

DESARROLLO DEL CONTROL POSTURAL

<p>Introducción</p> <p>Control Postural y Desarrollo</p> <p>Hitos Motores y Surgimiento del Control Postural</p> <p>Teorías del Desarrollo del Control Postural</p> <p>Teoría Refleja/Jerárquica</p> <p>Reflejos Posturales en Humanos</p> <p>Desarrollo</p> <p>Reflejo de Actitud</p> <p>Reacciones de Enderezamiento</p> <p>Equilibrio y Reacciones Protectoras</p> <p>Función de los Reflejos en el Desarrollo</p> <p>Nuevos Modelos de Desarrollo</p> <p>Evaluación Basada en Modelos Modernos</p> <p>Desarrollo del Control Postural: Una Perspectiva de Sistemas</p> <p>Surgimiento del Control Cefálico</p> <p>Coordinación Motora</p> <p>Contribuciones Sensoriales</p> <p>Relación de Teorías Refleja y de Sistemas</p>	<p>Surgimiento de la Posición Sedente Libre</p> <p>Coordinación Motora</p> <p>Contribuciones Sensoriales</p> <p>Relación de Teorías Refleja y de Sistemas</p> <p>Transición a Bipedestación Independiente</p> <p>Coordinación Motora</p> <p>Función de la Fuerza</p> <p>Desarrollo de Sinergias Musculares</p> <p>Contribuciones Sensoriales</p> <p>Desarrollo de la Capacidad Adaptativa</p> <p>Relación de Teorías Refleja y de Sistemas</p> <p>Perfeccionamiento del Control Bípedo</p> <p>Coordinación Motora</p> <p>Bipedestación Inmóvil</p> <p>Control Postural Compensatorio</p> <p>Contribuciones Sensoriales</p> <p>Desarrollo de la Adaptación Sensorial</p> <p>Desarrollo de Acciones Posturales Anticipatorias</p> <p>Resumen</p>
--	--

INTRODUCCIÓN

Durante los primeros años de vida, un niño desarrolla un increíble repertorio de habilidades, que incluyen arrastrarse, caminar y correr en forma independiente, escalar, la coordinación mano - ojo y la manipulación de objetos de diferentes maneras. El surgimiento de todas estas habilidades requiere el desarrollo de una actividad postural para apoyar los primeros movimientos.

Para comprender la aparición de la movilidad y de las habilidades manipulatorias en los niños, los terapeutas necesitan entender la base postural de estas capacidades. De forma similar, comprender el mejor método terapéutico para un niño con dificultades para caminar o tomar objetos requiere el conocimiento de cualquier limitación de sus capacidades posturales. Por lo tanto, comprender la base del control postural es el primer paso para determinar el mejor método terapéutico para mejorar las destrezas relacionadas.

Este capítulo analiza la investigación sobre el desarrollo del control postural y cómo contribuye a la aparición de la estabilidad y de las habilidades motoras. Capítulos posteriores plantean las

implicancias de esta investigación al momento de evaluar el control postural.

Control Postural y Desarrollo

Primero examinemos una parte de la evidencia que demuestra que el control postural es un elemento esencial del desarrollo motor. La investigación sobre el principio del desarrollo ha demostrado que el perfeccionamiento simultáneo de los sistemas postural, locomotor y manipulatorio es fundamental para la aparición y progreso de las habilidades de todas estas áreas. En el neonato, cuando se estabilizan los movimientos caóticos de la cabeza que normalmente perturban el equilibrio sedente del infante, surgen los movimientos y comportamientos que habitualmente se observan en infantes mayores (1). Por ejemplo, como se muestra en la Figura 7.1, el recién nacido puede comenzar a poner atención al examinador, tomar objetos y mantener los brazos a los lados, con los dedos extendidos, sugiriendo una inhibición de los reflejos de prensión y de Moro.

Estos resultados apoyan el concepto de que un sistema postural inmaduro es un factor limitante

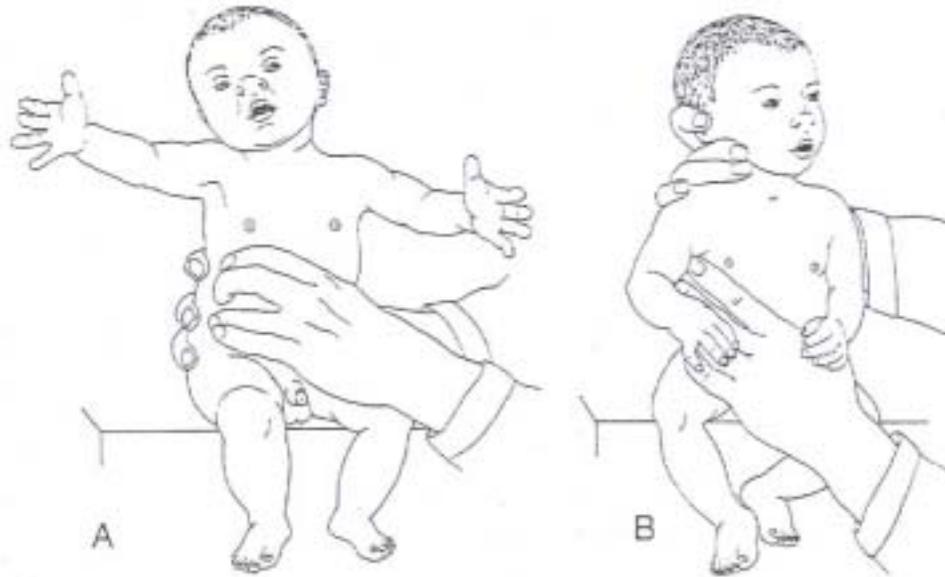


Figura 7.1. Estabilizar la cabeza de un neonato puede producir drásticos cambios en el comportamiento. **A**, Movimientos cefálicos incontrolados producen una respuesta de Moro. **B**, Apoyo externo del tronco y cabeza de un niño origina comportamientos más maduros incluyendo atender a personas y objetos e incluso tratar de alcanzarlos. (Adaptado de Amiel-Tison C, Grenier A. Neurological evaluation of the human infant. New York: Masson, 1980: 81.)

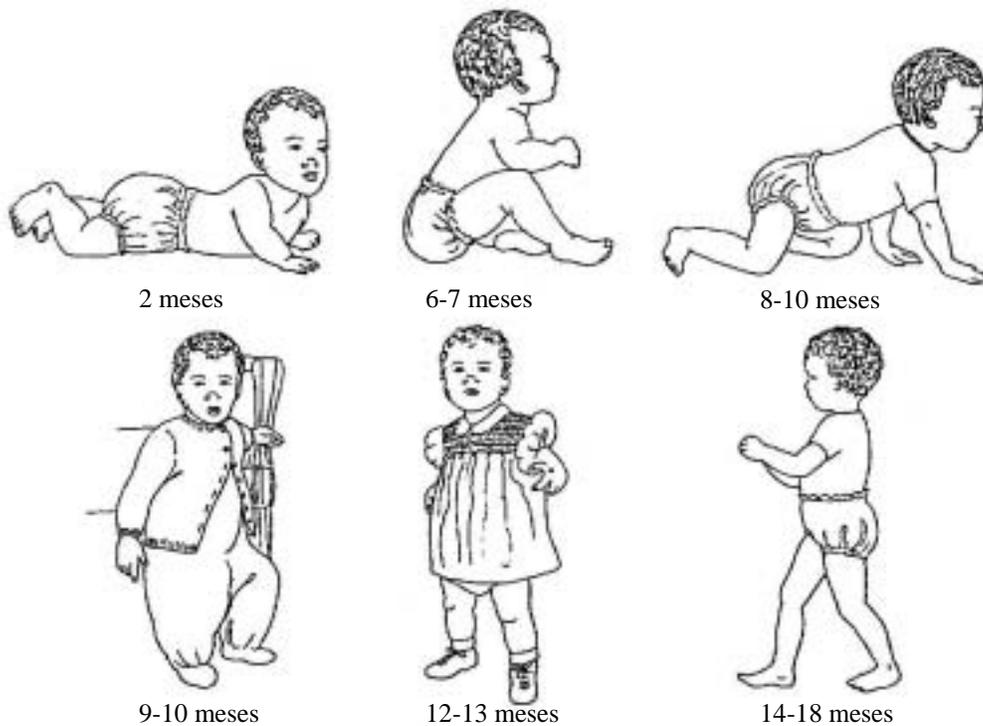


Figura 7.2. Hitos motores que surgen con el desarrollo del control postural. (Adaptado de Shumway-Cook A, Wollacott M. Theoretical issues in assessing postural control. En: Willhelm I, ed. Physical therapy assessment in early infancy. NY: Churchill Livingstone, 1993: 163.)

o una *restricción* para la aparición de otros comportamientos como los movimientos coordinados de brazo y mano, así como la inhibición de reflejos. Asimismo, se ha propuesto que un desarrollo retardado o anormal del sistema postural también puede restringir la capacidad de un niño de desarrollar habilidades motoras y manipulatorias independientes.

Hitos Motores y Surgimiento del Control Postural

Tradicionalmente, el desarrollo del control postural se ha asociado con una secuencia predecible de comportamientos motores llamados *hitos motores*. Algunos de los principales sucesos en el desarrollo se ilustran en la Figura 7.2. Estos incluyen arrastrarse, sentarse, gatear, impulsarse para ponerse de pie, bipedestación independiente y caminar. Diversos investigadores del desarrollo han descrito la secuencia y el ritmo de la aparición de estos hitos.

En 1946, Arnold Gesell, un pediatra, describió la aparición de patrones generales de comportamiento en los primeros años de vida. Señaló que la dirección general del desarrollo conductual era como un movimiento de la cabeza a los pies, y de proximal a distal dentro de los segmentos. De este modo, formuló la *ley de la dirección del desarrollo* (2).

Además, Gesell representó el desarrollo como una jerarquía en espiral. Sugirió que el desarrollo de movimientos finos no sigue una secuencia lineal estricta, siempre en avance, que mejora constantemente con el tiempo y la madurez. En cambio, Gesell creía que el desarrollo tiene una naturaleza mucho más dinámica y parece caracterizarse por la alternancia de avance y retroceso en la capacidad del desempeñar acciones.

Gesell dio el ejemplo de los niños que aprenden a arrastrarse y luego a gatear. Al principio, cuando aprenden a arrastrarse, el niño utiliza principalmente un patrón de brazo simétrico, finalmente cambia a un patrón alternativo de brazo más complejo a medida que se perfecciona la capacidad para arrastrarse. Cuando el niño comienza a gatear por primera vez, se produce un regreso al patrón de brazo simétrico. Finalmente, cuando se perfecciona el gateo, ocurre la aparición de un patrón de brazo alternativo.

Así, a medida que los niños progresan en cada nueva etapa del desarrollo de una habilidad, puede parecer que retroceden a una forma anterior del comportamiento cuando surgen versiones nuevas, más maduras y adaptativas de estas habilidades.

La mayoría de las escalas de evaluación tradicionales para evaluar la aparición de comportamientos motores emplean normas de desarrollo establecidas por McGraw (3) y Gesell. Utilizando estas escalas, los terapeutas evalúan el desempeño de un infante o niño para habilidades funcionales que requieren control postural. Estas incluyen el sentarse, pararse, caminar sin apoyo, alcanzar objetos y cambiar de una posición sedente a bípeda. Las evaluaciones siguen un desarrollo normal y son utilizadas para identificar niños con riesgo de trastornos de desarrollo.

TEORÍAS DEL DESARROLLO DEL CONTROL POSTURAL

¿Cuál es la base para el desarrollo del control postural tras esta secuencia predecible de comportamientos motores? Diversas teorías sobre el desarrollo de los niños tratan de relacionar la estructura neuronal y el comportamiento de infantes en desarrollo. Las teorías clásicas sobre el desarrollo dan gran importancia a un sustrato reflejo para la aparición de patrones maduros de comportamiento humano. Esto significa que en un niño normal la aparición del control postural y motor depende de la aparición y subsiguiente integración de reflejos. De acuerdo con estas teorías, la aparición y desaparición de estos reflejos reflejan la creciente madurez de las estructuras corticales que inhiben e integran reflejos controlados por los niveles inferiores del SNC en respuestas posturales y motoras más funcionales y voluntarias (véase Fig. 1.6 en el Capítulo 1). Esta teoría clásica ha sido llamada teoría refleja /jerárquica (4, 5).

De forma alternativa, teorías más recientes del control motor, como la de sistemas, del medio ambiente y dinámica, han sugerido que el control postural surge de una compleja interacción de los sistemas musculoesquelético y neuronal denominados en conjunto sistema de control postural. La organización de elementos dentro de

este sistema está determinada por la actividad y el entorno. La teoría de sistemas no niega la existencia de los reflejos, pero los considera como sólo una de las muchas influencias para el control postural y motor.

Revisemos brevemente los reflejos que han sido asociados con la aparición del control postural.

Teoría Refleja-Jerárquica

Los reflejos posturales fueron estudiados en la primera mitad de este siglo por investigadores como Magnus (6), DeKleijn (7), Rademaker (8) y Schalterbrand (9). En este primer trabajo, los investigadores lesionaron selectivamente diferentes partes del SNC y examinaron la capacidad de un animal para orientarse. Magnus y sus colegas disminuyeron la capacidad de un animal a lo que denominaron *condición cero*, una situación en la cual no puede efectuarse ninguna actividad refleja. Otros animales sufrieron lesiones selectivas, dejando sistemáticamente más y más secciones del SNC sanas. De esta forma, Magnus identificó, en forma individual y colectiva, todos los reflejos que trabajaban en conjunto para mantener la orientación postural en diversas clases de animales.

