

## **Las habilidades perceptivas visuales dan cuenta de las dificultades en matemáticas en niños pre-escolares nacidos muy prematuros**

Sarit van Veenab, Aleid G. van Wassenauer-Leemhuis, Anton H. van Kaam, Jaap Oosterlaanb, Cornelieke S.H. Aarnoudse-Moens

### **ABSTRACT**

*Fundamentos:* Ya en el período pre-escolar, los niños MPT se desempeñan peor que los niños nacidos a término en las pruebas de capacidad matemática pre-escolares. Se han encontrado fuertes asociaciones entre las habilidades pre-escolares en matemática, cognición e integración visomotora.

*Objetivos:* Comparar los niños MPT y sus pares nacidos a término en el logro matemático pre-escolar a la edad corregida de 5 años, y determinar si las habilidades cognitivas, visual-perceptivas, visomotoras, e integración motora son responsables de diferencias significativas observadas.

*Diseño del estudio:* Cohorte consecutiva de un único centro con un grupo de comparación de nacidos a término.

*Sujetos:* 54 niños de 5 años de edad MPT y 28 niños nacidos a término (comparación).

*Medidas de resultado:* Test estandarizado para habilidades matemáticas pre-escolar (Sistema Holandés de monitoreo del alumno), habilidades cognitivas (Escala Weschler Pre-escolar y primaria de Inteligencia- tercera edición), percepción visual, integración visomotora, y coordinación motora (Prueba de Integración Viso-motora de Beery- sexta edición). Las diferencias entre grupos fueron analizadas con ANCOVAs, ajustando por educación materna, grado pre-escolar, y momento del examen. Con análisis de mediación de Sobel se testeó para posibles efectos de mediación.

*Resultados:* Las habilidades matemáticas pre-escolares y las perceptivas visuales estuvieron significativamente más bajas en niños MPT que en niños nacidos de término (Cohen  $d= 0.63$ ,  $p= 0.01$ ; Cohen  $d= 0.84$ ,  $p < 0.01$ , respectivamente). El test de Sobel indicó un significativo efecto mediador de las habilidades perceptivas visuales sobre la asociación entre nacimiento MPT y las habilidades matemáticas pre-escolares.

*Conclusiones:* En la edad pre-escolar, los niños MPT tienen menores habilidades matemáticas pre-escolares comparados con sus pares nacidos a término; déficits que fueron completamente asociados a las pobres habilidades visuo-perceptivas. Nuestros hallazgos indican la relevancia de tamizar las habilidades perceptivas visuales en edad pre-escolar, facilitando identificación oportuna de niños en riesgo para dificultades en matemáticas.

### **1. Introducción**

En los Países Bajos, aproximadamente 1% de todos los niños nacen MPT (EG < 30 semanas). Los niños MPT presentan alto riesgo de dificultades académicas, que son más pronunciadas en el área de las matemáticas (1-3). El logro matemático es predictivo del éxito educativo general, empleo futuro y productividad económica (4). El logro matemático formal está precedido por la maestría en habilidades matemáticas pre-escolares (5). Ya en la edad pre-escolar, los niños MPT se desempeñan peor que los niños nacidos a término en las habilidades matemáticas (2). Las capacidades matemáticas en pre-escolar se constituyen de habilidades para clasificar, seleccionar y contar números u objetos (6). En niños nacidos a término, la maestría de tales habilidades de razonamiento numérico requieren capacidad cognitiva general, integración viso-motora y espacial intactas, y capacidad de memoria de trabajo (7). En niños MPT es escasa la literatura acerca de cuáles funciones neurocognitivas subyacen en sus pobres habilidades matemáticas pre-escolares, pese a que se han encontrado previamente asociaciones con el CI estimado y la integración viso-motora (8, 9). Sin embargo, tanto la integración viso-motora y el CI son constructos compuestos que albergan subdominios únicos de la función neurocognitiva. Estudiar estos subdominios separadamente en su relación con las habilidades matemáticas pre-escolares ayudará a comprender mejor los mecanismos que conducen a las dificultades matemáticas en el pre-escolar en niños MPT.

Los déficits en la integración viso-motora pueden reflejar tanto un déficit perceptivo visual, un déficit de coordinación motora, o un déficit en la integración de estos componentes (10). En niños MPT, la percepción visual y la coordinación motora están afectadas, con déficits que se observan en la infancia temprana, persistiendo hasta la adolescencia (10-12). En la edad escolar primaria, las habilidades matemáticas de los niños MPT han sido previamente asociadas con las tareas de percepción visual (13, 14). Si estas habilidades están también conectadas con las habilidades matemáticas en la edad pre-escolar, aún debe ser determinado. CI está compuesto de capacidad de lenguaje, comprensión y razonamiento verbal, velocidad de procesamiento, razonamiento no-verbal, percepción visual y organización, habilidades viso-espaciales, integración viso-motora y la integración de todas estas habilidades (15). En niños PT, se ha sugerido que en particular los déficits en el razonamiento no-verbal y las habilidades viso-espaciales, medidas como CI de desempeño, están particularmente comprometidas, y subyacen a las dificultades académicas (16). Si los déficits en el CI de desempeño en particular dan cuenta de las dificultades en capacidad matemática pre-escolar, aún no ha sido examinado.

Los objetivos de este estudio fueron examinar el logro matemático pre-escolar en niños MPT y controles nacidos a término a la edad corregida de 5 años y determinar si las habilidades cognitiva, viso-perceptiva, viso-motora, y, o,

coordinación motora dan cuenta de alguna diferencia en las habilidades matemáticas pre-escolares entre niños MPT y de término.

## **2. Métodos**

### *2.1 Diseño del estudio y participantes*

Este estudio fue parte de un estudio de cohorte consecutiva, de un solo centro con un grupo de comparación llevado a cabo en el Emma's Children's Hospital de los Centros Médicos de la Universidad de Amsterdam. Detalles de los criterios de inclusión de los niños MPT, participantes y resultados han sido publicados antes (17). Para los propósitos del presente estudio se incluyeron sólo los niños en escuela común. El comité de revisión institucional de los Centros Médicos de la Universidad de Amsterdam aprobó el protocolo de estudio.

Los niños nacidos a término para comparación fueron reclutados de los compañeros de clase de los niños MPT participantes. Estos niños fueron evaluados en el Emma's Children's Hospital, Centros Médicos de la Universidad de Amsterdam. Otros niños más nacidos a término para comparación fueron reclutados en tres escuelas primarias regulares ubicadas próximas a los Centros Médicos de la Universidad de Amsterdam. Estos niños fueron evaluados en sus escuelas. El grupo control de término incluyó niños sin historia de prematurez (EG > 37 semanas), y complicaciones perinatales. Los padres de todos los niños participantes dieron consentimiento informado.

### *2.2. Medidas*

#### *2.2.1 Habilidades cognitivas*

Las habilidades cognitivas fueron evaluadas empleando la versión holandesa de la tercera edición del WPPSI-III-NL. Los scores estandarizados para el Cociente de Inteligencia- Escala completa (FSIQ), Cociente de Inteligencia Verbal (VIQ), Cociente de Inteligencia de rendimiento (PIQ), y Cociente de Velocidad de Procesamiento (PSQ) fueron calculados acorde a los procedimientos provistos en el manual (M=100, DS=15) (15).

#### *2.2.2 Percepción visual*

La percepción visual fue determinada empleando el subtest de Percepción visual del VMI-6 (18). Los niños debieron identificar la misma figura exacta como la figura principal, eligiendo entre 2 y 7 figuras parecidas que diferían en exactitud o tamaño. El número total de figuras correctamente identificadas fue convertido en un score estandarizado para la edad (M=100, DS= 15).

#### *2.2.3 Integración viso-motora*

La integración viso-motora fue examinada empleando el subtest Integración Viso-motora del VMI-6 (18). Se les pidió a los niños que copiaran varios patrones. El número total de patrones correctamente copiados fue convertido a un score estándar para la edad (M=100, DS=15).

