

## Los niños con trastorno del desarrollo de la coordinación tienen dificultad con la representación de las acciones

Carl Gabbard, Priscila Caçola

**Introducción.** El estudio de niños con trastorno del desarrollo de la coordinación (TDC) ha emergido como una línea vibrante de investigación durante las dos últimas décadas. Las publicaciones médicas indican con bastante claridad que los niños con TDC manifiestan déficit en una serie de habilidades perceptivomotoras y de la vida diaria. Los movimientos de los niños con TDC se suelen describir como torpes y descoordinados, y dan lugar a dificultades a la hora de realizar muchas de las actividades de la vida diaria y los deportes que los niños con un desarrollo normal realizan con facilidad.

**Desarrollo.** Se ha planteado la hipótesis, sobre la base de investigaciones limitadas, de que un problema subyacente es un déficit en la generación y/o control de una representación de las acciones, que se llama la hipótesis del déficit de modelado interno. De acuerdo con la hipótesis, los niños con TDC presentan limitaciones significativas en su capacidad de generar y utilizar con precisión modelos internos de planificación motora y control motor.

**Conclusión.** Esta revisión se centra principalmente en uno de los métodos utilizados para examinar la representación de las acciones-imágenes motoras, que los teóricos sostienen que proporcionan una ventana al proceso de representación de las acciones. Se incluyen métodos de investigación y posibles estructuras cerebrales implicadas. Además, se describe un paradigma único en esta población, la estimación de la accesibilidad (distancia) mediante las imágenes motoras.

**Palabras clave.** Actividad motora. Habilidades motoras. Imágenes. Rendimiento perceptivomotor. Rendimiento psicomotor. Rendimiento sensoriomotor. Trastorno de las habilidades motoras. Trastorno del desarrollo de la coordinación. Vías motoras.

Texas A&M University. College Station, Texas, Estados Unidos.

**Correspondencia:**

Dr. Carl Gabbard. TAMU 4243. College Station, TX 77843-4243, EE. UU. Fax: (979) 847-8987.

**E-mail:**

c-gabbard@tamu.edu

**Aceptado tras revisión externa:** 03.07.09.

**Cómo citar este artículo:**

Gabbard C, Caçola P. Los niños con trastorno del desarrollo de la coordinación tienen dificultad con la representación de las acciones. Rev Neurol 2010; 50: 33-8.

© 2010 Revista de Neurología

### Introducción

El estudio de niños con trastorno del desarrollo de la coordinación (TDC) ha emergido como una línea vibrante de investigación durante las dos últimas décadas [1]. Por definición, el TDC es un término que describe el trastorno motor en ausencia de una enfermedad neurológica, de cualquier trastorno físico, retraso del desarrollo, retraso mental y coeficiente intelectual bajo [2]. Los movimientos de los niños con TDC se suelen describir como torpes y descoordinados, y dan lugar a dificultades a la hora de realizar muchas de las actividades de la vida diaria [3] y los deportes que los niños con un desarrollo normal realizan con facilidad. Se ha calculado que la prevalencia del TDC es de hasta el 6% para los niños en el rango de edad de 5-11 años [4]; los cálculos varían entre el 5-20%, con al menos un 2% de pacientes gravemente afectados.

Respecto al control motor, las publicaciones médicas indican con bastante claridad que los niños con TDC manifiestan déficit en una serie de habilidades perceptivomotoras [5-8]. Se ha planteado la hipótesis, además de ser el objetivo principal de esta revisión y comentario, de que un problema subyacente es un déficit en la generación y/o control de

una representación de las acciones, que se llama la hipótesis del déficit de modelado interno (DMI). De acuerdo con la hipótesis, los niños con TDC tienen limitaciones significativas en su capacidad de generar y utilizar con precisión modelos internos de planificación motora y control motor. Desde otro punto de vista, estos niños presentan déficit en su capacidad de representar acciones mentalmente, que se denomina representación de las acciones. Se ha planteado la hipótesis de que estas representaciones, que están asociadas a modelos internos, son una parte integral de la planificación de las acciones. Además, hay indicios de que las imágenes motoras proporcionan una ventana al proceso de representación de las acciones. Este artículo destaca esas publicaciones médicas, y describe un nuevo paradigma que tiene potencial para ayudar a comprender el procesamiento de las acciones en esta población.