Magnus clasificó los reflejos posturales de

animales como reacciones locales estáticas, reacciones segmentarias estáticas, reacciones generales estáticas y reacciones de enderezamiento. Las **reacciones locales estáticas** endurecen la extremidad del animal para sostener el peso corporal contra la gravedad. Las **reacciones segmentarias estáticas** implican más de un segmento del cuerpo e incluyen el reflejo flexor de retirada y el reflejo de extensión cruzada. Las **reacciones generales estáticas**, llamadas *reflejo de actitud*, involucran cambios en la posición de todo el cuerpo en respuesta a variaciones en la posición de la cabeza. Finalmente, Magnus describió una serie de cinco **reacciones de enderezamiento**, las cuales le permitían al animal comenzar o reanudar una especie de orientación específica del cuerpo respecto al entorno.

REFLEJOS POSTURALES EN EL DESARROLLO HUMANO

El análisis de los reflejos se ha vuelto una parte esencial del estudio del desarrollo motor. Muchos investigadores han tratado de documentar detalladamente el marco cronológico de la aparición y desaparición de reflejos en niños normales, con resultados muy variados. Existe poco acuerdo sobre

Fuente	Edad (Meses)											
	Pre-mat.	Rec. Nac.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Magnus y De Kleijn	○	○	○	○	○	○	○	○				
Schaltenbrand												
Landau					*							
Gesell y Ames									○	○		
Precht y Beintema					?	?						
Milani-Comparetti												
Bobath												
Illingworth												
Peiper e Isbert									○	○	○	

Figura 7.3. Resumen de diversos estudios que analizaron la presencia y evolución cronológica del reflejo tónico asimétrico en el desarrollo normal. O = ausencia del reflejo. (Adaptado de Capute AJ, Accardo PJ, Vining EPG, et al. Primitive reflex profile. Baltimore: University Press, 1978: 36.)

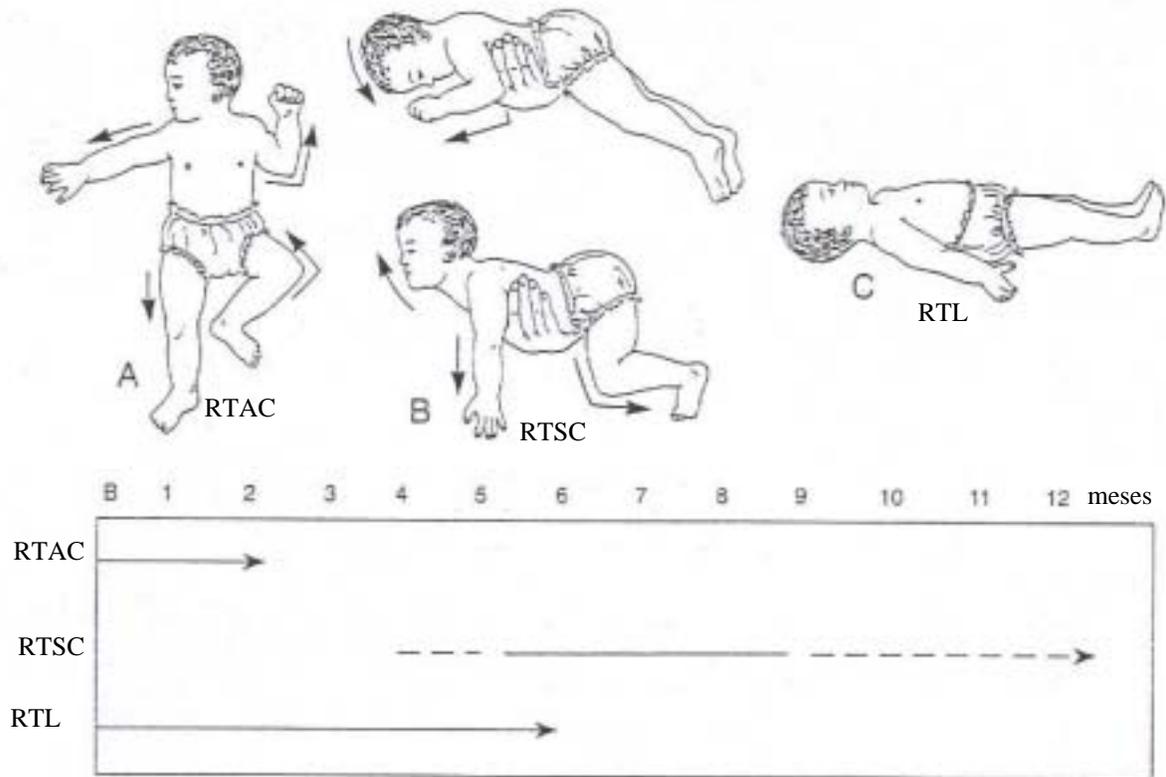


Figura 7.4. Los reflejos de actitud. **A**, El RTAC produce una extensión en el brazo frente a la cara y flexión en el brazo frente al cráneo cuando la cabeza se voltea. **B**, RTSC produce la extensión de las extremidades superiores y flexión de las inferiores cuando se extiende la cabeza. **C**, El reflejo tónico laberíntico produce un aumento en el tono del extensor cuando el cuerpo está en posición supina y flexión cuando está en decúbito prono. También se muestra la evolución cronológica de estos reflejos. (Adaptado de Barnes MR, Crutchfield CA, Heriza CB. *The neurophysiological basis of patient treatment*. Morgantown, W VA: Stokesville Publishing, 1978: 222.

la presencia y evolución temporal de estos reflejos o sobre su importancia para el desarrollo normal o anormal (10).

La Figura 7.3 resume los resultados de una cantidad de estudios que examinan la presencia y evolución temporal del reflejo tónico asimétrico del cuello en el desarrollo normal. Esta tabla muestra un desacuerdo evidente sobre si este reflejo está presente en la infancia y en cuanto a la evolución temporal de su aparición y desaparición.

Reflejo de Actitud

Según la teoría refleja del control postural, los reflejos tónicos de actitud producen cambios persistentes en la postura corporal, resultado de un cambio en la posición de la cabeza. Estos reflejos no son necesarios en niños normales, sino que se

han observado en niños con diversos tipos de patologías neuronales. Estos reflejos incluyen (a) el **reflejo tónico asimétrico del cuello (RTAC)** (Fig. 7.4A), (b) el **reflejo tónico simétrico del cuello (RTSC)** (Fig. 7.4B) y (c) el **reflejo tónico laberíntico (RTL)** (Fig. 7.4C) (11).

Reacciones de Enderezamiento

Según un modelo reflejo-jerárquico, la interacción de las cinco reacciones de enderezamiento genera la orientación de la cabeza en el espacio y del cuerpo en relación con la cabeza y la base. Las reacciones de enderezamiento son consideradas reacciones automáticas que permiten que la persona adopte la posición erguida normal y mantenga el equilibrio al cambiar de posición (12).

Las tres reacciones de enderezamiento que

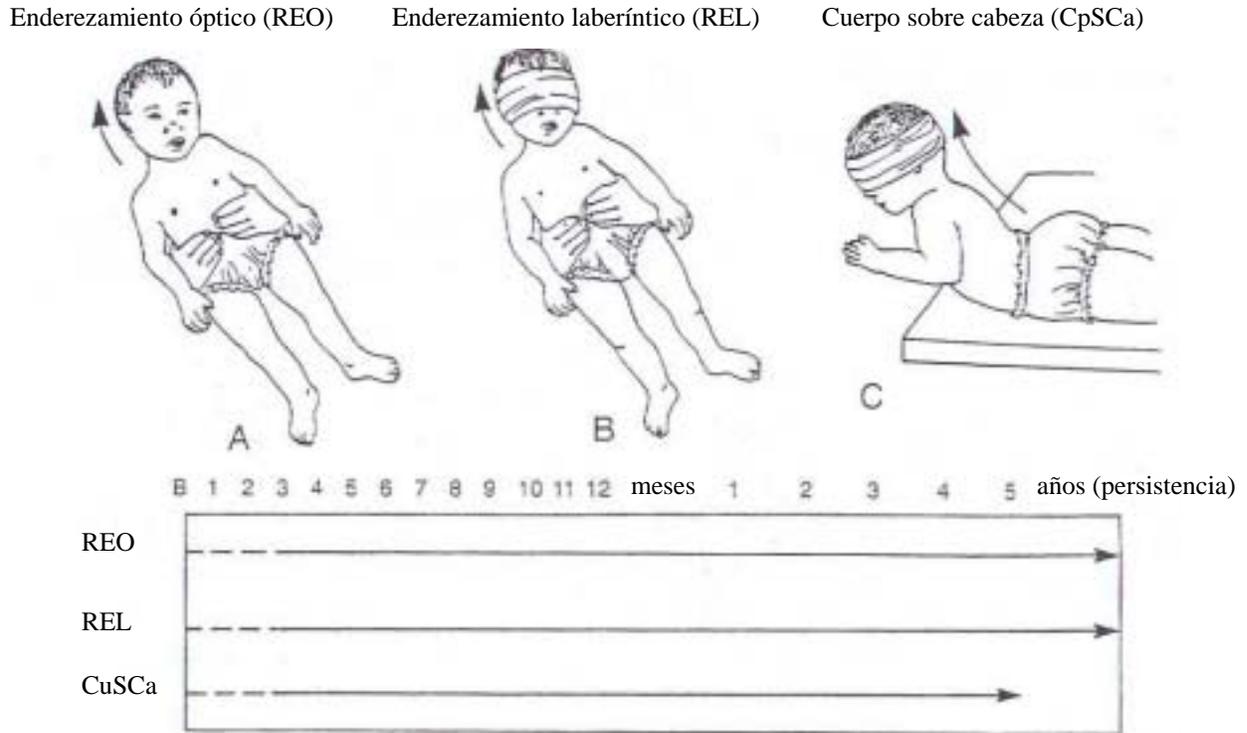


Figura 7.5. Las reacciones de enderezamiento que orientan la cabeza. **A**, La reacción de enderezamiento óptico orienta la cabeza según la visión. **B**, La reacción de enderezamiento laberíntica orienta la cabeza en respuesta a señales vestibulares. **C**, La reacción de enderezamiento cuerpo sobre cabeza emplea información propioceptiva del tacto y cuello para orientar la cabeza. También se muestra la evolución de estos reflejos. (Adaptado de Barnes MR, Crutchfield CA; Heriza CB. The neurophysiological basis of patient treatment. Morgantown, W VA: Stokesvilles Publishing, 1978: 222.)

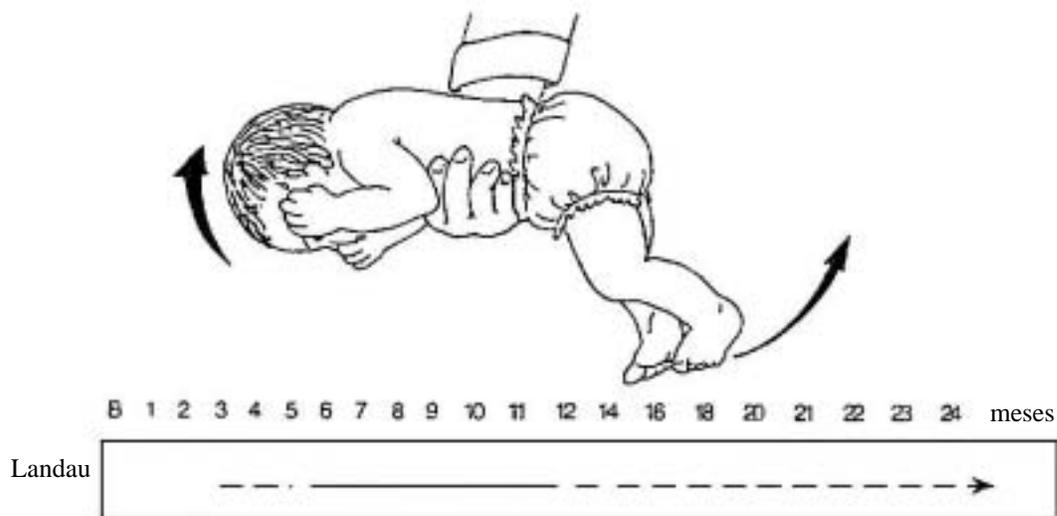


Figura 7.6. Se muestra la reacción Landau y su evolución durante el desarrollo, la cual combina el efecto de las tres reacciones de enderezamiento de la cabeza. (Adaptado de Barnes MR, Crutchfield CA; Heriza CB. The neurophysiological basis of patient treatment. Morgantown, W VA: Stokesvilles Publishing, 1978: 222.)

orientan la cabeza en el espacio son (a) la **reacción de enderezamiento óptico** (Fig. 7.5A), la cual contribuye a la alineación refleja de la cabeza utilizando impulsos visuales; (b) la **reacción de enderezamiento laberíntico** (Fig. 7.5B), la cual orienta la cabeza a una posición vertical erguida en respuesta a señales vestibulares (9, 13, 14); y (c) la **reacción de enderezamiento cuerpo sobre cabeza** (Fig. 7.5C), que conduce la cabeza en respuesta a señales propioceptivas y táctiles del cuerpo al estar en contacto con una superficie de apoyo. La **reacción de Landau**, ilustrada en la Figura 7.6 combina el efecto de las tres reacciones de enderezamiento (9, 15).