#### *2.2.4 Coordinación Motora*

La coordinación motora se determinó empleando el subtest de Coordinación Motora del VMI-6 (18). Se solicitó a los niños que trazaran varias formas de estímulo con un lápiz, evaluando la exactitud y facilidad en el trazo. El número total de líneas correctamente dibujadas fue convertido en un score estándar para la edad (M= 100, DS= 15).

#### *2.2.5 Habilidades matemáticas pre-escolares*

Las habilidades matemáticas pre-escolares se determinaron con la prueba de Razonamiento numérico midiendo tres conceptos principales: razonamiento numérico (contar, reconocer, y estimación), medición (longitud, ancho, sustancia y tiempo), y geometría (orientación y localización) (6). Para este test, se les pidió a los niños responder verbalmente a preguntas como: "cuál imagen muestra más pájaros?" o "qué cubos tienen el mismo peso?", y debían señalar su respuesta elegida entre tres o cuatro posibles presentadas como imágenes en un papel (6).

El test de Razonamiento Numérico es parte del Sistema Holandés de Monitoreo Nacional del Alumno y se administra cuatro veces en el pre-escolar: en la mitad y al final del primer y segundo curso de pre-escolar (19). La prueba está basada en una teoría de respuesta por ítem y cada examen aumenta en dificultad. El desempeño se refleja en un score estandarizado sobre una escala unidimensional (20). Para facilitar la interpretación, se calcularon scores *z*, sustrayendo los scores de los scores medios normativos, divididos por el DS normal. A los propósitos del presente estudio se empleó la evaluación matemática pre-escolar más cercana en el tiempo al examen de seguimiento neonatal.

#### *2.2.6 Educación Materna*

El nivel de educación materna fue evaluado en una escala de tres puntos, definido por el número de años post- educación elemental, de acuerdo con la Oficina Central de Estadísticas de los Países Bajos (2004). Los scores de corte fueron: bajo <6 años; intermedio: 6-8 años; o alto: >8años (21).

### *2.3 Procedimiento*

Para los niños MPT, el CI, integración visomotora, y percepción visual fueron determinados por un psicólogo. El psicólogo infantil no estuvo

ciego para el grado de prematuridad, historia neonatal, resultados de exámenes previos, y grupo de pertenencia. Los scores estándar de los tests fueron calculados basados en edad corregida para prematuridad en niños nacidos MPT. Para el grupo de comparación, las evaluaciones fueron llevadas a cabo por estudiantes de maestría de Psicología.

#### *2.4 Estadística*

Todos los análisis fueron realizados con paquete estadístico SPSS versión 24.0 (IBM). Los datos demográficos fueron comparados entre los niños MPT y los de comparación, con prueba de chi cuadrado, o t-test independiente, según correspondiera.

Las diferencias entre grupos en los scores de matemática pre-escolar se analizaron con ANCOVA, con la educación materna ingresada como una covariable. Para asegurar que cualquier diferencia de grupo no pudiera ser atribuida a las diferencias de grado al que asistían, se hicieron análisis de sensibilidad, comparando scores de matemática pre-escolar entre grupos pareados por grado y momento de la evaluación al par que ajustando por educación materna.

Las diferencias de grupo para las variables dependientes neurocognitivas fueron examinadas con ANCOVA, ajustando por educación materna. Se realizaron análisis de mediación, con aquellas variables neurocognitivas que mostraban diferencias de grupo como posibles mediadores entre la condición prematura al nacer y las habilidades matemáticas pre-escolares. La técnica de Sobel fue empleada para testear la significancia de los modelos de mediación. Para el análisis de mediación, la significancia estadística fue interpretada aplicando la corrección de Bonferroni, que es el umbral de significancia de 0.05 dividido por el número de tests realizados. El umbral para significancia estadística fue establecido en  $p < 0.05$  (dos-colas), y en  $p < 0.017$  (dos-colas) en el caso de las correcciones Bonferroni para múltiples comparaciones. Los efectos de tamaño fueron expresados en  $f^2$  de Cohen, con valores de 0.02, 0.15 y 0.35 referidos a efectos pequeño, mediano y grande, respectivamente.

#### *2.5 Datos perdidos*

Para dos niños MPT, faltaron los datos acerca de Percepción visual VMI-6 ( $n=1$ ) y Coordinación Motora VMI 6 ( $n=2$ ), que resultó de falta de adherencia. El análisis de valor faltante (Little's Missing Complete at Random (MCAR) test) indicando que los datos faltaban al azar ( $p= 0.55$ ). Los datos faltantes fueron imputados utilizando el método de imputación múltiple.

### 3. Resultados

#### 3.1 Participantes

Entre Enero 2013 y Febrero 2014, 90 de 97 niños MPT invitados fueron evaluados. Los padres de 68 niños proveyeron consentimiento informado para nuestro estudio. Seis niños fueron enrolados en educación especial y por lo tanto no fueron incluidos en el presente estudio debido a diferencias en los métodos empleados para determinar las habilidades matemáticas pre-escolares. Las maestras de 8 niños no proveyeron los scores de la prueba de matemáticas pre-escolar. La muestra final de niños MPT consistió en 54 niños MPT que no difirieron significativamente de los 43 no-participantes en cuanto a género, EG, PN, o alguna otra característica neonatal (todas las  $p > 0.05$ ). Las madres de los no-participantes tuvieron baja educación más frecuentemente comparadas con las madres de los participantes ( $X^2 = 6.79, p < 0.01$ ). Para el grupo de comparación reclutamos 31 niños de término, pero un niño fue excluido debido a no-adherencia y para dos niños sus maestros no proveyeron los scores de la prueba matemática, El grupo final de comparación consistió de 28 niños nacidos a término.

La Tabla 1 presenta las características sociodemográficas y neonatales de los niños nacidos MPT y los nacidos a término. Los niños nacidos a término fueron significativamente mayores al momento de la evaluación ( $p < 0.01$ ).

#### 3.2 Habilidades matemáticas pre-escolar

La Tabla 2 muestra los scores medios de habilidades matemáticas pre-escolar de los niños MPT y nacidos a término y la edad y grado de la evaluación de tales habilidades. Los scores pre-escolares estándar de los niños MPT fueron significativamente más bajos que los de los niños nacidos a término (d de Cohen = 0.65;  $p = 0.01$ ). Al momento de la evaluación, los niños de término estuvieron más frecuentemente en segundo grado de pre-escolar que los MPT ( $X^2 = 7.39, p < 0.01$ ). Para asegurar que las diferencias de grupo no podían ser atribuidas a diferencias en el grado de concurrencia y el momento de la evaluación, se condujeron análisis de sensibilidad, comparando los scores matemáticos pre-escolares entre grupos pareados por grado y momento de examen al par que ajustando por educación materna. El análisis de sensibilidad mostró resultados comparables (d de Cohen = 0.73;  $p = 0.01$ ).

#### 3.3 Resultados cognitivos, visual-perceptivo, visual-motor, y coordinación motora

Las medias de los grupos para resultados cognitivos, visual-perceptivo, visual-motor, y coordinación motora y los valores de p para diferencias entre grupos se presentan en la Tabla 3. Los niños MPT se desempeñaron significativamente peor que los niños de término en la prueba Beery Visual

Perception ( $d$  de Cohen= 0.84,  $p < 0.01$ ). Ninguna de las otras variables dependientes neurocognitivas difirió entre niños MPT y los controles de término (todas  $p > 0.05$ ). La percepción visual no estuvo significativamente correlacionada con ROP ( $\rho = 0.03$ ,  $p = 0.85$ ) o el uso de anteojos a los 5 años ( $\rho = 0.18$ ,  $p = 0.21$ ). ROP no estuvo asociada con el uso de anteojos a los 5 años ( $X^2 = 0.10$ ,  $p = 0.75$ ). Los resultados no difirieron cuando se rehizo el análisis sin ajustar por educación materna.

Todas las comparaciones entre los scores medios de las pruebas fueron realizadas usando el índice de covarianza, con la educación materna como covariable y scores corregidos para prematurez.