### Representación de las acciones

La teoría de la programación motora sugiere que un componente integral en un resultado eficaz es una representación adecuada de las acciones de los movimientos. Este punto de vista afirma que la re-

presentación de las acciones es un componente de un modelo interno hacia delante (*internal forward model*), lo cual es un sistema neuronal que estimula el comportamiento dinámico del cuerpo en relación con el entorno [9,10]. Esta teoría propone que los modelos internos hacen predicciones (cálculos) acerca de la representación del yo sobre los parámetros del mundo exterior, que son procesos que permiten una planificación y una ejecución de la acción satisfactorias. Se ha planteado la hipótesis de que estas representaciones son una parte integral de la planificación de las acciones [9,11-15]; otros relacionan esta idea con los niños [12-14]. Como complemento de la idea del modelo hacia delante y fundamental para esta discusión, es la sugerencia de que las imágenes motoras están implicadas en la predicción de las consecuencias de las acciones de uno mismo [16]. Además, Jeannerod [17,18] afirma que las imágenes motoras proporcionan una ventana al proceso de representación de las acciones, es decir, reflejan una representación interna de las acciones.

Los estudios de niños con un desarrollo normal indican que la aparición de las imágenes motoras empieza alrededor de los 5 años de edad [19-21], con una mejora considerable de la capacidad manifestada entre la primera adolescencia (12 años de edad en adelante) y la primera edad adulta [12,13,20,22]. Como observación general de los estudios que comprenden un rango de edad, las poblaciones mayores logran un mejor rendimiento que los grupos más jóvenes [14,23]. Además, esos hallazgos sugieren que la capacidad de representar acciones mentalmente (es decir, representaciones de las acciones) aparecen aproximadamente al mismo tiempo.

### Niños con TDC

Como se ha apuntado, las publicaciones médicas presentan un caso bastante convincente de que niños con TDC han tenido un DMI [24-31]. Estos experimentos utilizaron una serie de (los denominados) paradigmas y tareas de imágenes motoras. Éstos incluyen, por ejemplo, la rotación mental que implica a la mano y al cuerpo entero, el cálculo de la distancia con el efector (mano), y las tareas que implican la comparación (cronometría) de acciones reales y simuladas, como señalar, apuntar y caminar; tareas que, en su mayoría, se han descrito como válidas para las poblaciones adultas. Generalmente, con la táctica de la cronometría, la capacidad de las imágenes motoras se juzga por la proximidad de la relación (tiempo) entre el movimiento real y el simulado. Similar a este método es la asociación a la ley de

Fitts, es decir, la duración del movimiento simulado, como la del movimiento real, debe disminuir con el aumento de la complejidad de las tareas.

Por ejemplo, van Waelvelde et al [28] utilizaron una tarea que consistía en dar golpecitos con el dedo rítmicamente en combinación con una actividad consistente en saltar y dibujar para evaluar a los niños con TDC y a un grupo de control apareado. En niños con TDC, se encontró un aumento de la variabilidad temporal con la tarea de dar golpecitos con el dedo comparado con un grupo de control. Los errores en el tiempo estaban muy correlacionados con la tarea de saltar y dibujar, mientras que no fue así en el caso de los errores en el espacio. Se concluyó que los niños con TDC tienen más problemas a la hora de desarrollar una representación interna del movimiento. Los investigadores sugirieron que los déficit en la parametrización del movimiento podrían ser una de las causas subyacentes del rendimiento motor pobre en algunos niños con TDC.