Dos reflejos interactúan para mantener el cuerpo orientado en relación con la cabeza y la superficie. La **reacción de enderezamiento cuello sobre cuerpo**, ilustrada en la Figura 7.7A, orienta el cuerpo en respuesta a aferentes cervicales, los cuales informan cambios en la posición de la cabeza y cuello. Se han identificado dos formas de este

reflejo: una forma inmadura, que produce una rotación del tronco, presente al nacimiento, y una madura que produce una rotación segmentaria del cuerpo (16). La **reacción de enderezamiento cuerpo sobre cuerpo**, ilustrada en la Figura 7.7B, mantiene el cuerpo orientado en relación con la superficie, sin importar la posición de la cabeza.

Equilibrio y Reacciones Protectoras

Según la teoría refleja-jerárquica, el control del equilibrio surge en asociación a una serie de reacciones de equilibrio organizadas en una secuencia. Con frecuencia, las reacciones de equilibrio se separan en tres categorías. Las **reacciones de inclinación**, ilustradas en la Figura 7.8 A-C, son utilizadas para controlar el centro de la gravedad en respuesta a una superficie inclinada. Las **reacciones de fijación postural**, Figura 7.9 A-C, empleadas para la recuperación de fuerzas aplicadas a otras partes del cuerpo (17). Las

Reacción de enderezamiento cuello sobre cuerpo (CuSCp) Reacción de enderezamiento cuerpo sobre cuerpo (CpSCp)

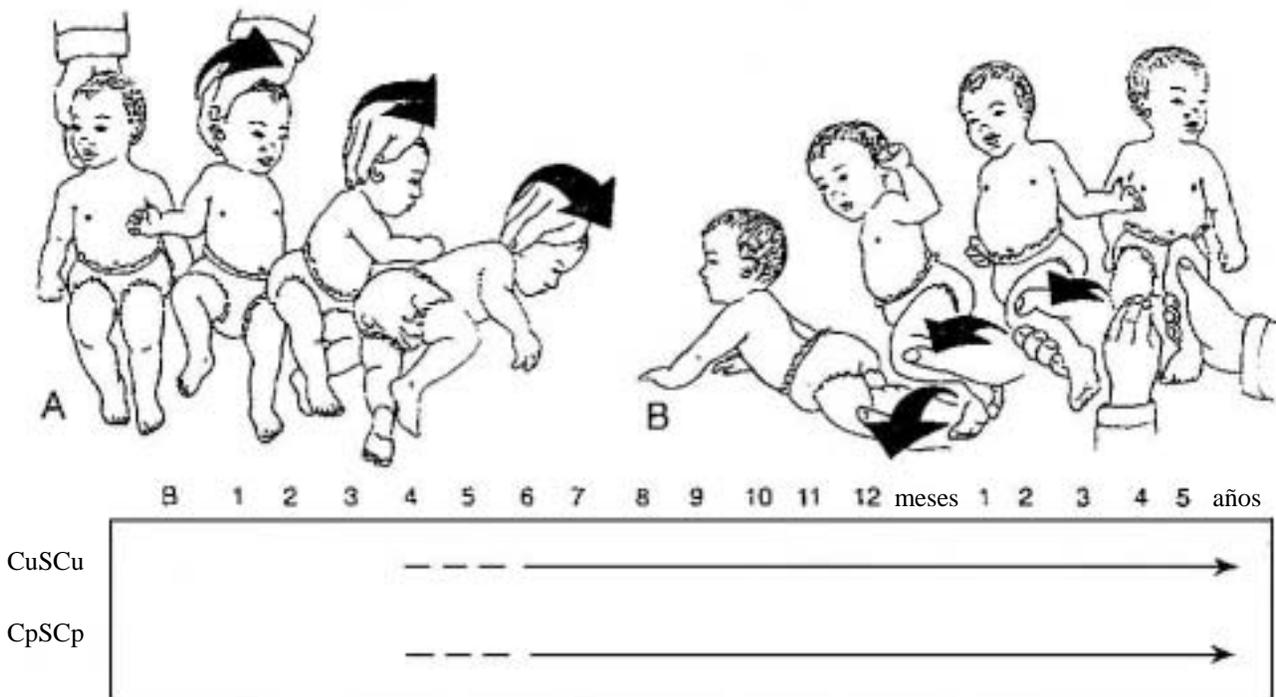


Figura 7.7. Las reacciones de enderezamiento del cuerpo. Se muestra la forma madura de **A**, la reacción cuello sobre cuerpo (CuSCp) y **B**, cuerpo sobre cuerpo (CpSCp) y sus momentos de aparición. (Adaptado de Barnes MR, Crutchfield CA; Heriza CB. The neurophysiological basis of patient treatment. Morgantown, W VA: Stokesvilles Publishing, 1978: 222.)

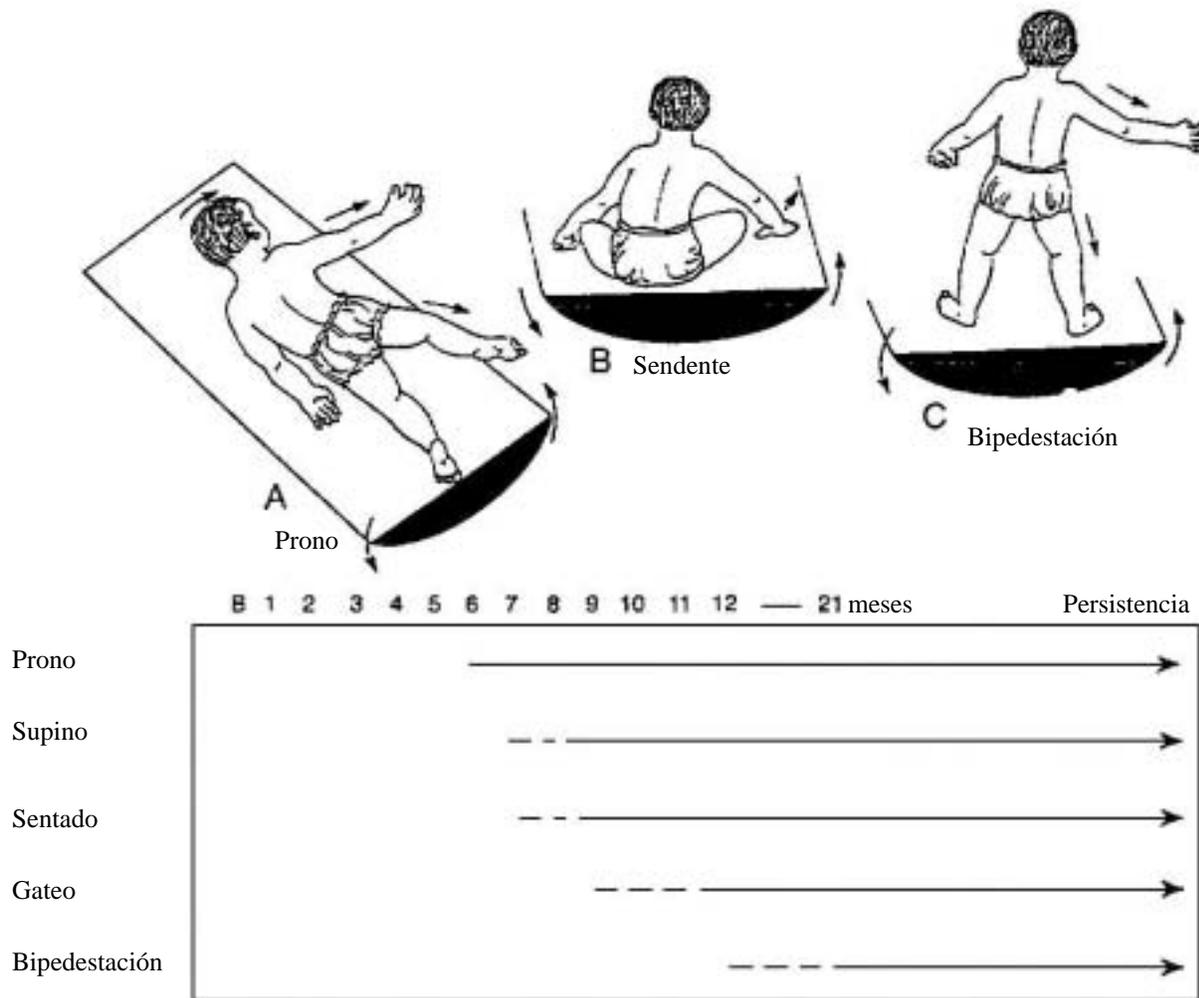


Figura 7.8. Las reacciones de inclinación. Se piensa que las respuestas de inclinación surgen primero en **A**, prono, luego en supino (no ilustrada), posteriormente **B**, sentente, luego surge en la posición de gateo (no ilustrada) y finalmente **C**, en bipedestación. También se muestra la evolución de estos reflejos. (Adaptado de Barnes MR, Crutchfield CA; Heriza CB. The neurophysiological basis of patient treatment. Morgantown, W VA: Stokesvilles Publishing, 1978: 222.)

respuestas del paracaídas o protectoras protegen el cuerpo de lesiones durante una caída y son ilustradas en la Figura 7.10 A-C (12).

La tabla 7.1 resume la propuesta del mecanismo del reflejo postural que fundamenta la aparición del control postural y del equilibrio en los niños.

Diversos investigadores han sugerido que las reacciones de equilibrio emergentes son precursores necesarios para la adquisición de hitos del desarrollo asociados; no obstante, no se produce un perfeccionamiento de las reacciones de inclinación hasta que el niño ha avanzado al hito siguiente (18-20).

FUNCIÓN DE LOS REFLEJOS EN EL DESARROLLO

¿Cuál es la función de los reflejos en el desarrollo motor? Los científicos no lo saben con seguridad; por lo tanto, su función en el control motor es controvertida. Muchos teóricos creen que los reflejos forman el sustrato del control motor normal. Por ejemplo, se ha sugerido que el *reflejo tónico asimétrico del cuello* es parte del desarrollo de la coordinación ojo-mano debido a que el movimiento de la cabeza (y ojos) pone la mano a la vista (21, 22). Sin embargo, otro estudio no mostró

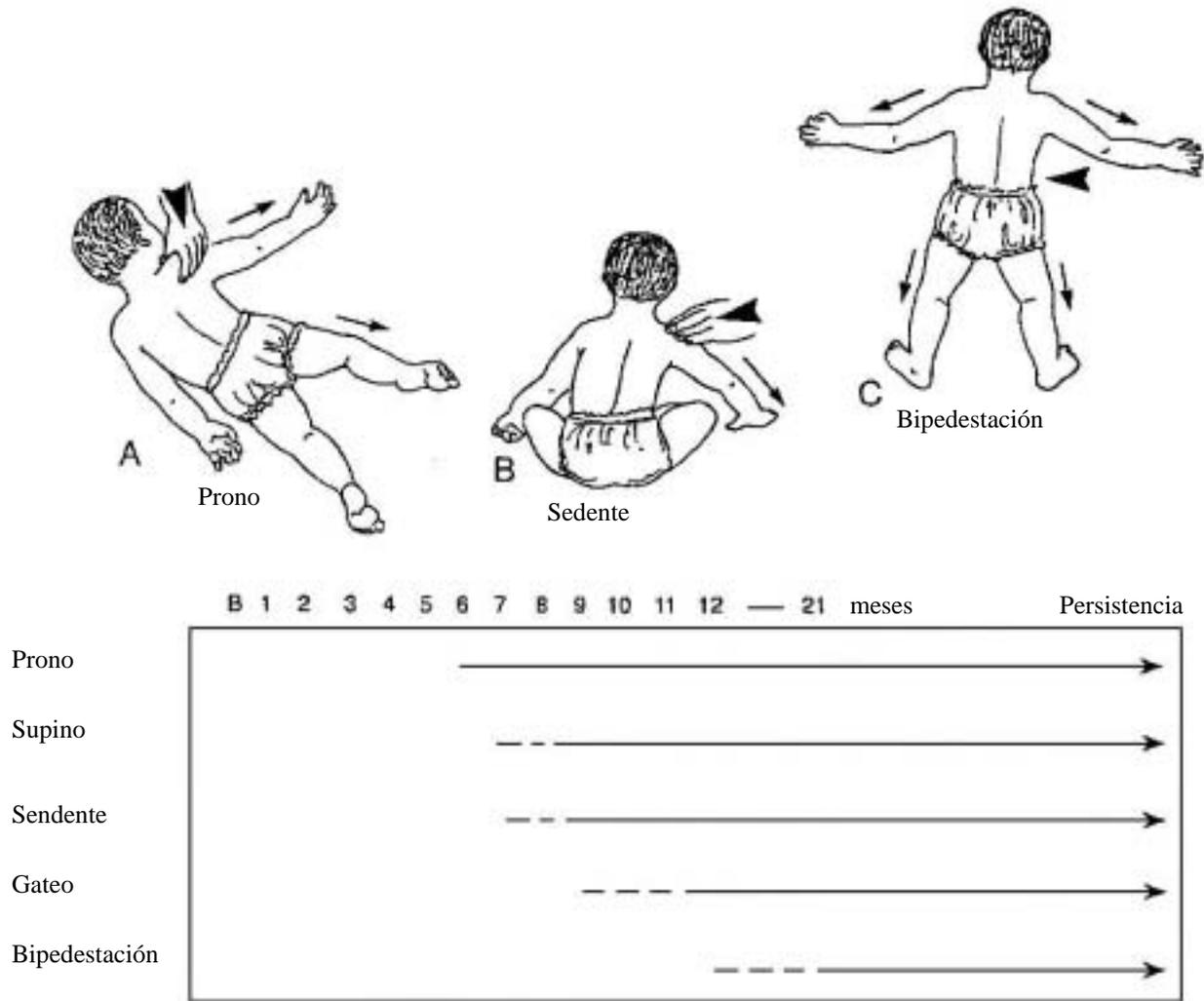


Figura 7.9. Las reacciones de fijación postural. Las reacciones de fijación estabilizan el cuerpo en respuesta a las fuerzas desestabilizadoras aplicadas al cuerpo de cualquier lugar menos la superficie de apoyo y emergen en paralelo con las reacciones de inclinación. Se ilustran las reacciones **A**, en prono, **B**, sedente y **C**, bipedestación. También se ilustra la evolución de estos reflejos. (Adaptado de Barnes MR, Crutchfield CA; Heriza CB. The neurophysiological basis of patient treatment. Morgantown, W VA: Stokesville Publishing, 1978: 222.)

relación alguna entre el comportamiento de tomar objetos y la presencia o ausencia de este reflejo en un grupo de niños de 2 a 4 meses de vida (23). Muchos investigadores han insinuado que el reflejo tónico asimétrico del cuello contribuye al movimiento en adultos ya que se produce una facilitación de la extensión de las extremidades cuando se rota la cabeza (24-27).