### 3.4 Análisis de Mediación

Para investigar si la Percepción Visual mediaba significativamente en la diferencia en las habilidades matemáticas en pre-escolar entre niños MPT y de término realizamos el Test de Sobel (Fig. 1). Paso A, B, C', fueron todos significativos con tamaños de efecto mediano a grande ( $p$ 's  $< 0.01$ ,  $f^2$ 's de Cohen  $> 0.21$ ). El test de Sobel alcanzó significancia, indicando un efecto mediante significativo de la Percepción Visual en la asociación entre nacimiento MPT y habilidad matemática pre-escolar (Tabla 4).

## 4. Discusión

Este estudio de cohorte prospectiva mostró que los niños MPT de 5 años sin discapacidades mayores en pre-escolar no tuvieron diferencias con sus pares de término en tareas generales cognitivas, viso-motor, y coordinación motora, pero mostraron déficits sustanciales en las habilidades viso-motoras y matemáticas. Dado que las mediciones de la capacidad cognitiva, viso-perceptiva, viso-motora, coordinación motora, y matemática pre-escolar dependen de normas que difieren en edad y año de constitución, reclutamos un grupo de comparación de niños nacidos a término para posibilitar la comparación de niños MPT con pares contemporáneos. El desempeño de los niños MPT en todas las mediciones fue corregido para prematurez y en el análisis ajustamos por posibles diferencias confusoras en educación materna (22). Los déficits observados en la capacidad matemática pre-escolar y la percepción visual en niños MPT permanecieron sin cambios después de estas correcciones lo cual indica la robustez de nuestros hallazgos.

El pobre logro en matemática de los pre-escolares MPT estuvo completamente explicado por sus déficits visuo-perceptivos. Las evaluaciones matemáticas pre-escolares descritas en el presente estudio están diseñadas para medir la maestría de la capacidad de razonamiento numérico incluyendo identificación, selección, y conteo, de objetos presentados en papel (6, 8). Los niños son, por ejemplo, interrogados sobre qué cubos tienen el mismo peso (6). Tales tareas no

reposan tanto sobre habilidades motoras que puedan explicar la diferencia entre nuestros hallazgos y los de Hasler et al. (2017), quien encontró un significativo efecto de las habilidades viso-motoras y viso-perceptivas en la capacidad matemática pre-escolar (9).

En los niños muy PT a los 5 años, las habilidades viso-perceptivas pueden ser todavía inmaduras colocándolos detrás de sus pares cuando se enfrentan con mediciones matemáticas pre-escolares que son muy demandantes de estas habilidades. La inmadurez de tales habilidades visoperceptivas puede llevar a dificultades para discriminar figuras en tamaño y número. Esta inmadurez ha sido mostrada antes por Geldof et al. (2012), que en su meta-análisis encontró que los niños MPT mostraron déficits en habilidades viso-espaciales, y también es paralela a los hallazgos de Hellgren et al. (2013), que examinó las habilidades para discriminación y conteo empleando evaluaciones digitales (10, 23). En su estudio, los niños MPT de 6 años de edad tuvieron más dificultad para estimar y comparar el número de puntos en dos diferentes colores presentados en una pantalla (muy rápido para contar), que los niños nacidos a término, aún controlando para nivel cognitivo general, atención visual, memoria de trabajo, y velocidad de procesamiento (23).

Tabla 1. ANTECEDENTES NEONATALES Y CARACTERÍSTICAS SOCIODEMOGRÁFICAS A LA EDAD DE 5 AÑOS DE LOS NIÑOS QUE FUERON MUY PREMATUROS (N=54) Y NIÑOS NACIDOS A TÉRMINO (N=28)

	Niños nacidos muy prematuros		Niños nacidos a término		p		
Edad en años promedio (rango)	5.3	(5.1-5.8)	5.5	(5.0-6.2)	<0.01		
Edad corregida en años promedio (rango)	5.1	(4.9-5.5)	5.5	(5.0-6.2)	<0.01		
Género masculino n %	31	57.4	14	50	n.s.		
Edad gestacional promedio DE, rango, (SDG)	28.2	1.5	25.6-31.4	39.5	1.1	38.0-42.0	<0.01
Peso al nacer promedio DE rango (gr.)	1074.6	261.2	550-1590	3441-1	398.0	2920-4350	<0.01
Pequeño para edad gestacional							
<P 10 n %	11	20.4					
< P2,3, n, %	2	3.7					
Necesidad de soporte ventilatorio, n, %	27	50.0					
SDR con uso de surfactante, n, %	19	35.2					
Soporte de oxígeno a las 36 ESPM (DBP) n, %	7	13.0					
Enterocolitis necrotizante (grado II/III), n, %	5	9.3					
Daño cerebral <sup>a</sup> , n %	5	9.3					
Parálisis cerebral (GMFCS I), n %	2	3.7					
Retinopatía del prematuro (> grado II), n, (%)	1	1.9					
Uso de lentes, n %	5	9.3		0	0.0		
Educación maternal, n, %							0.00
Alta	15	27.8		16	57.1		0.01
Intermedia	30	55.6		5	17.8		0.00
Baja	9	16.7		7	25.0		0.37
Multilingüe	11	20.4		4	14.3		0.50

DE: desviación estándar; SDG, edad en semanas de gestación post menstrual; GMFCS, Sistema de Clasificación de Función Motora Gruesa; n.s., no significativo.

<sup>a</sup> Daño cerebral incluye: hemorragia intraventricular  $\geq$  grado II, leucomalacia periventricular  $\geq$  grado II, dilatación ventricular posthemorrágica.

<sup>b</sup> No hubo más niños con daño severo en función visual.



**Tabla 2**

**Tiempo de evaluación y puntuaciones en matemáticas en edad preescolar en niños que fueron muy prematuros y en niños de término**

	Niños nacidos muy prematuros (n=54)	Niños nacidos a término (n=28)	P
Grado de preescolar y tiempo de Evaluación.			
Año 1 Mitad del año, n (%)	6 (11.1)	1(3.6)	0.41
Año 1 Final, n (%)	19 (35.2)	4(14.3)	0.05
Año 2 Mitad del año, n (%)	29 (53.7)	17(60.7)	0.54
Año 2 Final, n (%)	0 (0.0)	6(21.4)	<0.01
Habilidades matemáticas en preescolar			
Promedio puntuación z (DE) <sup>a</sup>	-0.13 (1.2)	0.65 (1.3)	0.01
Habilidades matemáticas en preescolar			
Promedio puntuación z (DE) <sup>b</sup>	-0.24 (1.2)	0.63 (1.2)	0.01

<sup>a</sup> Ajustada para educación materna

<sup>b</sup> Igualado por grado escolar al tiempo de la evaluación, ajustado por educación materna

**Tabla 3**

**Resultados del desarrollo de niños que fueron muy prematuros y en niños de término**

	Niños nacidos muy prematuros (n=54)	Niños nacidos a término (n=28)	P
Función cognitiva (WPPSI-III-NL)			
C.I. Escala completa, promedio (DE)	97.3 (12.4)	99.7 (12.4)	0.40
C.I. Verbal, promedio (DE)	97.2 (12.8)	99.8 (12.8)	0.37
C.I. Ejecución, promedio (DE)	98.8 (13.1)	101.3 (13.1)	0.42
Coefficiente de velocidad de procesamiento, promedio (DE)	97.4 (14.2)	98.4 (14.2)	0.78
Función visual motora (Beery VMI)			
Percepción visual, promedio (DE)	98.0 (13.3)	109.2 (13.4)	<0.01
Integración visual motora, promedio (DE)	102.3 (8.4)	103.9 (8.5)	0.40
Coordinación motora, promedio (DE)	100.3 (9.6)	102.7 (9.7)	0.30

DE: desviación estándar

En contraste con estudios previos, los niños MPT en nuestro grupo no mostraron déficits en el CI o integración viso-motora. Esto podría obedecer al hecho de que en nuestro estudio hubo pocos niños con daño cerebral severo o déficits neurosensoriales, sugiriendo que este es un grupo de MPT de riesgo relativamente bajo. Como tal, las generalizaciones hacia la población MPT debieran ser cautelosas.