Wilson et al [31] también investigaron la llamada hipótesis del DMI, utilizando el paradigma de la rotación mental con niños con un desarrollo normal y una muestra de niños con TDC (edades de 7 a 11 años). Los resultados indican un respaldo parcial a la hipótesis de que los niños con TDC manifestarían un patrón de rendimiento atípico en la tarea de rotación de la mano, que requiere un uso implícito de imágenes motoras. En términos generales, no hubo diferencias significativas entre el grupo de TDC y de control cuando la tarea manual era completada sin instrucciones explícitas, tanto en el tiempo de respuesta como en la precisión. Sin embargo, cuando se introdujeron las instrucciones con imágenes, los controles fueron significativamente más precisos que el grupo de TDC, lo que indica que los niños con TDC no podían beneficiarse del recuerdo facilitado explícito. En esencia, los investigadores encontraron apoyo para la hipótesis del DMI en niños con TDC.

En un estudio posterior, Williams et al [30] examinaron la capacidad de las imágenes motoras en niños con TDC de edades comprendidas entre los 7 y los 11 años, con el propósito de determinar si los niños con grados variables de trastorno motor diferían en su capacidad para realizar tareas de imágenes motoras. Se separó a los niños con TDC en dos grupos: TDC grave (TDC-G) y TDC leve (TDC-L), y se compararon con los controles apareados por edad. Los participantes realizaron dos tareas de imágenes motoras, rotación manual (realizada sin y con instrucciones con imágenes específicas) y rotación de cuerpo entero. Los resultados indicaron que los niños del grupo TDC-L presentaban un déficit generalizado de imágenes motoras en el que eran me-

nos precisos en la realización de las tareas que los controles (y el grupo TDC-L en la tarea manual), y mostraron poco beneficio cuando se les daban instrucciones con imágenes específicas. El grupo TDC-L parecía capaz de realizar transformaciones de imágenes motoras más sencillas, pero tenía menos éxito a medida que la complejidad de las tareas aumentaba. A diferencia del grupo TDC-G, el grupo TDC-L sí que mostró algún beneficio de las instrucciones con imágenes específicas, con mejoras en la precisión de la tarea manual. Los hallazgos sugirieron que un déficit de imágenes motoras está presente en muchos niños con TDC, pero que su grado puede variar. Es decir, factores como el nivel de capacidad individual y la complejidad de las tareas parecen estar vinculados al déficit.

Lewis et al [25] examinaron las duraciones de los movimientos para movimientos reales e imaginarios en una tarea consistente en señalar un punto determinado, guiada visualmente, en niños de 8 a 12 años de edad y (similar a estudios previos observados) encontraron que el grupo TDC demostraba una incapacidad de generar movimientos imaginados que no presentaban los participantes con un desarrollo normal. Deconinck et al [24] investigaron la hipótesis del DMI con niños de 9 años de edad con TDC mediante el paradigma de rotación mental (mano/letras). Los resultados indicaron que los niños con TDC eran, por lo general, más lentos y cometían más errores que la muestra de control con un desarrollo normal. Los investigadores concluyeron que ambos grupos utilizaban una estrategia de imágenes; sin embargo, los juicios del grupo TDC parecen estar afectados por un modelo interno no tan bien definido.

## Posibles déficit cerebrales asociados al DMI

### Niños con un desarrollo normal

La investigación con niños con un desarrollo normal y con adultos sugiere que hay un vínculo estrecho entre el desarrollo de la corteza parietal, la representación de las acciones y la capacidad de formular modelos internos asociados a las imágenes motoras, lo que indica que ambos mejoran a lo largo de la adolescencia [12,13,32-34]. Otro aspecto asociado a los aspectos cognitivos de representación de las acciones es el desarrollo de la corteza prefrontal, es decir, la evolución de una capacidad general de establecer relaciones entre datos separados en el espacio y el tiempo [35]. Molina et al [14] sugieren que las imágenes motoras en niños se pueden interpretar en términos de un desarrollo general del proce-

so cognitivo implicado en la representación motora determinada, principalmente, por cambios internos de las estructuras prefrontal y parietal del cerebro.

