



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

TESIS DOCTORAL

**ANÁLISIS DE LA POSTURA EN BEBÉS DE 0 A 6 MESES
EN DECÚBITO VENTRAL Y DORSAL A TRAVÉS DE
TÉCNICAS DE APRENDIZAJE PROFUNDO**

SARA VELÁZQUEZ IGLESIAS

Salamanca, 2024



**VNiVERSIDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

TESIS DOCTORAL

**ANÁLISIS DE LA POSTURA EN BEBÉS DE 0 A 6 MESES
EN DECÚBITO VENTRAL Y DORSAL A TRAVÉS DE TÉCNICAS
DE APRENDIZAJE PROFUNDO**

SARA VELÁZQUEZ IGLESIAS

DIRECTORAS

Dra. Inés Llamas Ramos

Dra. Fátima Pérez Robledo

Salamanca, 2024



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

**FACULTAD DE ENFERMERÍA Y FISIOTERAPIA
CAMPUS MIGUEL DE UNAMUNO
37007 SALAMANCA**

Dña. **INÉS LLAMAS RAMOS** y Dña. **FÁTIMA PÉREZ ROBLEDO**, profesoras de la Facultad de Enfermería y Fisioterapia del Departamento de Enfermería y Fisioterapia,

CERTIFICAN:

Que la memoria titulada **“ANÁLISIS DE LA POSTURA EN BEBÉS DE 0 A 6 MESES EN DECÚBITO VENTRAL Y DORSAL A TRAVÉS DE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE PROFUNDO”** que presenta Dña. **SARA VELÁZQUEZ IGLESIAS** para optar al grado de Doctor por la Universidad de Salamanca, ha sido realizada bajo su dirección en la Facultad de Enfermería y Fisioterapia de la Universidad de Salamanca y, considerándola finalizada, autorizan su presentación para que sea juzgada por el tribunal correspondiente.

Para que así conste, expiden y firman la presente certificación en Salamanca, a 26 de junio de 2024.

Firma: **INÉS LLAMAS RAMOS**

Firma: **FÁTIMA PÉREZ ROBLEDO**

*“No te rindas, aún estás a tiempo
de alcanzar y comenzar de nuevo,
aceptar tus sombras,
enterrar tus miedos,
liberar el lastre,
retomar el vuelo.*

*No te rindas, que la vida es eso,
continuar el viaje,
perseguir tus sueños,
destrabar el tiempo,
correr los escombros,
y destapar el cielo”.*

Mario Benedetti

*A Diego,
que con un amor incondicional
nunca me ha soltado de la mano;*

*A mi madre,
que, con un amor infinito, es la luz de
mi camino.*

AGRADECIMIENTOS

Durante estos cuatro años mi vida dio un vuelco, como todos, tras el 2020. Pues esta tesis empezó en un mundo de pandemia, caótico y lleno de incertidumbre. En esa incertidumbre, muchas personas me sostuvieron y apoyaron en todo este proyecto y quería agradecerles todo su apoyo. Especialmente, quiero agradecer a:

A la doctora Inés Llamas Ramos, que desde antes de que este proyecto surgiera, ya me brindó su apoyo y ayuda, siempre con una sonrisa, haciendo que todo pareciera más fácil. Muchas gracias, Inés, por tus correcciones, revisiones e impulso constante.

A la doctora Fátima Pérez Robledo, con la que compartí enseñanzas de Vojta, por su ayuda inestimable en todos los procesos de esta tesis, por sus comentarios y revisiones, por su gran aportación a este proyecto. Muchas gracias, Fátima.

Al catedrático y doctor José Ignacio Calvo Arenillas. Mi querido Checho, gracias a ti descubrí en la carrera mi verdadera vocación, estaba perdida y sin muchos ánimos, gracias a tus clases de Vojta y de desarrollo motor, vi en tus ojos la alegría en las explicaciones del apasionante mundo del neurodesarrollo. Tus clases me inspiraron a dedicarme a la fisioterapia dedicada a los más pequeños; y tu pasión por la ayuda a los demás desde la humildad y el cariño, me transformó. Me has acompañado en todas las etapas desde que estudié la carrera, después en el mundo laboral en distintas instituciones, así como la maravillosa formación de Vojta, también me animaste a seguir mi camino. Gracias por transmitirme tu alegría y cariño constante, siempre con una sonrisa y un abrazo. Sin ti nada de esto hubiera sido posible.