En el seguimiento neonatal, los niños MPT de bajo riesgo, pueden desempeñarse sin déficits en las evaluaciones cognitivas o viso-motoras comparados con la norma. Sin

embargo, nuestro estudio muestra que si se comparan con pares nacidos a término, los niños MPT pueden tener problemas significativos con la percepción visual. Los déficits en la percepción visual con frecuencia no son detectados con el screening visual de rutina (10). Según los resultados de nuestro estudio, recomendamos el uso de pruebas específicas de procesamiento visual en el seguimiento neonatal. Además, recomendamos el examen rutinario de la capacidad matemática en el seguimiento, o solicitar los resultados de pruebas matemáticas de los colegios, desde el pre-escolar en adelante, ya que esta es un área vulnerable en el desarrollo académico de los niños MPT.

**Tabla 3**  
Resultados del desarrollo de niños que fueron muy prematuros y en niños de término

	Niños nacidos muy prematuros (n=54)	Niños nacidos a término (n=28)	P
Función cognitiva (WPPSI-III-NL)			
C.I. Escala completa, promedio (DE)	97.3 (12.4)	99.7 (12.4)	0.40
C.I. Verbal, promedio (DE)	97.2 (12.8)	99.8 (12.8)	0.37
C.I. Ejecución, promedio (DE)	98.8 (13.1)	101.3 (13.1)	0.42
Coficiente de velocidad de procesamiento, promedio (DE)	97.4 (14.2)	98.4 (14.2)	0.78
Función visual motora (Beery VMI)			
Percepción visual, promedio (DE)	98.0 (13.3)	109.2 (13.4)	<0.01
Integración visual motora, promedio (DE)	102.3 (8.4)	103.9 (8.5)	0.40
Coordinación motora, promedio (DE)	100.3 (9.6)	102.7 (9.7)	0.30

DE: desviación estándar

Una limitación de nuestro estudio fue que nuestro grupo de comparación fue pequeño, y estos niños fueron más frecuentemente enrolados en el segundo año de pre-escolar. Consiguientemente, pudo esperarse que los niños nacidos MPT tuvieran scores standard más bajos en matemática pre-escolar debido a la diferencia de grado. Sin embargo, mostramos que los scores permanecían más bajos para los niños MPT aún después de corregir para el grado pre-escolar y el momento del examen, y los resultados fueron similares en los análisis adicionales de sensibilidad que parearon los scores de niños MPT y los niños de comparación para el grado pre-escolar y el momento de la evaluación. Por lo tanto, nos sentimos seguros al concluir que las habilidades matemáticas de los niños estaban de hecho significativamente afectadas. Otra limitación de nuestro estudio fue la ausencia de un test adicional de desarrollo motor, que podría haber sido útil para validar los resultados en la prueba de Integración Beery Viso-motora. También, otros factores, como la atención ejecutiva y la memoria de trabajo pueden contar para las diferencias en habilidades matemáticas del pre-escolar aparte de las diferencias aquí reportadas en percepción visual entre niños MPT y de término (7, 24).

En conclusión, nuestro estudio mostró que pese a tener un resultado cognitivo en el rango promedio, los niños MPT a los 5 años todavía presentaron habilidades matemáticas sustancialmente menores que sus pares de término, un déficit que estuvo muy basado en sus habilidades viso-perceptivas, remarcando la vulnerabilidad de estos niños en estas áreas de funcionamiento. Nuestros hallazgos subrayan la relevancia del screening visual en edad temprana para habilidades perceptivas visuales y capacidad numérica, posibilitando identificación oportuna de niños en riesgo de dificultades matemáticas y permitiendo intervención temprana.

## REFERENCIAS

- [1] E.S. Twilhaar, J.F. de Kieviet, C.S. Aarnoudse-Moens, R.M. van Elburg, J. Oosterlaan, Academic performance of children born preterm: A meta-analysis and meta-regression, *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2017.
- [2] C.S. Aarnoudse-Moens, J. Oosterlaan, H.J. Duivenvoorden, J.B. van Goudoever, N. Weisglas-Kuperus, Development of preschool and academic skills in children born very preterm, *J. Pediatr.* 158 (1) (2011) 51–56.
- [3] H.G. Taylor, K.A. Espy, P.J. Anderson, Mathematics deficiencies in children with very low birth weight or very preterm birth, *Dev. Disabil. Res. Rev.* 15 (1) (2009) 52–59.
- [4] V. Simms, L. Cragg, C. Gilmore, N. Marlow, S. Johnson, Mathematics difficulties in children born very preterm: current research and future directions, *Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal Ed.* 98 (5) (2013) F457–F463.
- [5] N.C. Jordan, D. Kaplan, C. Ramineni, M.N. Locuniak, Early math matters: kindergarten number competence and later mathematics outcomes, *Dev. Psychol.* 45 (3) (2009) 850–867.
- [6] I. Koerhuis, Rekenen voor kleuter groep 1 en 2, Handleiding. [Reasoning] Arnhem, Cito, (2010).
- [7] B.N. Verdine, C.M. Irwin, R.M. Golinkoff, K. Hirsh-Pasek, Contributions of executive function and spatial skills to preschool mathematics achievement, *J. Exp. Child Psychol.* 126 (2014) 37–51.
- [8] C.S. Aarnoudse-Moens, N. Weisglas-Kuperus, H.J. Duivenvoorden, J.B. van Goudoever, J. Oosterlaan, Executive function and IQ predict mathematical and attention problems in very preterm children, *PLoS One* 8 (2) (2013) e55994.
- [9] H.M. Hasler, N. Akshoomoff, Mathematics ability and related skills in preschoolers born very preterm, *Child Neuropsychol.* (2017) 1–17.
- [10] C.J. Geldof, A.G. van Wassenaer, J.F. de Kieviet, J.H. Kok, J. Oosterlaan, Visual perception and visual-motor integration in very preterm and/or very low birth weight children: a meta-analysis, *Res. Dev. Disabil.* 33 (2) (2012) 726–736.
- [11] T. Perez-Roche, I. Altemir, G. Gimenez, E. Prieto, I. Gonzalez, J.L. Pena-Segura, et al., Effect of prematurity and low birth weight in visual abilities and school performance, *Res. Dev. Disabil.* 59 (2016) 451–457.
- [12] J.F. de Kieviet, J.P. Piek, C.S. Aarnoudse-Moens, J. Oosterlaan, Motor development in very preterm and very low-birth-weight children from birth to adolescence: a meta-analysis, *JAMA* 302 (20) (2009) 2235–2242.
- [13] M.E. Libertus, L. Forsman, U. Aden, K. Hellgren, Deficits in approximate number system acuity and mathematical abilities in 6.5-year-old children born extremely preterm, *Front. Psychol.* 8 (1175) (2017).
- [14] V. Simms, C. Gilmore, L. Cragg, S. Clayton, N. Marlow, S. Johnson, Nature and origins of mathematics difficulties in very preterm children: a different etiology than developmental dyscalculia, *Pediatr. Res.* 77 (2) (2015) 389–395.
- [15] D. Wechsler, J. Hendriksen, P. Hurks (Eds.), WPPSI-III-NL Nederlandstalige bewerking: Technische handleiding [Dutch version of the WPPSI-III-NL: Technical and Interpretive Manual],

2nd ed., Pearson Assessment and Information BV, Amsterdam, the Netherlands, 2010 Dutch adaptation by:

[16] S. Johnson, Cognitive and behavioural outcomes following very preterm birth, *Semin. Fetal Neonatal Med.* 12 (5) (2007) 363–373.

[17] S. van Veen, C.S.H. Aarnoudse-Moens, J. Oosterlaan, L. van Sonderen, T.R. de Haan, A.H. van Kaam, et al., Very preterm born children at early school age: healthcare therapies and educational provisions, *Early Hum. Dev.* 117 (2018) 39–43.