Se dice que las reacciones de enderezamientos cuello sobre cuerpo y cuerpo sobre cuerpo son la base de la rotación en infantes. Se piensa que una forma inmadura de rotación a los 4 meses de edad predice una patología del SNC, incluyendo parálisis cerebral (28) y un retraso en el

desarrollo (29). Recientemente, se ha analizado la función de estos reflejos en patrones de rotación más maduros (30).

Claramente, existe una inseguridad considerable sobre la contribución de la evaluación de los reflejos en la clarificación de la base del desarrollo normal y anormal en niños.

Nuevos Modelos de Desarrollo

Muchas de las teorías más recientes para el control motor presentadas en el Capítulo 1 poseen teorías asociadas para el desarrollo motor. Dichas nociones concuerdan en la sugerencia de que el

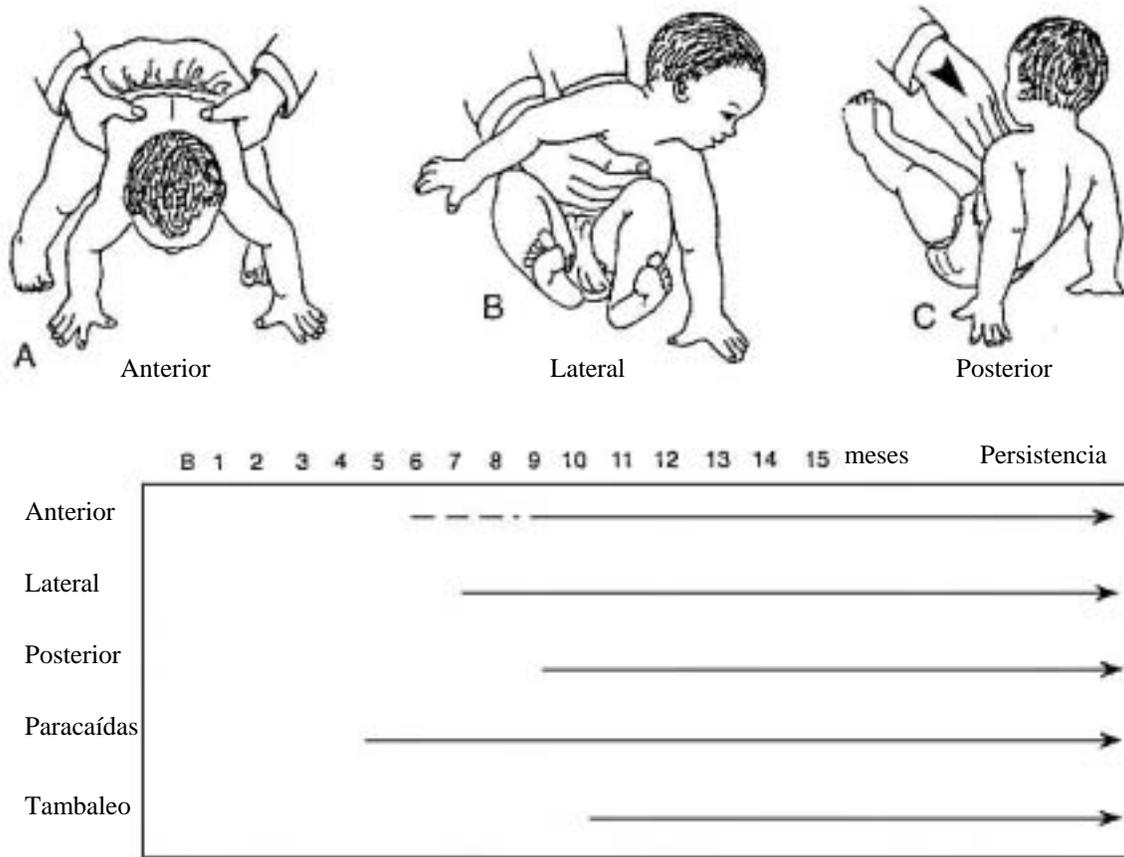


Figura 7.10. Las reacciones propioceptivas. Estas reacciones protegen al cuerpo de lesiones resultado de una caída y se desarrollan primero **A**, en dirección anterior, luego **B**, hacia los lados y **C**, hacia atrás. También se muestra la evolución de estos reflejos. . (Adaptado de Barnes MR, Crutchfield CA; Heriza CB. The neurophysiological basis of patient treatment. Morgantown, W VA: Stokesvilles Publishing, 1978: 222.)

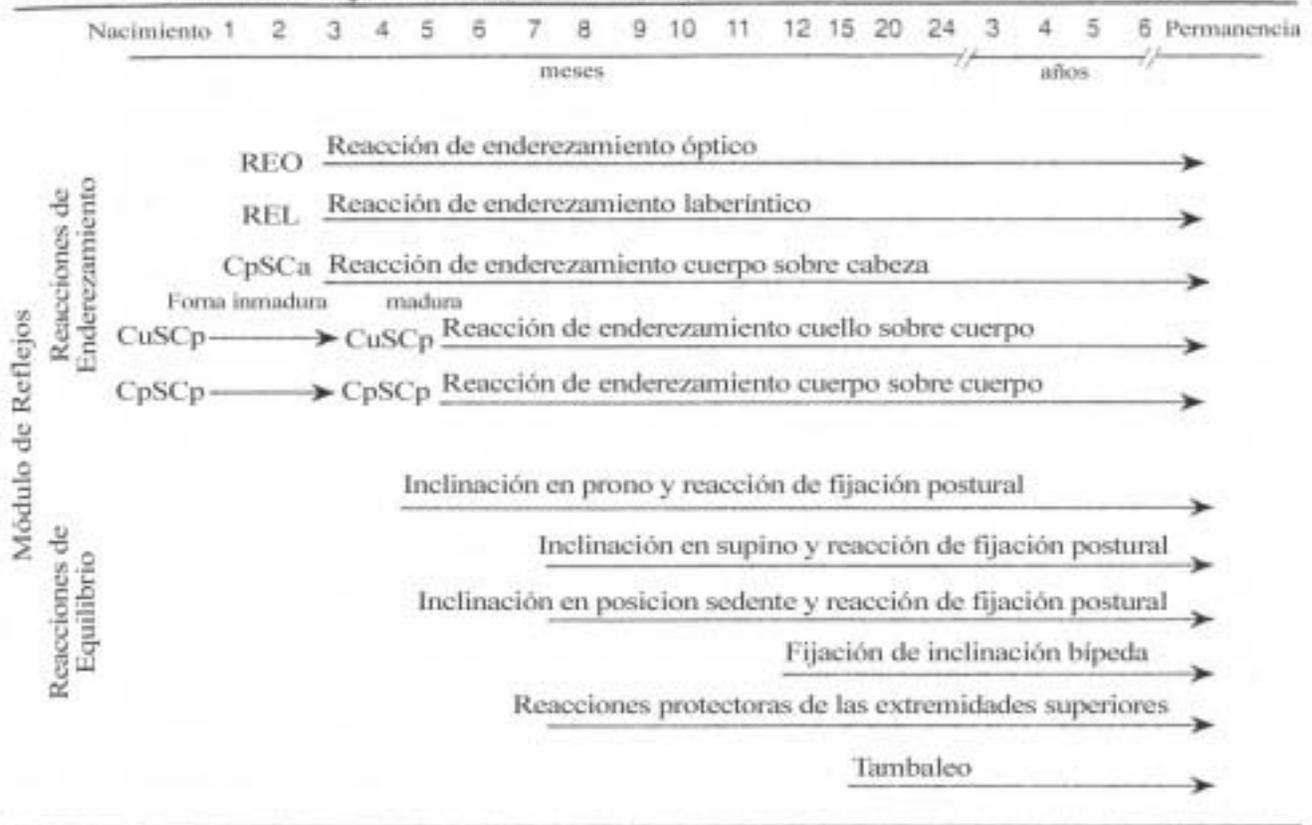
desarrollo implica mucho más que la maduración de los reflejos dentro del SNC. Es un proceso complejo, con nuevos comportamientos y habilidades que surgen de una interacción del niño (y sus sistemas nervioso y muculoesquelético en maduración) con el entorno.

Con esta base, la aparición del control postural es igualmente atribuible a las complejas interacciones entre los sistemas neural y musculoesquelético. Estas incluyen (por favor consulte la Fig. 6.2):

1. Cambios en el sistema musculoesquelético, incluyendo el desarrollo de la fuerza muscular y variaciones en la masa relativa de los diferentes segmentos corporales;
2. El desarrollo o construcción de estructuras coordinadas o sinergias neuromusculares de respuesta empleadas para mantener el equilibrio;

3. El desarrollo de los sistemas sensoriales individuales como el somatosensorial, el visual o el vestibular;
4. El desarrollo de las estrategias sensoriales para organizar estos múltiples impulsos;
5. El desarrollo de representaciones internas esenciales para el paso de la percepción a la acción;
6. El desarrollo de mecanismos adaptativos y anticipatorios que permiten que el niño modifique la forma en que percibe y se mueve para controlar la postura (31).

Aparentemente, una parte importante de la interpretación de las sensaciones y la coordinación de acciones para el control postural es la presencia de una representación interna o *esquema corporal* que proporciona un marco de referencia postural. Se ha propuesto que esta base se emplea como una referencia por los impulsos sensoriales que ingresan, constituyendo un elemento esencial para interpretar

Tabla 7.1 Modelo Reflejo del Desarrollo Postural

el movimiento propio y para calibrar las acciones motoras (32).

Se piensa que el desarrollo de los aspectos sensoriales y motores del control postural involucra la capacidad de elaborar representaciones internas apropiadas en relación con la postura, que reflejen los patrones para organizar los impulsos sensoriales y para coordinarlos con las acciones motoras. Por ejemplo, a medida que el niño adquiere experiencia moviéndose en un ambiente gravitatorio, se desarrollarían los mapas sensorio-motores. Estos mapas relacionarían las acciones con los impulsos sensoriales entrantes de los sistemas visual, somatosensorial y vestibular. De esta forma, se desarrollarían los patrones para el movimiento y se reflejarían en relaciones sinápticas modificadas. Así, argumentan los investigadores, se realiza el paso de la sensación a las acciones motoras a través de una estructura figurativa interna o esquema corporal (32, 33).

EVALUACIÓN BASADA EN MODELOS MODERNOS

Según estas nuevas teorías, la evaluación del desarrollo motor involucra el análisis de la aparición

de los hitos motores del comportamiento y de los sistemas de apoyo para el control postural. Además, ésta debe efectuarse dentro del contexto de diferentes actividades y ambientes. La capacidad del niño de anticiparse y adaptarse a un entorno cambiante, como lo muestra la variabilidad en el desempeño, también se incluye en un análisis del desarrollo. La capacidad de adaptar la forma en que sentimos y nos movemos es una parte esencial del desarrollo normal. Como resultado, su evaluación es tan decisiva como la adquisición de hitos motores estándares.

Ya que los diferentes sistemas que afectan el control postural se desarrollan a velocidades distintas, es importante comprender cuáles componentes limitan la actividad de cada etapa del desarrollo, o al revés, cuáles empujan al sistema a un nuevo nivel de función al momento de madurar. Según los modelos más actuales de desarrollo, encontrar la conexión entre los componentes posturales esenciales y el desarrollo finalmente dirige al médico a determinar cuáles sistemas deben evaluarse y cómo cambia su contribución en las diversas etapas del desarrollo. También permite que el médico determine las intervenciones apropiadas para el sistema disfuncional.

DESARROLLO DEL CONTROL POSTURAL: UNA PERSPECTIVA DE SISTEMAS

Desde los primeros estudios de Gesell en 1946 que describían la naturaleza céfalo-caudal del desarrollo, diversos investigadores han descubierto excepciones a algunas de sus patrones generales de desarrollo. Por ejemplo, estudios recientes han señalado que los infantes presentan un control de las piernas en comportamientos de pataleo y de marcha con apoyo mucho antes de que puedan controlar la cabeza y tronco en el espacio (34, 35). No obstante, en el área del equilibrio y control postural, parece que el desarrollo siguiera una secuencia céfalo-caudal.

Surgimiento del Control Cefálico

COORDINACIÓN MOTORA

Heinz Prechtl, un investigador y médico de los Países Bajos (36), utilizó técnicas de ultrasonido para estudiar el control postural *espontáneo* en infantes durante el desarrollo prenatal. Observó los cambios posturales espontáneos y describió varios patrones motores que eran responsables de dichas variaciones. Cambios posicionales ocurrían incluso 20 veces por hora en la primera mitad del embarazo, pero disminuían en la última parte, posiblemente debido a la restricción de espacio.