### Niños con TDC

Obviamente, algunas de las mismas estructuras observadas en niños con un desarrollo normal son relevantes en las poblaciones con TDC. Se mencionan en los estudios de TDC áreas corticales implicadas en el procesamiento motor, como el área premotora (desempeña un papel en la planificación y secuenciación motora y la preparación de los movimientos), la corteza parietal y la corteza prefrontal dorsolateral, que también se asocian a la planificación premotora. Otra estructura cerebral, no mencionada en trabajos previos con niños con un desarrollo normal, es el cerebelo; se sugiere que desempeña un importante papel en la disminución de la precisión de las imágenes motoras, ya que se cree que codifica los modelos internos que reproducen las propiedades fundamentales de las representaciones de las acciones [23]. La mayoría de los investigadores está de acuerdo en que los déficit manifestados por estos niños son el resultado de un déficit del procesamiento general del sistema motor como un todo. Por ejemplo, cuando la información 'fluye' desde la corteza prefrontal hasta la motora, los niños con TDC, especialmente los más jóvenes, pueden verse forzados a mantener un alto nivel de preprogramación para compensar las dificultades en los aspectos perceptivomotores y ejecutivos del movimiento relacionadas con su trastorno de coordinación [36].

En este punto, una de las principales cuestiones es: ¿es el retraso manifestado en los niños con TDC distinto de la inmadurez del desarrollo de los niños con un desarrollo normal?

### Consideraciones (precauciones) en los paradigmas experimentales

La noción que subyace y justifica el uso de tareas para obtener imágenes motoras es que se requiere el empleo de las imágenes motoras y que se considera que el niño tiene capacidad cognitiva y atención para entender y completar la tarea. De estas consideraciones (limitaciones), la más debatible es, posiblemente, la cuestión de las imágenes motoras. Por ejemplo, ¿el niño está empleando imágenes visuales en vez de imágenes motoras? Las imágenes motoras conllevan la estimulación mental de la acción en primera persona, que 'centra la atención' en el efector (parte del cuerpo implicada). Un punto importante es la distin-

ción hipotética entre la imagen motora y la imagen visual, y su conexión con los sistemas visuales (sustratos ventral/dorsal). Stevens [37] afirma que las imágenes motoras representan las limitaciones cinestésicas y biomecánicas conectadas con la acción, asociadas a la corriente dorsal, mientras que las imágenes visuales están vinculadas al componente espacial del entorno percibido a través de la corriente ventral. Además, las imágenes motoras provocan una excitabilidad cortical motora asociada a la acción, y algunos trabajos sugieren que hay una gran correlación entre los movimientos reales y las imágenes motoras; ninguna de esas observaciones está asociada a las imágenes visuales [38,39]. Éstas dependen fuertemente de los patrones de conectividad que se originan en las áreas occipitales, lo que apoya la idea de que esta conducta se puede clasificar como una tarea visual. Solodkin et al [38] se suman a la distinción entre la imagen motora y la imagen visual, con la conclusión de que las imágenes motoras complementan la ley de Fitts, mientras que las imágenes visuales no lo hacen. Según Farahat et al [40], la diferencia en la duración del movimiento real y el imaginario para aprender a dibujar formas gráficas era mucho menor al utilizar imágenes cinestésicas (motoras) en comparación con las imágenes visuales.

En una revisión detallada de los estudios aquí descritos, se observó que en muy pocos la metodología incluyó instrucciones o formación específicas respecto a la obtención de imágenes motoras. Una excepción afirmaba: 'se instruyó a los participantes y se les pidió que se sintieran a ellos mismos cinestésicamente ejecutando el movimiento (siente como extiendes el brazo...)' [20]; una afirmación que sugiere que se es más sensible a las limitaciones biomecánicas de la tarea [37,41,42]. Obviamente, sin verificación de la actividad cerebral no hay forma de saber realmente el grado de procesamiento de las imágenes motoras o las imágenes visuales. Sin embargo, una formación e instrucciones más específicas, especialmente con niños más pequeños, serían más rigurosas científicamente y exigirían un resumen en cualquier informe científico.