[18] K.E. Beery, N.A. Beery, *Beery VMI, Administration, Scoring and Teaching Manual*, 6th ed., NCS Pearson, Inc., 2010.

[19] M. van der Lubbe, The Use of the Cito Monitoring and Evaluation System for School Self-improvement in the Netherlands, At the 35th IAEA Annual conference Brisbane, Australia, (2009).

[20] N.D. Verhelst, C.A.W. Glas, The one parameter logistic model, in: G.H. Fischer, I.W. Molenaar (Eds.), *Rasch Models*, Springer, New York, 1995, pp. 215–237.

[21] E.S. Potharst, A.G. van Wassenauer, B.A. Houtzager, J.W. van Hus, B.F. Last, J.H. Kok, High incidence of multi-domain disabilities in very preterm children at five years of age, *J. Pediatr.* 159 (1) (2011) 79–85.

[22] S. van Veen, C.S. Aarnoudse-Moens, A.H. van Kaam, J. Oosterlaan, A.G. van Wassenauer-Leemhuis, Consequences of correcting intelligence quotient for prematurity at age 5 years, *J. Pediatr.* 173 (2016) 90–95.

[23] K. Hellgren, J. Halberda, L. Forsman, U. Aden, M. Libertus, Compromised approximate number system acuity in extremely preterm school-aged children, *Dev. Med. Child Neurol.* 55 (12) (2013) 1109.

[24] C.J. Geldof, J.F. de Kieviet, M. Dik, J.H. Kok, A.G. van Wassenauer-Leemhuis, J. Oosterlaan, Visual search and attention in five-year-old very preterm/very low birth weight children, *Early Hum. Dev.* 89 (12) (2013) 983–988.



## Visual perceptive skills account for very preterm children's mathematical difficulties in preschool

Sarit van Veen<sup>a,b,\*</sup>, Aleid G. van Wassenae-Leemhuis<sup>a</sup>, Anton H. van Kaam<sup>a</sup>, Jaap Oosterlaan<sup>b,c,1</sup>, Cornelieke S.H. Aarnoudse-Moens<sup>a,b,c,d,1</sup>

<sup>a</sup> Emma Children's Hospital, Amsterdam UMC, University of Amsterdam, Neonatology, Meibergdreef 9, Amsterdam, the Netherlands

<sup>b</sup> Amsterdam UMC, University of Amsterdam & Vrije Universiteit Amsterdam, Emma Neuroscience Group at Emma Children's Hospital, Department of Pediatrics, Amsterdam Reproduction & Development, Amsterdam, the Netherlands

<sup>c</sup> Amsterdam UMC, Vrije Universiteit Amsterdam, Clinical Neuropsychology Section, de Boelelaan 1117, Amsterdam, the Netherlands

<sup>d</sup> Emma Children's Hospital, Amsterdam UMC, University of Amsterdam, Psychosocial Department, Meibergdreef 9, Amsterdam, the Netherlands

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Child  
Follow-up studies  
Mathematics  
Prematurity  
Preschool  
Visual perception

### ABSTRACT

**Background:** Already in preschool, very preterm (VP) children perform worse than term born-children on preschool mathematical skills tests. Strong associations have been found between preschool mathematical skills, cognition and visual-motor integration.

**Aims:** To compare VP children and their term-born peers on preschool mathematical achievement at the corrected age of five years, and determine whether cognitive, visual-perceptive, visual-motor, and motor-coordination skills, account for any significant differences observed.

**Study design:** Single-center, consecutive cohort study with a term-born comparison group.

**Subjects:** 54 five-year-old VP children and 28 term-born comparison children.

**Outcome measures:** Standardized test for preschool mathematical skills (Dutch pupil monitoring system), cognitive skills (Wechsler Preschool and Primary Scale for Intelligence - third edition), visual-perception, visual-motor integration, and motor-coordination (Beery Visual-Motor Integration test - sixth edition). Group differences were analyzed with ANCOVAs, adjusting for maternal education, preschool grade, and time of assessment. Sobel's mediation analyses tested for possible mediation effects.

**Results:** Preschool mathematical skills and visual perceptive skills were significantly lower in VP children than in term-born children (Cohen's  $d = 0.63$ ,  $p = 0.01$ ; Cohen's  $d = 0.84$ ,  $p < 0.01$ , respectively). Sobel's test indicated a significant mediating effect of visual perceptive skills on the association between VP birth and preschool mathematical skills.

**Conclusions:** At preschool age, VP children have poorer preschool mathematical skills compared to term-born peers; deficits that were fully accounted for by poor visual perceptive skills. Our findings indicate the relevance of screening visual perceptive skills at preschool age, enabling timely identification of children at risk for mathematical difficulties.

### 1. Introduction

In the Netherlands, approximately 1% of all children are born very preterm (VP) (gestational age < 30 weeks). VP children are at high risk for academic difficulties, which are most pronounced in the area of mathematics [1–3]. Mathematical achievement is predictive of overall educational success, future employment and economic productivity [4]. Formal mathematical achievement is preceded by mastery of preschool

mathematical skills [5]. Already in preschool, VP children perform worse than term-born children on mathematical skills [2]. Preschool mathematical skills constitutes of numerical reasoning skills which include the abilities of classifying, sorting and counting of numbers or objects [6]. In term-born children, mastery of such numerical reasoning skills require intact general cognitive skills, visual-motor integrative and spatial skills, and working memory capacity [7]. In VP children literature is scarce as to which neurocognitive functions underlie their

\* Corresponding author at: Emma Children's Hospital, Amsterdam UMC, University of Amsterdam, Psychosocial Department G8-136, Postbox 22660, 1100 DD Amsterdam, the Netherlands.

E-mail address: [s.vanveen@amc.uva.nl](mailto:s.vanveen@amc.uva.nl) (S. van Veen).

<sup>1</sup> Joint authorship.

poor preschool mathematical skills, although previously associations have been found with estimated IQ and visual-motor integration [8,9]. However, both IQ and visual-motor integration are composed constructs that encompass unique subdomains of neurocognitive function. Studying these subdomains separately in their relation to preschool math skills will help to better understand mechanisms leading to VP children's preschool mathematical difficulties.

Deficits in visual-motor integration may either reflect a visual perceptible deficit, a motor coordination deficit, or a deficit in the integration of these components [10]. In VP children, visual perception and motor coordination skills are both affected, with deficits observed already in early childhood, persisting into adolescence [10–12]. At primary school age, VP children's mathematical skills have been previously linked with visual-perception tasks. [13,14] Whether these skills are also linked to mathematical skills at preschool age, has yet to be determined. IQ is composed of language skills, verbal comprehension and reasoning skills, processing speed, non-verbal reasoning, visual perception and organization, visuospatial skills, visual-motor integration skills and the integration of these skills [15]. In VP children, it has been suggested that in particular the deficits in non-verbal reasoning and visuospatial skills, as measured by the performance IQ, are particularly compromised and underlie academic difficulties [16]. Whether deficits in performance IQ in particular account for VP children's difficulties in preschool mathematical skills, has not been examined yet.

The aims of this study were to examine preschool mathematical achievement in VP children and term-born controls at the corrected age of five years and to determine whether cognitive, visual-perceptive, visual-motor, and, or, motor-coordination skills account for any difference in preschool mathematical skills between VP and term children.

## 2. Methods

### 2.1. Study design and participants

The present study was part of a single-center, consecutive cohort study with a comparison group conducted at the Emma's Children's Hospital of the Amsterdam University Medical Centers. Details on the inclusion criteria for VP children, participants and outcomes have been published before [17]. For the purposes of the present study only children in mainstream education were included. The institutional review board of the Amsterdam University Medical Centers approved the study protocol.

Term-born comparison children were recruited from classmates of the participating VP children. These children were assessed at the Emma's Children's Hospital, Amsterdam University Medical Centers. Additional term-born comparison children were recruited from three regular primary schools located near the Amsterdam University Medical Centers. These children were assessed at their schools. The term control group included children without a history of prematurity (gestational age > 37 weeks), and perinatal complications. Parents of all participating children provided written informed consent.