Prechtl (36) también trató de analizar las respuestas a las *perturbaciones* y señaló que fue incapaz de activar los reflejos vestibulares en el útero. Informó que el reflejo vestibulo-ocular y la respuesta de Moro estaban ausentes en la etapa prenatal pero se encontraban al nacer y sugirió que estos reflejos eran inhibidos hasta el corte del cordón umbilical, evitando así que el feto se mueva cada vez que la madre lo haga.

Prechtl también analizó el control cefálico *espontáneo* en los neonatos y señaló que poseen muy poco control postural o antigravitatorio al momento de nacer. Propuso que podía deberse a una carencia de fuerza muscular (una limitación musculoesquelética) o a una falta de madurez de los procesos motores que controlan la postura de cabeza y cuello a esa edad (limitación de coordinación motora). Para probar esto, examinó los movimientos cefálicos espontáneos utilizando registros de electromiogramas (EMG) y grabaciones de video para determinar la presencia de actividad muscular

coordinada. No descubrió ningún patrón organizado de actividad muscular que pareciera contrarrestar la fuerza de la gravedad en forma constante. Este hallazgo sugiere que la inexistencia de control cefálico en los recién nacidos no es solamente el resultado de una falta de fuerza, sino que también se produce por la ausencia de actividad muscular organizada.

Para analizar las respuestas de los infantes a las *perturbaciones* del equilibrio, los colocó sobre una mesa que se balanceaba, observando cualquier respuesta antigravitatoria. Los recién nacidos y los niños de hasta 8 o 10 semanas no respondían a inclinaciones cefálicas ascendentes o descendentes. No obstante, de 8 a 10 semanas, con la aparición del control cefálico espontáneo, los bebés mostraron claros patrones EMG en respuesta a la superficie inclinada y esta reacción se volvió constante aproximadamente en el tercer mes de vida.

Esta investigación sugiere que la aparición de respuestas posturales coordinadas en los músculos del cuello, que fundamentan tanto el control cefálico espontáneo como las respuestas a las perturbaciones, ocurre cerca de los 2 meses de edad. No obstante, no entrega información específica sobre la capacidad de los sistemas sensoriales individuales para dirigir las respuestas posturales en el cuello.

CONTRIBUCIONES SENSORIALES

Incluso los bebés de 60 horas de vida son capaces de orientarse hacia una fuente de estimulación visual y pueden seguir un objeto en movimiento al orientar correctamente la cabeza (37, 38). Estos movimientos de orientación parecen ser parte de una forma global de control postural que involucra todo el cuerpo.

¿Cuándo las respuestas posturales controladas por la visión se vuelven disponibles para el infante? Para examinar las contribuciones visuales al control *espontáneo* de los movimientos cefálicos, Jouen y sus colegas (39) realizaron un estudio con neonatos pretérmino (32 a 34 semanas de gestación), examinaron la alineación de la cabeza con y sin feedback visual (se usaron lentes). Al principio mantuvieron la cabeza del bebé en una línea media, luego la liberaron y evaluaron los movimientos resultantes de la cabeza. Descubrieron que sin visión, se producía una significativa tendencia a girar la cabeza a la derecha, pero con visión, el neonato orientaba la cabeza a la línea media. Así, al menos desde las semanas 32 a la 34 de gestación,

los infantes muestran un tipo simple de control postural cefálico que utiliza la visión para mantener la cabeza en una línea media.

Un segundo estudio examinó la capacidad de los neonatos para generar respuestas a estímulos visuales que daban la ilusión de una *perturbación postural* (39, 40). Los niños fueron colocados en una habitación en la cual un patrón de rayas se movía hacia delante o atrás. Las respuestas posturales fueron calculadas con una almohada sensible a la presión detrás de la cabeza del niño. Los neonatos realizaban ajustes posturales de la cabeza en respuesta al flujo óptico; por ejemplo, cuando los patrones visuales se movían hacia atrás, los infantes parecían percibir el balanceo posterior de la cabeza, ya que movían la cabeza hacia atrás, como para compensar.

La investigación también ha analizado el desarrollo inicial de las contribuciones sensoriales a las respuestas antigravitatorias en infantes. En estos experimentos, niños de 2,5 o 5 meses fueron ubicados en una silla que podía inclinarse 25° hacia la derecha o izquierda. Durante algunas pruebas, se colocó una bola de lana roja en el campo visual, para captar la atención del bebé (41, 42). Ellos mostraron una respuesta antigravitatoria (evitando que la cabeza cayera al lado hacia el cual era inclinado), la cual aumentó con el nivel de desarrollo, los bebés mayores dejaban caer la cabeza menos que los menores. Curiosamente, cuando se colocaba la bola de lana en el campo visual, ambos grupos inclinaban menos la cabeza, el efecto era más fuerte en los niños menores. Los autores concluyen que estos resultados demuestran el significativo efecto de la visión en la respuesta vestibular antigravitatoria del infante y un claro aumento de esta respuesta con la edad. No obstante, en este paradigma es difícil de determinar si el avance se debe a un aumento de la fuerza del músculo del cuello, al procesamiento somatosensorial/motor en sus músculos o al procesamiento vestibular/motor.

RELACIÓN DE LA TEORÍA REFLEJA Y DE SISTEMAS

¿Qué tan coherentes son las teorías refleja y de sistemas para describir el desarrollo del control cefálico? La teoría refleja/jerárquica sugiere que la coordinación visual/motora aparece a los dos meses de vida aproximadamente y es el resultado de la maduración de las reacciones de enderezamiento óptico. La teoría de sistemas sugiere que cierto

mapa visual/motor básico está presente al nacimiento, y con la experiencia motora, el niño desarrolla patrones más perfeccionados para planificar la información visual hacia la acción.

La teoría refleja sugiere que debido a que las reacciones de enderezamiento corporal y laberíntico que actúan en la cabeza surgen entre el nacimiento y los 2 meses, este tipo de planificación sensorial/motora también ocurre en estos sistemas sensoriales.

Según un modelo reflejo, el reflejo de Landau, que requiere la integración de las tres reacciones de enderezamiento, no aparece hasta los 4 o 6 meses. Este hallazgo concuerda con los descubrimientos de Jouen, los que sugieren que la planificación entre los sistemas visual y vestibular para el control postural se presenta de los 2 y ½ a los 5 meses de edad. De esta forma, ambas teorías concuerdan en sugerir que la planificación de los sentidos individuales para ejecutar una acción puede preceder la planificación de los sentidos múltiples. Este tipo de planificación sensorial-a-sensorial y sensorial-a-motora puede representar el comienzo de las representaciones neurales internas necesarias para las capacidades posturales coordinadas.

Surgimiento de la Posición Sedente Libre

A medida que los infantes comienzan sentarse en forma independiente, desarrollando así el control del tronco, deben aprender a dominar el control del balanceo intrínseco espontáneo de la cabeza y tronco y a responder a las perturbaciones del equilibrio. Esto requiere la coordinación de la información sensorial/motora que relaciona dos segmentos del cuerpo en el control de la postura. Para realizar esto, necesitan extender los patrones para las relaciones sensorial/motora aprendidos del control postural cefálico al nuevo conjunto de músculos que controlan el tronco. Es posible que una vez que estos patrones se han establecido para los músculos del cuello, puedan ser fácilmente extendidos al control de los músculos del tronco.

COORDINACIÓN MOTORA

Con la aparición de la posición sedente libre, los infantes desarrollan la suficiente capacidad de control del *balanceo espontáneo* como para permanecer erguidos. Esto sucede aproximadamente a los 6 o 7 meses de edad (43).

La capacidad para responder a las perturbaciones posturales con ajustes posturales

organizados parece desarrollarse simultáneamente. ¿Cómo se desarrollan los músculos que coordinan las respuestas al balanceo en el cuello y tronco? Se han empleado estudios transversales y longitudinales para explorar el desarrollo de la coordinación muscular del control del cuello y tronco en niños de 2 a 8 meses de vida (33, 44). Se utilizaron EMGs para monitorear los músculos del cuello y tronco en infantes sentados en una silla de bebé o sentados en forma independiente en una plataforma móvil, ilustrado en la Figura 7.11A. El movimiento posterior o anterior de la plataforma producía una perturbación en la postura de la cabeza y tronco del niño, requiriendo un subsiguiente ajuste compensatorio para recuperar el equilibrio.

Los niños de dos meses no mostraron respuestas coordinadas y direccionalmente apropiadas a las perturbaciones de la plataforma. De 3 a 4 meses, tuvieron respuestas direccionalmente específicas en los músculos del cuello de un 40 a 60% del tiempo. A los 5 meses, cuando los infantes comenzaban a sentarse independientemente, la actividad postural coordinada en los músculos del tronco ocurría aproximadamente el 40% del tiempo. A los 8 meses de vida, los músculos del cuello y tronco se coordinaban en patrones efectivos para controlar el balanceo posterior y anterior en una posición sedente.

Un estudio reciente que utilizó perturbaciones de la superficie de apoyo para el equilibrio (33) también ha indicado que aquellos movimientos de

plataforma que causan balanceo posterior generaron sinergias musculares de respuesta postural más fuertes y menos variables que las generadas por un balanceo anterior. Esto puede ser causado por una mayor base de apoyo postural en dirección anterior en los infantes sentados.

CONTRIBUCIONES SENSORIALES

Otros estudios han analizado la capacidad de los infantes sentados sin apoyo para generar respuestas a estímulos visuales, dando la ilusión de una perturbación postural (el paradigma de la habitación móvil) (43, 45, 46). Se estudiaron niños con distintos grados de experiencia en sentarse, incluyendo bebés de 0 a 3 meses de experiencia, 4 a 6 meses y de 7 a 12 meses de experiencia. En el grupo de 0 a 3 meses, con frecuencia se detectó una completa pérdida del equilibrio en respuesta al estímulo visual, incluso cuando el niño podía mantener el equilibrio al sentarse quieto. Después de los primeros 3 meses de experiencia en sentarse, la amplitud de la respuesta declinó. Esto significa que aquellos infantes que recién se sientan dependen enormemente de los impulsos visuales para mantener la postura dinámica y esta dependencia disminuye, utilizando más los impulsos somatosensoriales, con la experiencia en la posición sedente libre.

Además, Woollacott y sus colegas descubrieron que el retiro de los estímulos visuales no provocaba un trastorno en el patrón de activación

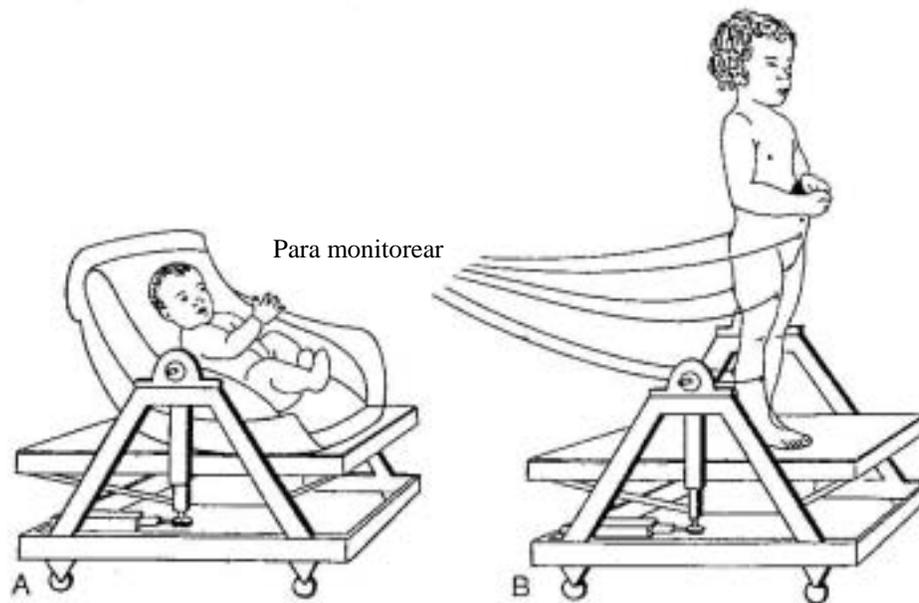


Figura 7.11. Posturografía de plataforma móvil utilizada para estudiar los patrones de respuesta postural de niños en respuesta a una superficie móvil **A**, sentados y **B**, de pie.

muscular en respuesta a la plataforma móvil. Concluyeron que los sistemas somatosensorial y vestibular son capaces de producir acciones posturales durante las perturbaciones sedentes sin la necesidad de la visión en infantes que aprenden a sentarse por primera vez (44).

¿Cuál es el principal sistema sensorial que controla las respuestas a las perturbaciones posturales en infantes sentados? Para contestar esta pregunta, se realizaron experimentos en los que se variaba sistemáticamente la orientación de la cabeza, en un esfuerzo por cambiar la relación entre los impulsos relacionados con el movimiento cefálico (vestibular y visual) y los impulsos propioceptivos del tronco (33). La actividad muscular coordinada que estabilizaba el tronco no cambió sin importar la orientación de la cabeza. Esto sugiere que en la posición sedente, las respuestas posturales a las perturbaciones son enormemente controladas por los impulsos somatosensoriales de las articulaciones de la cadera, no por la información vestibular o visual. Estos resultados son similares a aquellos obtenidos de adultos hacia las perturbaciones en bipedestación.