### Estimación del paradigma de la accesibilidad

La estimación del paradigma de la accesibilidad es una técnica que incluye las imágenes motoras y que ha despertado el interés de los investigadores contemporáneos. Este método puede ayudar a entender la representación de las acciones y la planificación motora desde una perspectiva del desarrollo. Aunque el modelo se ha empleado de manera restringida con

niños, se han descrito estudios con adultos con referencias a la representación de las acciones [43-45]. Por ejemplo, Coello y Delevoye-Turrell [43] utilizaron el paradigma para ilustrar de forma elocuente el concepto de 'encarnación' y cómo las representaciones del cuerpo en acción limitan, en parte, la percepción y la categorización de la información visual. Además, los investigadores sugirieron que el espacio externo percibido depende de las representaciones corporales tanto a nivel empírico como funcional. Más concretamente referido al alcance, uno de los pasos iniciales en la programación de dichos movimientos es la realización de una 'estimación' perceptiva de la distancia y la ubicación del objeto con relación al cuerpo. Esto significa que un individuo debe ser capaz de percibir distancias de alcance críticas más allá de las cuales ya no se puede conseguir una acción de alcance dado, y en las cuales se debe producir una transición a otro modo de alcance. Por ejemplo, ¿el objeto está lo suficientemente cerca como para poder alcanzarlo sentado o debo levantarme?

Gabbard et al [22] describieron una estimación del paradigma de la accesibilidad (a través de imágenes motoras) utilizado con niños de edades comprendidas entre los 5 y los 12 años [20,22,46-48]. Este paradigma general explora la capacidad de los niños de utilizar información objetivo para representar mentalmente una acción a fin de establecer coordenadas egocéntricas a la hora de calcular la accesibilidad. El paradigma básico requiere que el participante use imágenes motoras (cinestésicas) para formular un juicio verbal sobre la estimación del alcance, es decir, si un objetivo situado en varias posiciones en el hemiespacio está dentro o fuera del alcance. Se instruye a los participantes y se les pide que 'se sientan' a ellos mismos cinestésicamente, ejecutando el movimiento ('siente cómo extiendes el brazo...'), siendo, por lo tanto, más sensibles a las limitaciones biomecánicas de la tarea. Además, la mano dominante (de alcance) se coloca dentro de un recuadro dibujado en la mesa cerca del eje central del tronco y alineada con el objetivo previsto. Al participante se le presentan, por ejemplo, objetivos sobre el eje central aleatoriamente con tres a cinco pruebas en cada lugar. Las distancias objetivo se escalan hasta el alcance máximo del individuo, lo que se utiliza como comparación con las respuestas simuladas. Este sistema permite, por ejemplo, medir la precisión y la distribución del error. La distribución del error permite al investigador determinar la dirección del error, es decir, la tendencia a la estimación demasiado baja o demasiado alta; esta última es la más habitual. Además de sentar al participante en posición erguida, ha habido variaciones de la postura mientras estaba de pie, y senta-

do e inclinado hacia delante para ampliar el espacio, probando así la tarea (limitaciones posturales).

Mientras que en su estudio con niños de 5 a 11 años de edad y con adultos jóvenes [20] no hubo ninguna diferencia entre los grupos en cuanto al error total, surgió una distinción significativa en relación con el espacio peripersonal (área dentro del alcance) y extrapersonal (área más allá del alcance). Para los niños, hubo considerablemente más errores con los objetivos extrapersonales en comparación con los objetivos peripersonales; no hubo ninguna diferencia en los adultos. Los grupos no difirieron en el espacio peripersonal; sin embargo, los adultos fueron sustancialmente más precisos en el espacio extrapersonal. Además, los niños manifestaron una mayor tendencia a la sobreestimación. En esencia, estos datos revelaron un problema de escala corporal en niños para calcular el alcance en el espacio extrapersonal; los investigadores plantearon inicialmente la hipótesis de que esta diferencia puede deberse a diferencias del desarrollo en el uso de la información visual a través de representaciones egocéntricas y aloécnicas. Evidentemente, tal como se ha recalado en este artículo, la capacidad de representar acciones mentalmente también puede ser un factor.