### 2.2. Measures

#### 2.2.1. Cognitive skills

Cognitive skills were assessed using the Dutch version of the third edition of the Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence (WPPSI-III-NL). Age standardized scores for Full Scale Intelligence Quotient (FSIQ), Verbal Intelligence Quotient (VIQ), Performance Intelligence Quotient (PIQ), and Processing Speed Quotient (PSQ) were calculated according to procedures provided in the manual ( $M = 100$ ,  $SD = 15$ ) [15].

#### 2.2.2. Visual perception

Visual perception was assessed using the subtest Visual Perception subtest of the VMI-6th [18]. Children were required to identify the

exact same figure as the top figure, choosing between 2 and 7 resembling figures that differ in accuracy or size. The total number of correctly identified figures was converted into an age standardized score ( $M = 100$ ,  $SD = 15$ ).

#### 2.2.3. Visual-motor integration

Visual-motor integration was assessed by using the subtest Visual-Motor Integration subtest of the Beery Visual-Motor Integration test - sixth edition (VMI-6th) [18]. Children were required to copy several patterns. The total number of correctly copied patterns was converted into an age standard score ( $M = 100$ ,  $SD = 15$ ).

#### 2.2.4. Motor coordination

Motor coordination was assessed by using the subtest Motor Coordination subtest of the VMI-6th [18]. Children were required to trace several stimulus forms with a pencil, measuring their accuracy and ease in tracing. The total number of correctly drawn lines was converted into an age standard score ( $M = 100$ ,  $SD = 15$ ).

#### 2.2.5. Preschool mathematical skills

Preschool mathematical skills were assessed with the Numerical Reasoning test measuring three main concepts: numerical reasoning (counting, recognizing, and estimating), measuring (length, width, substance, and time), and geometry (orienting and localizing) [6]. For this test, children were required to answer verbally asked questions such as: 'which image shows the most birds?' or 'which buckets have the same weight?', and had to underline their answer chosen out of three or four possible answers that were presented as images on a paper [6].

The Numerical Reasoning test is part of the Dutch National Pupil Monitoring System and is administered four times in preschool: at the middle and the end of the first and second grade of preschool [19]. The test is based on an item-response theory and each assessment increases in difficulty level. Test performance is reflected in a standardized score on a unidimensional scale [20]. In order to enable interpretation,  $z$ -scores were calculated by subtracting the scores from the normative mean scores, divided by the normative SD. For the purposes of the present study the preschool mathematical assessment that was closest in time to the neonatal follow-up assessment was used.

#### 2.2.6. Maternal education

Maternal educational level was assessed on a three-point scale, defined by the number of years post elementary education, according to the Central Office of Statistics Netherlands (2004). Cut-off scores were: low: < 6 years; intermediate: 6–8 years; or high: > 8 years [21].

### 2.3. Procedure

For the VP children, IQ, visual-motor integration, and visual perception were assessed by a child psychologist. The child psychologist was not blinded for the degree of prematurity, neonatal history, previous test results of the children, and group membership. Standard scores of tests were calculated based on VP born children's age corrected for prematurity. For the comparison group, assessments were carried out by trained master Psychology students.

During the visit to our follow-up clinic parents were asked consent to contact their child's teacher to provide preschool mathematical skills scores.

### 2.4. Statistics

All analyses were performed using SPSS Statistics version 24.0 (IBM). Demographic data were compared between the VP and comparison children, with Chi-squared tests, or independent sample  $t$ -tests, as appropriate.

Differences in preschool mathematical scores between groups were analyzed with ANCOVAs, with maternal education entered as a

covariate. To ensure that any derived group differences could not be attributed to differences in grade attended, sensitivity analyses were conducted, comparing preschool mathematical scores between groups matched for grade and time of assessment while also adjusting for maternal education.

Group differences for the neurocognitive dependent variables were examined with ANCOVA's, adjusting for maternal education. Mediation analyses were performed, with those neurocognitive variables showing group differences as possible mediators between preterm birth status and preschool mathematical skills. Sobel's technique was used to test the significance of the mediation models. For the mediation analysis, statistical significance was interpreted by applying the Bonferroni correction, which is the significance threshold of 0.05 divided by the number of tests performed. The threshold for statistical significance was set at  $p < 0.05$  (two-tailed), and at  $p < 0.017$  (two-tailed) in the case of Bonferroni corrections for multiple comparisons. Effect sizes were expressed in Cohen's  $f^2$ , with values of 0.02, 0.15 and 0.35 referring to small, medium and large effects, respectively.

### 2.5. Missing data

For two VP children, there were missing data on VMI-6th Visual Perception ( $n = 1$ ) and VMI-6th Motor Coordination ( $n = 2$ ), which resulted from child noncompliance. Missing Value Analyses (Little's Missing Complete At Random (MCAR) test) indicated that data were missing completely at random ( $p = 0.55$ ). Missing data were imputed using the multiple imputation method.

## 3. Results

### 3.1. Participants

Between January 2013 and February 2014, 90 of the 97 invited VP born children were assessed. Parents of 68 children provided informed consent for our study. Six children were enrolled in special education and were therefore not included in the present study because of differences in the methods used to assess preschool mathematical skills. Teachers of eight children did not provide us with preschool mathematical test scores. The final sample of VP children consisted of 54 VP children who did not differ significantly from the 43 non-participants with respect to gender, GA, BW, or any other neonatal characteristics (all  $p$ 's  $> 0.05$ ). Mothers of the non-participants more frequently had a low education compared to the mothers of participants ( $\chi^2 = 6.79$ ,  $p < 0.01$ ). For the comparison group we recruited 31 term-born children, but one child was excluded due to child non-compliance and for two children the teachers did not provide preschool mathematical test scores. The final comparison group consisted of 28 term-born children.

Table 1 presents neonatal and sociodemographic characteristics for the VP born children and term-born children. Term-born children were significantly older at time of assessment ( $p < 0.01$ ).

### 3.2. Preschool mathematical skills

Table 2 depicts the mean preschool mathematical skill scores of the VP and term-born children and the age and grade at assessment of preschool mathematical skills. Preschool mathematical standard scores of the VP children were significantly lower than for term-born children (Cohen's  $d = 0.65$ ;  $p = 0.01$ ). At time of assessment, term children were more frequently in the second grade of preschool than the VP children ( $\chi^2 = 7.39$ ,  $p < 0.01$ ). To ensure that any derived group differences could not be attributed to differences in grade attended and time of assessment, sensitivity analyses were conducted, comparing preschool mathematical scores between groups matched for grade and time of assessment while also adjusting for maternal education. Sensitivity analyses showed comparable results (Cohen's  $d = 0.73$ ;  $p = 0.01$ ).

### 3.3. Cognitive, visual-perceptive, visual-motor, and motor coordination outcomes

Group means for cognitive, visual-perceptive, visual-motor, and motor-coordination outcomes and  $p$ -values for between group differences are presented in Table 3. VP children performed significantly worse than term-born children on the Beery Visual Perception test (Cohen's  $d = 0.84$ ,  $p < 0.01$ ). None of the other neurocognitive dependent variables differed between VP and term-born control children (all  $p$ 's  $> 0.05$ ). Visual Perception was not significantly correlated with Retinopathy for Prematurity (ROP;  $\rho = 0.03$ ,  $p = 0.85$ ) or wearing glasses at age five years ( $\rho = 0.18$ ,  $p = 0.21$ ). ROP was not associated with wearing glasses at age five years ( $\chi^2 = 0.10$ ,  $p = 0.75$ ). Results did not differ when analyses were rerun not adjusting for maternal education.

All comparisons between mean test scores were carried out using Analyses of Covariance, with maternal education as covariate and scores were corrected for prematurity.

WPPSI-III-NL, the Dutch version of the third edition of the Wechsler Preschool and Primary Scale for Intelligence; IQ, intelligence quotient; SD, standard deviation; Beery VMI, Beery Visual-Motor Integration test.