Estos estudios proponen que la actividad postural coordinada del cuello y tronco se desarrolla en forma gradual, aproximadamente al mismo tiempo que el control cefálico y la capacidad para sentarse independientemente. Primero, los niños parecen proyectar las relaciones entre los impulsos sensoriales y los músculos del cuello para el control postural; posteriormente esto se extiende para incluir la musculatura del tronco con el inicio de la posición sedente libre. Estos experimentos no nos dicen qué es la responsable de la aparición de las respuestas musculares del cuello y tronco, si la maduración del sistema nervioso o el perfeccionamiento de las sinergias mediante la experiencia puesto que son graduales y parecen suceder sincrónicamente.

RELACIÓN DE LA TEORÍA REFLEJA Y DE SISTEMAS

La investigación que acabamos de revisar sugiere que la capacidad del niño para orientar el tronco con respecto a la cabeza y a la superficie de apoyo ocurre aproximadamente de los 6 a 8 meses de vida, coincidiendo con la aparición de la posición sedente libre. Estos resultados son bastante similares a los de estudios que utilizan un método reflejo/jerárquico. Según esos estudios, la orientación corporal surge a los 6 meses de vida con

la aparición las formas maduras de las reacciones de enderezamiento de cuello sobre cuerpo y cuerpo sobre cuerpo.

Aunque, normalmente, ambas reacciones de enderezamiento han sido empleadas para describir la aparición de patrones de rotación, hemos escogido sus acciones al igual que Magnus, puesto que afectan la orientación corporal hacia la cabeza/cuello (cuello sobre cuerpo) y hacia la superficie de apoyo (cuerpo sobre cuerpo). Así, parece existir un acuerdo entre las dos teorías en cuanto a la aparición del control del tronco, pero con diferentes explicaciones para el desarrollo de esos comportamientos.

Transición a Bipedestación Independiente

Durante el proceso de aprender a pararse independientemente, los niños deben aprender (a) a equilibrarse dentro de límites de estabilidad considerablemente reducidos en comparación a aquellos de la posición sedente y (b) a controlar los diversos grados de libertad adicionales, a medida que se suman la coordinación de la pierna y los segmentos del muslo a los del tronco y cabeza.

COORDINACIÓN MOTORA

Las siguientes secciones examinan la aparición de la coordinación motora durante la bipedestación inmóvil y en respuesta a las perturbaciones del equilibrio.

Función de la Fuerza

Diversos investigadores han sugerido que un factor primario que limita la velocidad de la aparición de la marcha independiente es el desarrollo de la fuerza muscular suficiente para apoyar al cuerpo durante el equilibrio estático y la marcha (47). ¿Puede calcularse la fuerza del músculo de la pierna de un infante para determinar si éste es el caso?

Los investigadores han demostrado que a los 6 meses de vida los bebés generan fuerzas mucho mayores a su peso corporal (48). Estos experimentos sugieren que la capacidad de soportar peso contra la fuerza de gravedad en una posición bípeda ocurre mucho antes de la aparición de la bipedestación independiente y por lo tanto, probablemente no es la mayor limitación para la aparición del control postural bípedo en los infantes.

Desarrollo de Sinergias Musculares

¿Cómo comienzan a aparecer las sinergias de respuesta muscular que compensan las perturbaciones al equilibrio en el infante que comienza a ponerse de pie? Estudios longitudinales han explorado su aparición en niños de 2 a 18 meses de edad, durante la transición a la bipedestación independiente (49-52). Como se ilustra en la Figura 7.11B, los infantes permanecieron en la plataforma móvil con diferentes grados de apoyo mientras se utilizaron EMGs para grabar la actividad muscular de la pierna y tronco en respuesta a una pérdida de equilibrio.

La Figura 7.12 muestra los EMG de un niño durante la aparición de actividad muscular coordinada en los músculos de la pierna y tronco en respuesta a una caída posterior. Los infantes estudiados desde los 2 a los 6 meses de edad, antes

de que comiencen a impulsarse para ponerse de pie, no presentaron una organización de respuesta muscular coordinada hacia las amenazas al equilibrio (Fig. 7.12A). Durante las primeras etapas de dicho comportamiento (7 a 9 meses), los infantes comenzaron a mostrar respuestas direccionalmente apropiadas en los músculos del tobillo (Fig. 7.12B). A medida que mejoró la capacidad de sostenerse, se sumaron los músculos del muslo y comenzó a surgir una secuencia distal-a-proximal (Fig. 7.12C-D) durante las últimas etapas del ponerse de pie con ayuda y la bipedestación independiente (9 a 11 meses), los músculos del tronco se activaron sistemáticamente, produciendo una sinergia completa.

Para determinar si la experiencia es importante en el desarrollo de las características de la reacción postural en los niños que aprenden a pararse, se compararon las respuestas de dos grupos

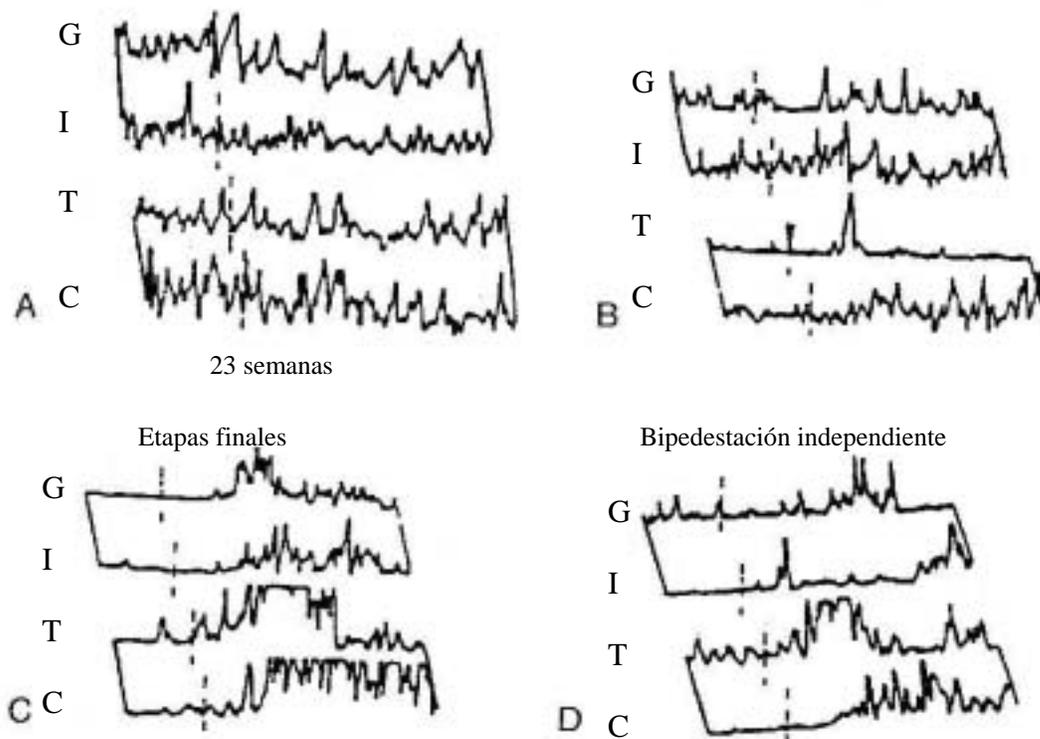


Figura 7.12. Las respuestas EMG de un niño durante la aparición de actividad muscular coordinada en los músculos de la pierna y tronco en respuesta a perturbaciones de la plataforma en **A**, antes de que comiencen a impulsarse para ponerse de pie, **B**, en las primeras etapas de dicho comportamiento, **C**, en las etapas finales y **D**, en bipedestación independiente. Abreviaturas: *G*, gemelos; *I*, isquiotibiales; *T*, tibial anterior; *C*, cuádriceps. (Adaptado de Sveistrup H, Woollacott MH. Systems contributing to the emergence and maturation of stability in postnatal development. En: Savelsbergh GJP, ed. The development of coordination in infancy. Amsterdam: Elsevier, 1993: 331.)

de infantes en la etapa del desarrollo del equilibrio en que se impulsaban para ponerse de pie (53). A uno de los grupos se le proporcionó una amplia experiencia con las perturbaciones de la plataforma, recibiendo 300 perturbaciones en 3 días. El grupo de control no tuvo este entrenamiento.

Quienes tuvieron una amplia experiencia en la plataforma fueron más capaces de activar respuestas posturales musculares y éstas estuvieron mejor organizadas. No obstante, las latencias iniciales de dichas respuestas no cambiaron. Estos resultados sugieren que la experiencia tiene la capacidad de influir en la fuerza de las conexiones de las vías sensoriales y motoras que controlan el equilibrio, incrementando así la probabilidad de generar respuestas posturales. Sin embargo, la ausencia de un efecto del entrenamiento en la latencia de la respuesta postural indica que la maduración neural puede ser un factor que limita la velocidad de la disminución de la latencia con el desarrollo. Es probable que la mielinización de las vías del sistema nervioso responsables de la reducción de las latencias de las respuestas posturales durante el desarrollo no sea afectado por el entrenamiento.

CONTRIBUCIONES SENSORIALES

Una vez que un niño aprende cómo organizar los músculos sinergistas para controlar la bipedestación en asociación con un sentido, ¿se transferirá automáticamente a los otros sentidos que informan un balanceo? Este no siempre es así. Parece ser que la visión dirige los músculos que controlan la postura bípeda de los 5 a 6 meses, antes de la planificación por parte del sistema somatosensorial y muchos antes de tener una amplia experiencia en la bipedestación (54). Esto sugiere que el niño debe redescubrir las sinergias cuando los impulsos somatosensoriales sean planificados para el control postural bípedo.

Se examinaron los EMGs y los patrones de balanceo en respuesta al flujo visual creado por una habitación móvil de infantes y niños de diversas edades y capacidades y se compararon con los de adultos jóvenes (54). La Figura 7.13 muestra un ejemplo de un infante ubicado en una habitación móvil. El balanceo del niño fue grabado mediante un espejo de una cara con una cámara de video montada fuera de la habitación y se registraron las respuestas musculares de piernas y caderas. Los infantes que no pudieron ponerse de pie en forma independiente fueron sostenidos por sus padres por las caderas.

Los niños de 5 meses de edad se balancearon en respuesta a los movimientos de la habitación; las amplitudes del balanceo aumentaron en la etapa de impulso para ponerse de pie, alcanzaron su mayor nivel en quienes caminaban en forma independiente y disminuyó a niveles bajos en caminantes experimentados (54). Las reacciones de balanceo fueron asociadas a claros patrones de respuesta muscular que empujaban al niño en la dirección del estímulo visual.

Estos experimentos sugieren que el sistema visual produce respuestas posturales organizadas en infantes de pie antes que el sistema somatosensorial y que este último desarrolla sinergias posturales en forma separada en asociación con los impulsos somatosensoriales que indican balanceo.

DESARROLLO DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA

Para determinar si los procesos adaptativos de nivel superior están disponibles en el infante que se impulsa para ponerse de pie, en la fase de bipedestación independiente y en las primeras etapas de la marcha, se registró la capacidad de los niños para atenuar las respuestas posturales al flujo visual creado por la habitación móvil (54). Ninguno de los infantes en cualquiera de estas categorías conductuales pudo adaptar las respuestas posturales inapropiadas a niveles bajos, durante un periodo de cinco ejercicios. Los investigadores concluyeron que, al aparecer, los procesos adaptativos de nivel superior relacionados con el control postural no han madurado al momento de la aparición de la marcha independiente.

RELACIÓN DE TEORÍAS REFLEJA Y DE SISTEMAS

Las diferencias en los enfoques de los modelos reflejo-jerárquico y de sistemas hacen difícil relacionar los hallazgos que analizan la aparición de la bipedestación independiente. La teoría refleja-jerárquica diferencia las reacciones de enderezamiento subyacentes a la orientación de las reacciones de inclinación y de fijación postural esenciales para la aparición del equilibrio, proponiendo que diferentes mecanismos neurales están involucrados en estas dos funciones. Los estudios sobre la inclinación y la fijación postural no han analizado la importancia de los sistemas sensoriales individuales para estas reacciones, ni su capacidad de adaptación.

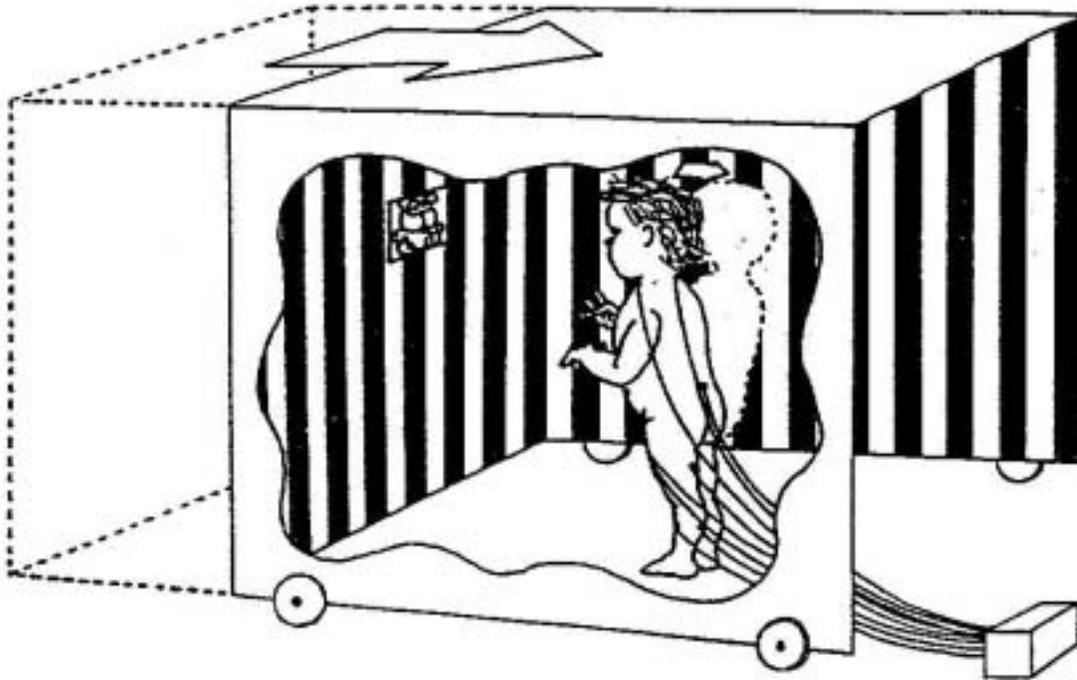


Figura 7.13. Diagrama que ilustra el paradigma de la habitación móvil empleado para analizar el desarrollo de las contribuciones visuales al control postural. (De Sveistrup H, Woollacott MH. Systems contributing to the emergence and maturation of stability in postnatal development. En: Savelsbergh GJP, ed. The development of coordination in infancy. Amsterdam: Elsevier, 1993: 324.)