### Comentarios finales

Parece que hay indicios importantes de que, en los niños con un desarrollo normal y especialmente en los niños que presentan TDC, la incapacidad de representar acciones mentalmente es una causa subyacente de los déficit de la planificación motora. Las principales estructuras cerebrales y los posibles trastornos o retrasos en el desarrollo se han centrado en la corteza parietal, la corteza prefrontal y el cerebelo. Además, parece que hay un déficit general del procesamiento del sistema motor asociado al flujo de información desde la corteza prefrontal a la motora. En relación con la metodología utilizada para examinar la representación de las acciones, hay que tener prudencia con respecto al uso de imágenes motoras (cinestésicas) en vez de imágenes visuales. La estimación de la accesibilidad es un paradigma que potencialmente puede ayudar al investigador a comprender bien la creación de modelos internos (representación de las acciones).

En relación con las implicaciones aplicadas de esta información, la importancia se asocia primero a los métodos de enseñanza [30]. Dado que los niños con TDC pueden tener dificultades para observar la representación visual de los movimientos, se sugiere que se utilicen enfoques más cinestésicos, es de-

cir, enfoques para enseñar habilidades motoras que se centren en la acción de tocar y en el movimiento corporal para aprender, en contraposición al uso predominante de los estímulos verbales o visuales. Estas modalidades reducen la confianza en modelos internos, que es probable que sean muy poco eficaces. Además, se ha sugerido que la instrucción temprana y la experiencia con los movimientos en estos niños conllevan un énfasis importante en el desarrollo de la conciencia espacial y corporal. Lo más relevante en esta idea es la importancia de una base de los movimientos sólida y fundamental con conocimiento de lo que el cuerpo puede hacer y cómo hacerlo.

### Bibliografía

1. Wilson PH, Larkin D. New and emerging approaches to understanding developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2007; 27: 171-6.
2. American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 4 ed. Washington: APA; 1994.
3. Magallón S, Narbona J. Detección y estudios específicos en el trastorno de aprendizaje procesal. *Rev Neurol* 2009; 48: 71-6.
4. National Institutes of Health (NIH), National Library of Medicine. Developmental coordination disorder. *MedlinePlus Medical Encyclopedia*. Bethesda, MD: NIH; updated October 18, 2008. URL: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/001533.htm>. [27.02.2009].
5. Astill S, Utley A. Two-handed catching in children with developmental coordination disorder. *Motor Control* 2006; 10: 109-24.
6. Deconinck FJA, De Clercq D, Van Savelsbergh GJP, Coster R, Oostra A, Dewitte G, et al. Differences in gait between children with and without developmental coordination disorder. *Motor Control* 2006; 10: 125-42.
7. Deconinck FJ, De Clercq D, Van Coster R, Oostra A, Dewitte G, Van Savelsbergh GJP. Sensory contributions to balance in children with DCD. *Adapt Phys Activ Q* 2008; 25: 17-35.
8. Tsai C, Wilson PH, Wu SK. Role of visual-perceptual skills (non motor) in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008; 27: 649-64.
9. Wolpert DM. Computational approaches to motor control. *Trends Cogn Sci* 1997; 1: 209-16.
10. Wolpert DM, Kawato M. Multiple paired forward and inverse models for motor control. *Neural Netw* 1998; 11: 1317-29.
11. Caeyenberghs K, Van Roon D, Swinnen SP, Smits-Engelsman BCM. Deficits in executed and imagined aiming performance in brain-injured children. *Brain Cogn* 2009; 69: 154-61.
12. Choudhury S, Charman T, Bird V, Blakemore S. Development of action representation during adolescence. *Neuropsychologia* 2007; 45: 255-62.
13. Choudhury S, Charman T, Bird V, Blakemore S. Adolescent development of motor imagery in a visually guided pointing task. *Conscious Cogn* 2007; 16: 886-96.
14. Molina M, Tijus C, Jouen F. The emergence of motor imagery in children. *J Exp Child Psychol* 2008; 99: 196-209.
15. Skoura X, Papaxanthis C, Vinter A, Pozzo T. Mentally represented motor actions in normal aging: I. Age effects on the temporal features of overt and covert execution of actions. *Behav Brain Res* 2005; 165: 229-39.
16. Johnson SH. Thinking ahead: the case for motor imagery in prospective judgments of prehension. *Cognition* 2000; 74: 33-70.
17. Jeannerod M. *The cognitive neuroscience of action*. Oxford: Blackwell; 1997.
18. Jeannerod M. Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage* 2001; 14: 103-9.
19. Funk M, Brugger P, Wilkening F. Motor processes in children's