### 3.4. Mediation analysis

To investigate whether Visual Perception significantly mediated the difference in preschool mathematical skills between VP and term-born children we performed a Sobel test (Fig. 1). Path A, B, C', were all significant with medium to large effect sizes ( $p$ 's  $< 0.01$ , Cohen's  $f^2$ 's  $> 0.21$ ). Sobel's test reached significance, indicating a significant mediating effect of Visual Perception on the association between VP birth and preschool mathematical skills (Table 4).

## 4. Discussion

This prospective cohort study showed that five-year-old VP children without major disabilities in preschool did not differ from their term-born peers on general cognitive, visual-motor, and motor coordination tasks, but showed substantial deficits in visual-perceptive and mathematical skills. Since the cognitive, visual perceptive, visual-motor, motor coordination, and preschool mathematical skills measures depend on norms that differ in age and year of constitution, we recruited a term-born comparison group to enable comparison of VP children to contemporary peers. Performance of the VP children on all measures was corrected for prematurity and in analyses we adjusted for possible confounding differences in maternal education [22]. The observed deficits in preschool mathematical skills and visual perception in VP children remained unchanged after these corrections which indicates the robustness of our findings.

Mathematical underachievement in VP preschoolers was fully explained by their visual-perceptive deficits. Preschool mathematical assessments as described in the present study are designed to measure the mastery of numerical reasoning skills including identifying, sorting, and counting, of objects presented on paper [6,8]. Children are, for instance, required to determine which buckets have the same weight [6]. Such tasks do not rely much on motor skills which may explain the difference between our findings and those of Hasler et al. (2017), who found a significant effect of both visual-motor skills and visual-perceptive skills on preschool mathematical skills [9].

In VP children at age five, visual-perceptive skills may still be immature which places them behind peers when confronted with preschool mathematics measures that put high demands on these skills. The immaturity of such visual perceptive skills may lead to difficulties in discriminating figures in size and number. This immaturity has been shown before by Geldof et al. (2012), who in their meta-analyses found that VP children show deficits in visual-spatial abilities, and also parallels the findings of Hellgren et al. (2013), who examined visual



**Table 1**  
Neonatal and sociodemographic background characteristics at age 5 years for VP children (N = 54) and term children (N = 28).

	Very preterm children		Term children		<i>p</i>
Age in years, mean (range)	5.3	(5.1–5.8)	5.5	(5.0–6.2)	< 0.01
Corrected age in years, mean (range)	5.1	(4.9–5.5)	5.5	(5.0–6.2)	< 0.01
Boys, n, %	31	57.4	14	50.0	n.s.
Gestational age, mean, SD, range (weeks)	28.2	1.5	39.5	1.1	< 0.01
Birth weight, mean, SD, range (grams)	1074.6	261.2	3441.1	398.0	< 0.01
Small for gestational age					
< P10, n, %	11	20.4			
< P2,3, n, %	2	3.7			
Need for any ventilator support, n, %	27	50.0			
Respiratory Distress with the use of surfactant, n, %	19	35.2			
Oxygen support at 36 weeks PMA (BPD), n, %	7	13.0			
Necrotizing Enterocolitis (grade II/III) <sup>a</sup> , n, %	5	9.3			
Brain damage <sup>c</sup> , n (%)	5	9.3			
Cerebral Palsy (GMFCS I), n (%)	2	3.7			
Retinopathy of Prematurity (> grade II), n (%)	1	1.9			
Wearing glasses <sup>b</sup> , n (%)	5	9.3	0	0.0	
Maternal Education, n, %					0.00
High	15	27.8	16	57.1	0.01
Intermediate	30	55.6	5	17.8	0.00
Low	9	16.7	7	25.0	0.37
Multilingual, n (%)	11	20.4	4	14.3	0.50

SD; standard deviation; PMA, post menstrual age; GMFCS, Gross Motor Function Classification System; y, years; n.s., non-significant.

<sup>a</sup> Brain damage includes: intraventricular haemorrhage ≥ grade II, periventricular leukomalacia ≥ grade II, post haemorrhagic ventricle dilatation.

<sup>b</sup> There were no children with more severe impairments in visual functionality.

**Table 2**  
Time of assessment and preschool mathematical standard scores of the VP and term children.

	VP children (n = 54)	Term children (n = 28)	<i>p</i>
Preschool grade and time of assessment			
Year 1: Middle, n (%)	6 (11.1)	1 (3.6)	0.41
Year 1: End, n (%)	19 (35.2)	4 (14.3)	0.05
Year 2: Middle, n (%)	29 (53.7)	17 (60.7)	0.54
Year 2: End, n (%)	0 (0.0)	6 (21.4)	< 0.01
Preschool mathematical skills, mean z-score (SD) <sup>a</sup>	-0.13 (1.2)	0.65 (1.3)	0.01
Preschool mathematical skills, mean z-score (SD) <sup>b</sup>	-0.24 (1.2)	0.63 (1.2)	0.01

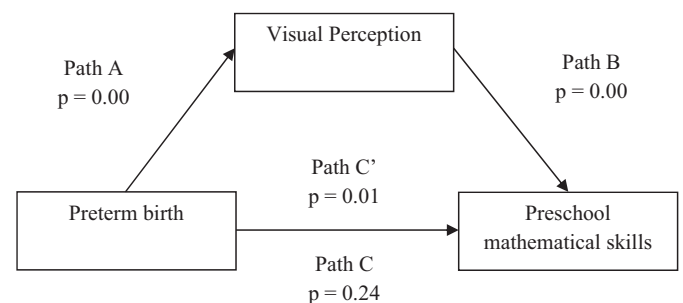
<sup>a</sup> Adjusted for maternal education.

<sup>b</sup> Matched for preschool grade and time of assessment, adjusted for maternal education.

**Table 3**  
Developmental outcomes of VP and term children.

	VP children (n = 54)	Term children (n = 28)	<i>p</i>
Cognitive function (WPPSI-III-NL)			
Full Scale IQ, mean (SD)	97.3 (12.4)	99.7 (12.4)	0.40
Verbal IQ, mean (SD)	97.2 (12.8)	99.8 (12.8)	0.37
Performance IQ, mean (SD)	98.8 (13.1)	101.3 (13.1)	0.42
Processing Speed Quotient, mean (SD)	97.4 (14.2)	98.4 (14.2)	0.78
Visual-Motor function (Beery VMI)			
Visual Perception, mean (SD)	98.0 (13.3)	109.2 (13.4)	< 0.01
Visual-Motor Integration, mean (SD)	102.3 (8.4)	103.9 (8.5)	0.40
Motor Coordination, mean (SD)	100.3 (9.6)	102.7 (9.7)	0.30

discriminative and counting abilities using digital assessments [10,23]. In their study, six-year-old VP children had more difficulty estimating and comparing the number of dots in two different colors presented on a screen (too quickly to count), than term-born children, even when controlling for general cognitive level, visual attention, working



**Fig. 1.** Mediation model: the mediating effect of visual perception on the relation between very preterm birth and preschool mathematical skills.

memory, and processing speed [23].

In contrast with previous studies, the VP children in our study group did not show impairments in IQ or visual-motor integration. This might be due to the fact that in our study group there were few children with severe brain damage or neurosensory impairments, suggesting this is a relatively low-risk group of VP children. As such, generalizations to the entire VP population should be carefully made.

In neonatal follow-up, low-risk VP children may perform unimpaired on cognitive and visual-motor measures if compared to the norms. However, our study shows that if compared to term-born peers, VP children may have significant problems with visual perception. Deficits in visual perception are often not detected with routine vision screening [10]. Given the results of our study, we recommend the use of specific visual processing tests in neonatal follow-up. In addition, we recommend to routinely assess mathematical skills in neonatal follow-up, or requests mathematical test results from schools, from preschool onwards, as this is a vulnerable domain in the academic development of VP children.