La investigación basada en los sistemas sugiere que la evolución de los comportamientos de estabilidad emergentes es diferente en cada uno de los sistemas sensoriales. Los impulsos visuales que relacionan la posición del cuerpo en el espacio dirigen las acciones musculares que controlan la posición del cuerpo antes que los impulsos del sistema somatosensorial. Aún no se conoce la forma en que los primeros impulsos vestibulares planifican las acciones de la postura bípeda.

Los resultados de los estudios basados en los sistemas sugieren que, para la mayoría, la experiencia en una postura específica es importante para la información sensorial sobre la posición del cuerpo en el espacio que será utilizada para las acciones musculares que controlan dichos elementos.

Perfeccionamiento del Control Bípedo

A medida que los niños maduran, se perfeccionan los ajustes posturales. La aparición de niveles adultos de control sucede en diferentes momentos para los distintos aspectos del control

postural. La siguiente sección revisa la literatura sobre el perfeccionamiento del control postural bípedo.

COORDINACIÓN MOTORA

Bipedestación Inmóvil

¿Cómo cambia el control del balanceo espontáneo durante la bipedestación inmóvil a medida que los niños se desarrollan? ¿Los niños son inherentemente más estables que los adultos? Los niños son más pequeños, por lo tanto están más cerca de la tierra. ¿Su altura hace el equilibrarse una acción más fácil? Cualquiera que haya visto a un pequeño intrépido descender una empinada pendiente con relativa facilidad, cayendo y levantándose puede suponer que su tarea es más fácil. ¡No tienen que caer una gran distancia! En realidad, aunque los niños son más pequeños que los adultos, son proporcionalmente diferentes. Los niños son pesados *de la cintura hacia arriba*. El tamaño relativo de la cabeza, en comparación con las extremidades inferiores, sitúa el centro de

gravedad aproximadamente en la T12 en un niño, a diferencia de la L5 de un adulto. Debido a su menor altura y a la diferencia en la ubicación de su centro de gravedad, los niños se balancean a una mayor velocidad que los adultos. Así, la actividad del equilibrio estático es ligeramente más difícil puesto que el cuerpo se mueve a una mayor velocidad durante el desequilibrio (55).

Un número de investigaciones ha analizado los cambios del balanceo espontáneo con el desarrollo (56, 57). Un estudio que examinó a niños de 2 a 14 años demostró que la amplitud del balanceo disminuye con la edad. Existía una variación considerable en la amplitud del balanceo en los niños pequeños, la cual disminuía sistemáticamente con la edad y con el aumento del equilibrio. Los efectos de cerrar los ojos fueron representados por el grado de Romberg (el balanceo con ojos cerrados expresado como un porcentaje del balanceo con ojos abiertos), entregando una indicación de las contribuciones de la visión al equilibrio durante la bipedestación inmóvil. Se detectaron grados de Romberg muy bajos en los niños más pequeños que completaron la tarea (4 años) con valores menores a 100%. Esto indica que ellos se balanceaban más con los ojos abiertos que cerrados (56). El balanceo espontáneo en los niños alcanza niveles adultos de los 9 a 12 años en la situación de ojos abiertos y de los 12 a 15 años para la de ojos cerrados. La velocidad del balanceo también disminuyó con la edad, alcanzando niveles adultos de los 12 a los 15 años de edad (57).

Control Postural Compensatorio

El perfeccionamiento de los ajustes compensatorios del equilibrio en niños de 15 meses a 10 años de edad ha sido analizado por diversos investigadores empleando una plataforma móvil para examinar los cambios en el control postural (58-61). La investigación ha demostrado que las respuestas posturales compensatorias de los niños pequeños (15 meses de vida) son más variables y lentas que las de adultos (58). Estas lentas respuestas musculares y las rápidas tasas de aceleración del balanceo observadas en niños pequeños producen amplitudes mayores y con frecuencia más oscilatorias que las de niños mayores y adultos.

Incluso niños de 1 1/2 a tres años de edad generalmente producían respuestas posturales bien organizadas a las perturbaciones posturales al estar en bipedestación (59). Sin embargo, las amplitudes

de estas respuestas son mayores y sus latencias y duraciones son más largas que las de adultos. Otros estudios también han descubierto una mayor duración de las respuestas posturales de niños pequeños y adicionalmente han observado la activación de los reflejos de estiramiento monosináptico de niños pequeños en respuesta a perturbaciones de la plataforma. Estas respuestas desaparecen con la madurez (60, 61).

De forma sorprendente, las respuestas posturales en los niños de 4 a 6 años de edad son, en general, más lentas y variables que la de menores de 15 meses a 3 años, de 7 a 10 años o en adultos, sugiriendo una aparente *retroceso* en la organización de las respuestas posturales. La Figura 7.14 compara los EMGs del grupo de cuatro años.

En estos estudios, desde los 7 a los 10 años de vida, las respuestas posturales fueron básicamente como las de adultos. No hubo diferencias significativas en la latencia inicial, variabilidad o coordinación temporal entre los músculos de las sinergias de la pierna entre dicho grupo y los adultos (59).

¿Por qué las acciones posturales son mucho más variables en niños de 4 a 6 años? Puede ser importante el que la variación de los parámetros de respuesta de niños de 4 a 6 años ocurre durante un periodo de crecimiento desproporcionado con respecto a los cambios esenciales en el cuerpo (59). Se ha sugerido que las variaciones discontinuas observadas en el desarrollo de muchas habilidades incluyendo el control postural, pueden ser el resultado de cambios dimensionales críticos en el cuerpo del niño en crecimiento (62). El sistema permanecería en un estado de estabilidad hasta que tales cambios alcanzaran un punto donde programas motores anteriores ya no sean altamente efectivos. En ese momento, el sistema sufriría un periodo de transición marcado por la inestabilidad y variabilidad y luego surgiría un nuevo periodo de estabilidad.

El trabajo reciente que analiza los movimientos de diferentes segmentos corporales en respuesta a perturbaciones de plataforma en niños y adultos (63), ha demostrado que la cinemática de los movimientos corporales pasivos provocados por las traslaciones son muy similares en los niños de 4 a 6, 7 a 9 años y en los adultos. Así, es más probable que los cambios en respuesta a las latencias y variabilidad observados en niños de 4 a 6 años de edad representen cambios en el desarrollo del mismo sistema nervioso.

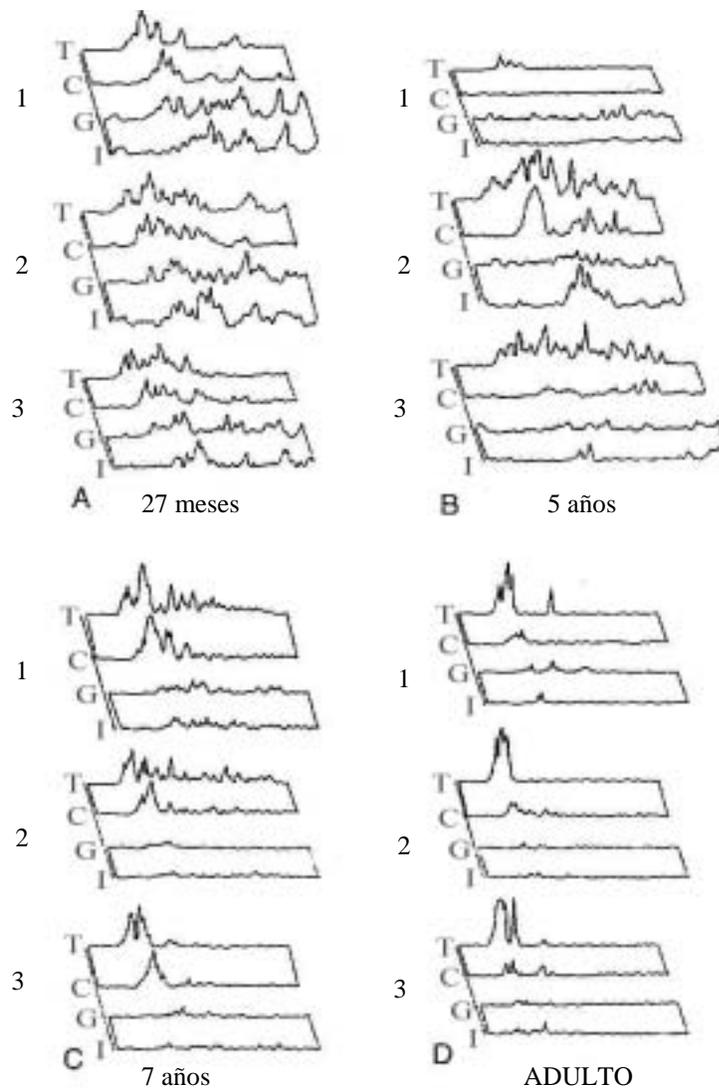


Figura 7.14. Una comparación de los patrones de activación muscular en los músculos de la pierna y tronco en respuesta a perturbaciones de plataforma hacia adelante produciendo un balanceo posterior en grupos de cuatro edades de sujetos normales. Tres respuestas sucesivas a las perturbaciones de la plataforma se muestran para cada niño. Las perturbaciones de la plataforma comenzaron al inicio de la grabación del electromiograma. Abreviaciones: T, tibial anterior; C, cuadiiceps; G, gemelos; I, isquiotibiales. (De Shumway-Cook A, Woollacott M. The growth of stability: postural control from a developmental perspective. *J Motor Behav* 1985; 17: 136.)

CONTRIBUCIONES SENSORIALES

Los impulsos visuales afectan el control del equilibrio de diversas formas. Para determinar estos efectos, es posible estimular las respuestas del equilibrio con impulsos visuales. De forma alternativa, se puede retirar la visión y ver si existe algún déficit en el funcionamiento del equilibrio.

El retirar los impulsos visuales con lentes opacos durante los movimientos de una plataforma horizontal tiene un sorprendente efecto en la organización de las respuestas posturales en niños de 2 a 7 años (44). Estudios anteriores han

descubierto que adultos con lentes opacos no muestran diferencias significativas en la organización o sincronización de las respuestas musculares. En cambio, de los 2 a 3 años, fue más probable que las respuestas posturales se activaran con latencias iniciales menores. En los niños de 4 a 6 años, nuevamente los patrones de respuesta muscular tuvieron una mayor probabilidad de activación, pero la sincronización de las respuestas fue más variable.

¿Cuál es la relevancia de las respuestas posturales más rápidas y con una organización más sistemática cuando no se cuenta con la visión?

Significa que las señales visuales no son necesarias para activar las respuestas posturales de niños de 2 años. De hecho, el retiro de las señales visuales realmente puede aumentar la sensibilidad del sistema postural a las señales propioceptivas y vestibulares restantes. Estos hallazgos sostienen el concepto de que la visión puede ser un sentido dominante para el control postural en el grupo de 2 a 3 años. Cuando la visión se retira, se produce un cambio desde la utilización de un impulso visual con una latencia mayor con los ojos abiertos hacia los impulsos propioceptivos de menor latencia con los ojos cerrados (44).

DESARROLLO DE LA ADAPTACIÓN SENSORIAL

El control postural se caracteriza por la capacidad de adaptar la forma en que empleamos la información sensorial sobre la posición y movimiento del cuerpo en el espacio en las cambiantes actividades y condiciones ambientales. El proceso de organizar y adaptar los impulsos sensoriales del control postural implica determinar la exactitud de los estímulos entrantes y seleccionar el sentido más apropiado para la orientación, según el contexto. Este proceso supone cambiar la importancia relativa de los impulsos sensoriales para el control postural, dependiendo de la exactitud sobre la orientación (64, 65). ¿Cómo el SNC aprende a interpretar la información de los receptores visuales, vestibulares y somatosensoriales y a relacionarlos con las acciones posturales?

Ya hemos descrito los hallazgos de los experimentos con habitaciones móviles que sugieren que el sistema visual posee un papel predominante en el *desarrollo* de las acciones posturales. Es decir, los impulsos visuales que informan la posición del cuerpo en el espacio parecen planificar las acciones musculares antes que otro sistema sensorial. En los niños pequeños, el uso invariable de los impulsos visuales para el control postural a veces puede ocultar la capacidad de otros sentidos para activar las acciones posturales. Los resultados de los experimentos en los que niños se balancearon sin impulsos visuales sugieren que en ciertos grupos etarios, las acciones posturales activadas por otros impulsos sensoriales pueden mejor organizarse que las asociadas a la visión.

También se han empleado posturografías de plataforma en conjunto con un entorno visual móvil para examinar el desarrollo de la integración

intersensorial para el control postural. Los protocolos de plataforma utilizados en el estudio de la organización y selección de los sentidos para el control postural fueron descritos en detalles en el capítulo anterior.