- imagery: the case of mental rotation of hands. *Dev Sci* 2005; 8: 402-8.
20. Gabbard C, Cordova A, Ammar D. Children's estimation of reach in peripersonal and extrapersonal space. *Dev Neuropsychol* 2007; 32: 749-56.
  21. Kosslyn SM, Margolis JA, Barrett AM, Goldknopt E, Daly PE. Age differences in imagery abilities. *Child Dev* 1990; 61: 995-1010.
  22. Gabbard C, Cordova A, Lee S. Do children perceive postural constraints when estimating reach (motor planning)? *J Mot Behav* 2009; 41: 100-5.
  23. Caeyenberghs K, Tsoupas J, Wilson PH, Smits-Engelsman BC. Motor imagery development in primary school children. *Dev Neuropsychol* 2009; 34: 103-21.
  24. Deconinck FJ, Spitaels L, Fias W, Lenior M. Is developmental coordination disorder a motor imagery deficit? *J Clin Exp Neuropsychol* 2008; 1: 1-11.
  25. Lewis M, Vance A, Maruff P, Wilson P, Cairney S. Differences in motor imagery between children with developmental coordination disorder with and without the combined type of ADHD. *Dev Med Child Neurol* 2008; 50: 608-12.
  26. Maruff P, Wilson P, Trebilcock M, Currie J. Abnormalities of imagined motor sequences in children with developmental coordination disorder. *Neuropsychologia* 1999; 37: 1317-24.
  27. Pettit L, Charles J, Wilson AD, Plumb MS, Brockman A, Williams JHG, et al. Constrained action selection in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008; 27: 286-95.
  28. Van Waelvelde H, De Weerd T, De Cock P, Janssens L, Feys H, Bouwien CM, et al. Parameterization of movement execution in children with developmental coordination disorder. *Brain Cogn* 2006; 60: 20-31.
  29. Williams J, Thomas PR, Maruff P, Butson M, Wilson PH. Motor, visual and egocentric transformations in children with Developmental Coordination Disorder. *Child Care Health Dev* 2006; 32: 633-47.
  30. Williams J, Thomas PR, Maruff P, Wilson PH. The link between motor impairment level and motor imagery ability in developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008; 27: 270-85.
  31. Wilson PH, Maruff P, Butson P, Williams J, Lum J, Thomas PR. Internal representation of movement in children with developmental coordination disorder: a mental rotation task. *Dev Med Child Neurol* 2004; 46: 754-9.
  32. Blakemore SJ, Sirigu A. Action prediction in the cerebellum and in the parietal lobe. *Exp Brain Res* 2003; 153: 239-45.
  33. Gerardin E, Sirigu S, Lehericy A, Poline JB, Gaymard B, Marsault C, et al. Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cereb Cortex* 2000; 10: 1093-104.
  34. Lacourse MG, Orr EL, Cramer SC, Cohen MJ. Brain activation during execution and motor imagery of novel and skilled sequential hand movements. *Neuroimage* 2005; 27: 505-19.
  35. Diamond A. Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: cognitive functions, anatomy, and biochemistry. In Stuss DT, Knight RT, eds. *Principles of frontal lobe function*. New York: Oxford University Press; 2002. p. 466-503.
  36. Castelnau P, Albaret J, Chaix Y, Zanone P. A study of EEG coherence in DCD children during motor synchronization task. *Hum Mov Sci* 2008; 27: 230-41.
  37. Stevens, JA. Interference effects demonstrate distinct roles for visual and motor imagery during the mental representation of human action. *Cognition* 2005; 95: 329-50.
  38. Solodkin A, Hlustik P, Chen EE, Small SL. Fine modulation in network activation during motor execution and motor imagery. *Cereb Cortex* 2004; 14: 1246-55.