A limitation of our study was that our comparison group was small, and these children were more frequently enrolled in the second year of preschool. Consequently, VP born children were expected to have lower preschool mathematical standard scores due to the difference in preschool grade. However, we showed that preschool mathematical skills were still lower for VP children while correcting for preschool grade and time of assessment, and results were similar in the additionally



**Table 4**  
Results of mediation analysis for preschool mathematical skills.

	Path A		Path B		Path C'		Test of mediation		Path C (adjusted for indirect path)	
	a (Sa)	p	b (Sb)	p	c (Sc)	p	Z	p	c (Sc)	p
Visual Perception	-12.2 (3.1)	< 0.01	0.03 (0.01)	< 0.01	-0.68 (0.27)	0.01	-2.5	0.01	-0.33 (0.28)	0.24

Path A: effect of VP birth status on the mediator Visual Perception. Path B: effect of the mediator on preschool mathematical skills. Path C': effect of VP birth status on preschool mathematical skills. Path C (adjusted for indirect path): effect of VP birth on preschool mathematical skills adjusted for indirect path by path A and path B. a, b, c: unstandardized path coefficients. Sa, Sb, Sc: standard errors of the path coefficients. All outcomes are adjusted for maternal education. All analyses with preschool mathematical skills were corrected for preschool grade and time of assessment.

conducted sensitivity analyses that matched the scores of VP and comparison children for preschool grade and time of assessment. We therefore feel safe to conclude that preschool mathematical skills of the VP were indeed significantly affected. A further limitation of our study was the absence of an additional motor development test, which could have been useful to validate the results on the Beery Visual-Motor Integration test. Also, other factors, such as executive attention and working memory may account for the differences in preschool mathematical skills besides the here reported differences in visual perception between VP and term-born children [7,24].

In conclusion, our study showed that despite having cognitive outcomes in the average range, VP children at age five years still had substantially poorer preschool mathematical skills compared to term-born peers, a deficit that was highly reliant on their visual perceptible skills, stressing these children's vulnerability in these areas of functioning. Our findings underpin the relevance of screening visual perceptible abilities and numerical skills at early age, enabling timely identification of children at risk for mathematical difficulties and allowing early intervention.

## Funding

This work was supported by the Emma Foundation (grant number 2015.168); and the Janivo Foundation (grant number 2015-002).

## Declarations of interest

None.

## Acknowledgments

We thank all elementary schools, parents and children who participated in this study.

## References

- [1] E.S. Twilhaar, J.F. de Kieviet, C.S. Aarnoudse-Moens, R.M. van Elburg, J. Oosterlaan, Academic performance of children born preterm: A meta-analysis and meta-regression, *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2017.
- [2] C.S. Aarnoudse-Moens, J. Oosterlaan, H.J. Duivendoorn, J.B. van Goudoever, N. Weisglas-Kuperus, Development of preschool and academic skills in children born very preterm, *J. Pediatr.* 158 (1) (2011) 51–56.
- [3] H.G. Taylor, K.A. Espy, P.J. Anderson, Mathematics deficiencies in children with very low birth weight or very preterm birth, *Dev. Disabil. Res. Rev.* 15 (1) (2009) 52–59.
- [4] V. Simms, L. Cragg, C. Gilmore, N. Marlow, S. Johnson, Mathematics difficulties in children born very preterm: current research and future directions, *Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal Ed.* 98 (5) (2013) F457–F463.
- [5] N.C. Jordan, D. Kaplan, C. Ramineni, M.N. Locuniak, Early math matters: kindergarten number competence and later mathematics outcomes, *Dev. Psychol.* 45 (3) (2009) 850–867.
- [6] I. Koerhuis, Rekenen voor kleuter groep 1 en 2, Handleiding. [Reasoning] Arnhem, Cito, (2010).
- [7] B.N. Verdine, C.M. Irwin, R.M. Golinkoff, K. Hirsh-Pasek, Contributions of executive function and spatial skills to preschool mathematics achievement, *J. Exp. Child Psychol.* 126 (2014) 37–51.
- [8] C.S. Aarnoudse-Moens, N. Weisglas-Kuperus, H.J. Duivendoorn, J.B. van Goudoever, J. Oosterlaan, Executive function and IQ predict mathematical and attention problems in very preterm children, *PLoS One* 8 (2) (2013) e55994.
- [9] H.M. Hasler, N. Akshoomoff, Mathematics ability and related skills in preschoolers born very preterm, *Child Neuropsychol.* (2017) 1–17.
- [10] C.J. Geldof, A.G. van Wassenae, J.F. de Kieviet, J.H. Kok, J. Oosterlaan, Visual perception and visual-motor integration in very preterm and/or very low birth weight children: a meta-analysis, *Res. Dev. Disabil.* 33 (2) (2012) 726–736.
- [11] T. Perez-Roche, I. Altemir, G. Gimenez, E. Prieto, I. Gonzalez, J.L. Pena-Segura, et al., Effect of prematurity and low birth weight in visual abilities and school performance, *Res. Dev. Disabil.* 59 (2016) 451–457.
- [12] J.F. de Kieviet, J.P. Piek, C.S. Aarnoudse-Moens, J. Oosterlaan, Motor development in very preterm and very low-birth-weight children from birth to adolescence: a meta-analysis, *JAMA* 302 (20) (2009) 2235–2242.
- [13] M.E. Libertus, L. Forsman, U. Aden, K. Hellgren, Deficits in approximate number system acuity and mathematical abilities in 6.5-year-old children born extremely preterm, *Front. Psychol.* 8 (1175) (2017).
- [14] V. Simms, C. Gilmore, L. Cragg, S. Clayton, N. Marlow, S. Johnson, Nature and origins of mathematics difficulties in very preterm children: a different etiology than developmental dyscalculia, *Pediatr. Res.* 77 (2) (2015) 389–395.
- [15] D. Wechsler, J. Hendriksen, P. Hurks (Eds.), WPPSI-III-NL Nederlandstalige bewerking: Technische handleiding [Dutch version of the WPPSI-III-NL: Technical and Interpretive Manual], 2nd ed., Pearson Assessment and Information BV, Amsterdam, the Netherlands, 2010 Dutch adaptation by:.
- [16] S. Johnson, Cognitive and behavioural outcomes following very preterm birth, *Semin. Fetal Neonatal Med.* 12 (5) (2007) 363–373.
- [17] S. van Veen, C.S.H. Aarnoudse-Moens, J. Oosterlaan, L. van Sonderen, T.R. de Haan, A.H. van Kaam, et al., Very preterm born children at early school age: healthcare therapies and educational provisions, *Early Hum. Dev.* 117 (2018) 39–43.
- [18] K.E. Beery, N.A. Beery, Beery VMI, Administration, Scoring and Teaching Manual, 6th ed., NCS Pearson, Inc., 2010.
- [19] M. van der Lubbe, The Use of the Cito Monitoring and Evaluation System for School Self-improvement in the Netherlands, At the 35th IAEA Annual conference Brisbane, Australia, (2009).
- [20] N.D. Verhelst, C.A.W. Glas, The one parameter logistic model, in: G.H. Fischer, I.W. Molenaar (Eds.), *Rasch Models*, Springer, New York, 1995, pp. 215–237.
- [21] E.S. Potharst, A.G. van Wassenae, B.A. Houtzager, J.W. van Hus, B.F. Last, J.H. Kok, High incidence of multi-domain disabilities in very preterm children at five years of age, *J. Pediatr.* 159 (1) (2011) 79–85.
- [22] S. van Veen, C.S. Aarnoudse-Moens, A.H. van Kaam, J. Oosterlaan, A.G. van Wassenae-Leemhuis, Consequences of correcting intelligence quotient for prematurity at age 5 years, *J. Pediatr.* 173 (2016) 90–95.
- [23] K. Hellgren, J. Halberda, L. Forsman, U. Aden, M. Libertus, Compromised approximate number system acuity in extremely preterm school-aged children, *Dev. Med. Child Neurol.* 55 (12) (2013) 1109.
- [24] C.J. Geldof, J.F. de Kieviet, M. Dik, J.H. Kok, A.G. van Wassenae-Leemhuis, J. Oosterlaan, Visual search and attention in five-year-old very preterm/very low birth weight children, *Early Hum. Dev.* 89 (12) (2013) 983–988.