves and know-how: The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. *Brit J Psychol* 1992;83:343-58.  
<https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1992.tb02446.x>
29. Masters RS, Poolton JM, Maxwell JP, Raab M. Implicit motor learning and complex decision making in time-constrained environments. *J Motor Behav* 2008;40:71-9.  
<https://doi.org/10.3200/JMBR.40.1.71-80>
30. Liao CM, Masters RSW. Analogy learning: A means to implicit motor learning. *J Sports Sci* 2001;19:307-19.  
<https://doi.org/10.1080/02640410152006081>
31. Masters RSW. Theoretical aspects of implicit learning in sport. *Inter J Sport Psychol* 2000;31:530-41.  
<https://psycnet.apa.org/record/2001-16706-010>
32. Wulf G, McNevin N, Shea CH. The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *Quart J Exp Psychol Hum Exp Psychol* 2001;54:1143-54.  
<https://doi.org/10.1080/713756012>
33. Wulf G, Shea C, Lewrhwaite R. Motor skill learning and performance: a review of influential factors. *Med Edu* 2010;44:75-84.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03421.x>
34. Steenbergen B, Gordon AM. Activity limitation in hemiplegic cerebral palsy: evidence for disorders in motor planning. *Develop Med Child Neurol* 2006;48:780.  
<https://doi.org/10.1017/S0012162206001666>
35. Steenbergen B, Jongbloed-Pereboom M, Spruijt S, Gordon AM. Impaired motor planning and motor imagery in children with unilateral spastic cerebral palsy: challenges for the future of pediatric rehabilitation. *Develop Med Child Neurol* 2013;55:43-6.  
<https://doi.org/10.1111/dmcn.12306>
36. Steenbergen B, Verrel J, Gordon AM. Motor planning in congenital hemiplegia. *Disabil Rehab* 2007;29:13-23.  
<https://doi.org/10.1080/09638280600947591>