  39. Stinear CM, Byblow WD, Steyvers M, Levin O, Swinnen SP. Kinesthetic, but not visual imagery modulates corticomotor excitability. *Exp Brain Res* 2006; 168: 157-64.
  40. Farahat E, Ille A, Thon B. Effect of visual and kinesthetic imagery on the learning of a patterned movement. *Int J Sport Psychol* 2004; 35: 119-32.
  41. Johnson S, Corballis P, Gazzaniga M. Within grasp but out reach: evidence for a double dissociation between imagined hand and arm movements in the left cerebral hemisphere. *Neuropsychologia* 2001; 39: 36-50.
  42. Sirigu A, Duhamel JR. Motor and visual imagery as two complementary but neurally dissociable mental processes. *J Cogn Neurosci* 2001; 13: 910-9.
  43. Coello Y, Delevoe-Turrell Y. Embodiment, spatial categorization and action. *Conscious Cogn* 2007; 16: 667-83.
  44. Coello Y, Iwanow O. Effect of structuring the workspace on cognitive and sensorimotor distance estimation: no dissociation between perception and action. *Percept Psychophys* 2006; 68: 278-89.
  45. Lamm C, Fischer MH, Decety J. Predicting the actions of others taps into one's own somatosensory representations – a functional MRI study. *Neuropsychologia* 2007; 45: 2480-91.
  46. Gabbard C, Caçola P, Cordova A. Is perceived motor competence a constraint in children's action planning (estimating reach)? *J Genet Psychol* 2009; 170: 151-8.
  47. Gabbard C, Caçola P, Cordova A. Does general motor imagery ability (via questionnaire) predict estimation of reachability in children? *J Imagery Res Sport Phys Activ* 2008; 3: 1-12.
  48. Gabbard C, Cordova A, Lee S. A question of intention in motor imagery. *Conscious Cogn* 2009; 18: 300-5.

### Children with developmental coordination disorder have difficulty with action representation

**Introduction.** The study of children with developmental coordination disorder (DCD) has emerged as a vibrant line of inquiry over the last two decades. The literature indicates quite clearly that children with DCD display deficits with an array of perceptual-motor and daily living skills. The movements of children with DCD are often described as clumsy and uncoordinated and lead to difficulties with performing many of the activities of daily living and sports that typically developing children perform easily.

**Development.** It has been hypothesized, based on limited research, that an underlying problem is a deficit in generating and/or monitoring an action representation termed the internal modeling deficit hypothesis. According to the hypothesis, children with DCD have significant limitations in their ability to accurately generate and utilize internal models of motor planning and control.

**Conclusion.** The focus of this review is on one of the methods used to examine action representation-motor imagery, which theorists argue provides a window into the process of action representation. Included are research methods and possible brain structures involved. An addition, a paradigm unique with this population-estimation of reachability (distance) via motor imagery, will be described.

**Key words.** Developmental coordination disorder. Imagery. Motor activity. Motor pathways. Motor skill disorders. Motor skills. Perceptual motor performance. Psychomotor performance. Sensory motor performance.