El desarrollo de la adaptación sensorial en niños de 2 a 9 años fue estudiado utilizando una modificación de dicho protocolo (59). Los infantes de 4 a 6 años se balancearon más que los niños mayores y adultos, incluso cuando estaban presentes los tres impulsos sensoriales (situación 1). Con los ojos cerrados (situación 2), su estabilidad disminuía más, pero no perdían el equilibrio.

Reducir la exactitud de la información somatosensorial para el control postural rotando la superficie de la plataforma (situación 3) reducía más la estabilidad del grupo de 4 a 6 años, y la mitad de ellos perdió el equilibrio. Cuando estos niños debían mantener el equilibrio utilizando principalmente la información vestibular para el control postural, sólo uno resbaló. En cambio, ninguno de los niños de 7 a 9 años perdió el equilibrio. La Figura 7.15 compara el balanceo corporal de niños de diversas edades y adultos en estas cuatro situaciones sensoriales (59).

Estos resultados sugieren que los niños menores a 7 años son incapaces de equilibrarse eficientemente cuando se retiran las señales somatosensoriales y visuales, dejando sólo las señales vestibulares para controlar la estabilidad. Además, los menores a 7 años muestran una reducida capacidad de adaptar los sentidos para el control postural apropiadamente cuando uno o más de estos sentidos son inexactos en entregar la información de la orientación corporal.

Desarrollo de las Acciones Posturales Anticipatorias

El movimiento complejo posee componentes posturales y voluntarios; el factor postural establece un marco de estabilidad que sostiene al segundo elemento, el del movimiento primario (66). Sin este marco postural de apoyo, se deteriora la acción especializada, como se aprecia en pacientes con diversos problemas motores.

El desarrollo del comportamiento de tomar objetos en infantes muestra los cambios que equilibran el desarrollo postural. Las últimas secciones de esta obra detallan el desarrollo de la función manipulatoria.

Incluso los infantes de 9 meses presentan una activación de los músculos posturales del tronco antes del desarrollo de la mayoría de los

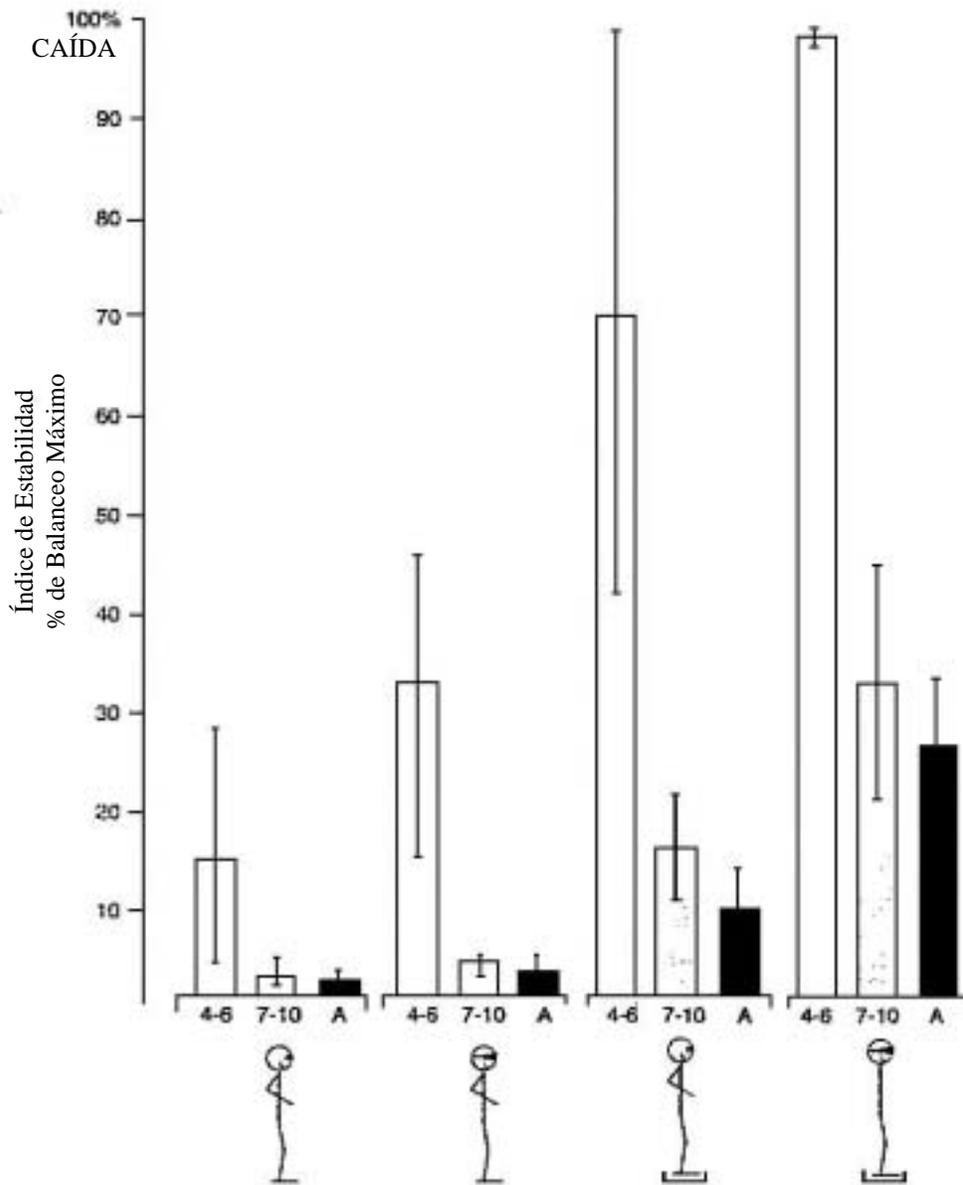


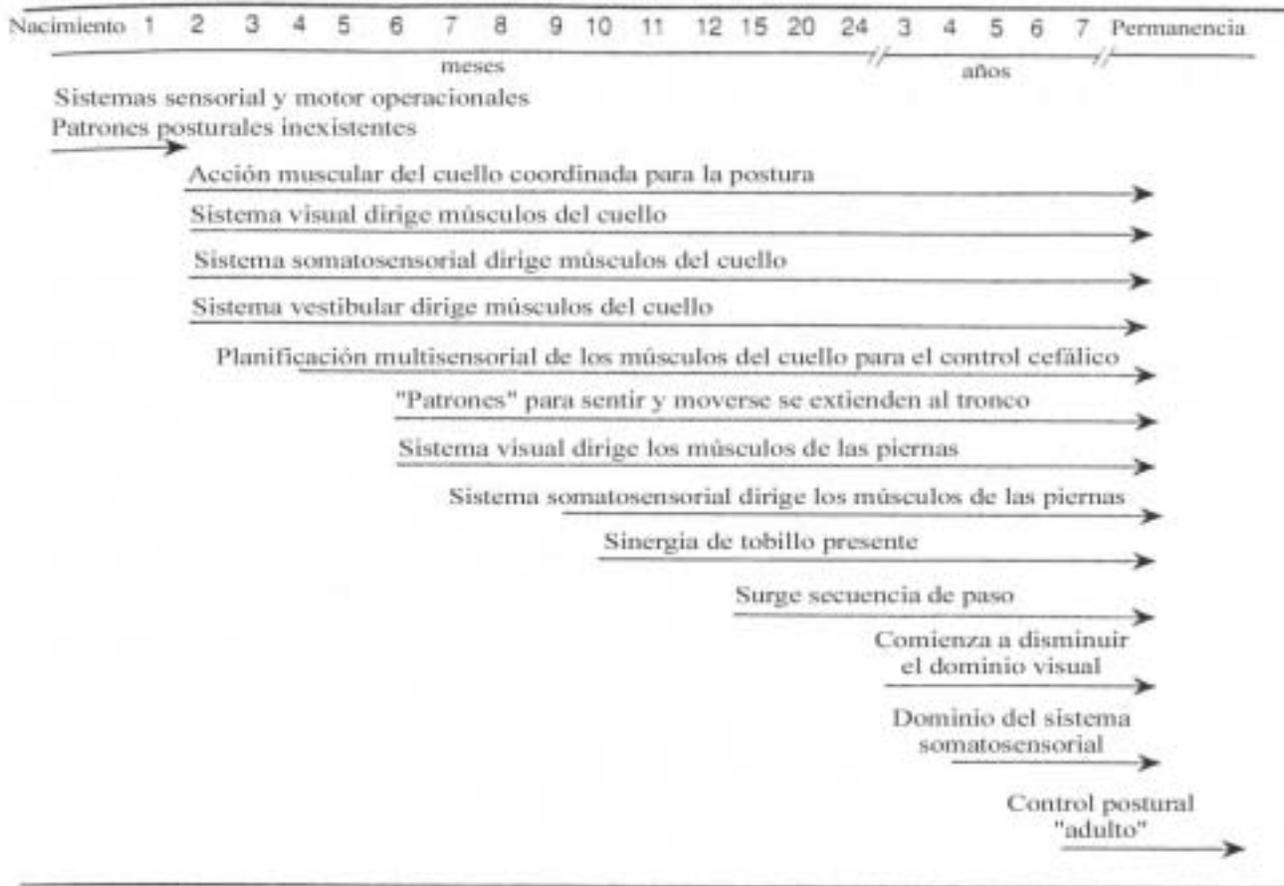
Figura 7.15. Comparación del balanceo corporal de niños de 4 a 6 años, de 7 a 10 y adultos en las cuatro situaciones. **A**, Ojos abiertos, superficie de apoyo firme. **B**, Ojos cerrados, superficie de apoyo firme. **C**, Ojos abiertos, superficie inestable **D**, Ojos cerrados, superficie inestable. (Adaptado de Shumway-Cook A, Woollacott M. The growth stability: postural control from a developmental perspective. *J Motor Behav* 1985; 17: 141.)

movimientos de alcance, aunque no de todos (67). En el momento en que los infantes son capaces de sentarse en forma independiente y muestran movimientos de alcance relativamente maduros, también presentan una activación anticipatoria de los músculos posturales para estabilizar movimientos voluntarios en posición sedente.

Los niños de 12 a 15 meses son capaces de activar músculos posturales antes que los movimientos de brazos mientras están de pie (58). Desde los 4 a 6 años, los ajustes posturales

anticipatorios que preceden los movimientos del brazo en bipedestación son esencialmente maduros (68, 69).

La Tabla 7.2 resume la aparición del control postural desde una perspectiva de sistemas. Al comparar las Tablas 7.1 y 7.2, puede ver las similitudes y diferencias entre este modelo y el reflejo-jerárquico en la descripción de la aparición del control postural en niños neurológicamente sanos.

Tabla 7.2 Modelo de Sistemas del Desarrollo Postural

RESUMEN

1. El desarrollo del control postural es un aspecto esencial del desarrollo de acciones complejas, como la locomoción y la manipulación
2. Siendo coherentes con los principios para el desarrollo de Gessell, el desarrollo postural parece caracterizarse por una progresión céfalo-caudal del control.
 - a. El control comienza en el segmento de la cabeza. El primer sentido que planifica el control cefálico parece ser la visión.
 - b. Cuando los infantes comienzan a sentarse independientemente, aprenden a coordinar la información sensorio-motora que relaciona los segmento de la cabeza y del tronco, extendiendo los patrones sensorio-motores del control postural cefálico a los músculos del tronco.
 - c. La planificación individual de los sentidos para la acción puede preceder la planificación múltiple de los sentidos, creando así las representaciones neurales internas necesarias para las capacidades posturales coordinadas.
3. La aparición del control postural puede caracterizarse por el desarrollo de patrones que relacionan los impulsos sensoriales, que informan la posición del cuerpo respecto al entorno, con las acciones motoras que controlan la posición del cuerpo.
 4. El control postural anticipatorio, que proporciona un marco de apoyo para los movimientos complejos, se desarrolla en paralelo con el control postural *reactivo*.
 5. Las capacidades adaptativas que permiten que el niño modifique las estrategias sensoriales y motoras según las cambiantes actividades y condiciones ambientales de desarrollan posteriormente. La experiencia en la utilización de estrategias sensoriales y motoras para la postura puede tener una función en el desarrollo de las capacidades adaptativas.
 6. La mejor forma caracterizar el desarrollo del control postural es como un continuo desarrollo de múltiples sistemas sensoriales y motores, los cuales se manifiestan conductualmente en la progresión discontinua

de los hitos motores. Las nuevas estrategias para sentir y moverse pueden asociarse al aparente retroceso en el comportamiento cuando los niños incorporan nuevas estrategias para el control postural a su repertorio.

7. No todos los sistemas que contribuyen a la aparición del control postural se desarrollan al mismo tiempo. Los componentes que limitan la velocidad determinan el ritmo al cual surge un comportamiento independiente. Así, la aparición del control postural debe esperar el desarrollo de los componentes esenciales más lentos.
8. Se ha generado un gran debate en los últimos años sobre los méritos relativos de los modelos

reflejo-jerárquico y de sistemas que explican el desarrollo postural. En muchos sentidos, los dos modelos concuerdan. Sus diferencias incluyen (a) el modelo reflejo-jerárquico ve el control del equilibrio desde una perspectiva reactiva, mientras que el de sistemas acentúa la importancia de los aspectos anticipatorio, reactivo y adaptativo del sistema y (b) el modelo reflejo-jerárquico tiende a ponderar el papel de la maduración del SNC más que la experiencia, mientras que el de sistemas enfatiza la función de uno sobre el otro.