A Belén Curto Diego y Vidal Moreno Rodilla, por sus enormes aportaciones y su ayuda en todo este proyecto, incluyendo una visión de futuro innovadora.

A Rocío Llamas Ramos, por su ayuda y apoyo en este proyecto. Muchas gracias por todo.

A las familias y a los bebés que han participado; que en una etapa complicada de pandemia, quisieron colaborar y dejarnos valorar a sus bebés. Mil gracias a cada una de las mamás, de los papás y, sobre todo, a los bebés que nos permitieron valorar su desarrollo.

A las familias, bebés y niños de la clínica, que han sido pacientes y han comprendido que tenía que ausentarme unos días para poder acabar este proyecto. Mil gracias por vuestra paciencia y vuestra confianza día a día en mi trabajo.

A Diego, mi compañero de vida, nunca me has soltado de la mano, me has ayudado, consolado, animado, impulsado, aguantado mis malos ratos, has dejado de lado todos tus compromisos para ayudarme (especialmente con tus correcciones y revisiones constantes), has hecho posible que pueda enfocarme en este proyecto. Mil gracias de todo corazón por ser paciente en esta etapa, has hecho que todo esto fuera posible. Te amo.

A mi mamá, Luz, mil gracias por tu cariño y apoyo incondicional, tus ánimos, tus abrazos, las frases de coraje, todo lo que me enseñas cada día, por darme todo por tus hijos, siempre. Tu gran fortaleza me ayuda a seguir hacia adelante y tu visión artista me da alas. Estoy tremendamente orgullosa de ti. Te quiero mamá.

A mi padre, José Luis, por quererme y ayudarme en todo lo que ha podido todos estos años, por darme todo por nosotros. Te quiero papá.

A Yuri, por traer alegría y amor a nuestro hogar.

A todos mis familiares, amigos y seres queridos, que de alguna forma me habéis acompañado en el camino hasta este momento. Compartiendo temores, miedos, inseguridades... pero también alegrías y muchas satisfacciones. No habría llegado hasta aquí sin vosotros.

En especial, gracias a la personita que vendrá y me ha acompañado en la última etapa de este proyecto. Mi vida, me has hecho más fuerte cuando más débil me encontraba. Tus futuros papás estamos deseando conocerte. Te queremos mucho.

The image displays a musical score for piano, organized into five systems. Each system consists of two staves: a treble clef staff for the right hand and a bass clef staff for the left hand. The music is written in a 3/4 time signature and a minor key, indicated by one flat in the key signature. The score includes various musical notations such as notes, rests, and dynamic markings. The first system starts with a whole rest in the right hand and a series of chords in the left hand. The second system begins with a melodic phrase in the right hand. The third system continues the melodic development. The fourth system shows a more complex melodic line. The fifth system concludes with a final melodic phrase and a cadence in the left hand.

ABREVIATURAS

- **ANN:** artificial neuronal networks. En español, redes neuronales artificiales (**RNA**).
- **CCD:** charge-coupled device. En español, dispositivo de carga acoplada.
- **CNN:** convolutional neural networks. En español, redes neuronales convolucionales (**RNC**).
- **COP:** center of pressure. En español, centro de presión.
- **CRF:** conditional random field. En español, campos aleatorios condicionales.
- **DL:** Deep learning. En español, técnicas de aprendizaje profundo.
- **GPU:** graphical processing units. En español, unidades de procesamiento gráfico.
- **IA:** inteligencia artificial.
- **ML:** machine learning. En español, aprendizaje automático.
- **PC:** parálisis cerebral.
- **SMSL:** síndrome de la muerte súbita del lactante.
- **SNC:** sistema nervioso central.
- **RTCA:** reflejo tónico cervical asimétrico.
- **TEA:** trastorno del espectro autista.
- **TV:** terapia Vojta.
- **UCIN:** unidad de cuidados intensivos neonatales.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I.	RESUMEN	24
II.	INTRODUCCIÓN	28
III.	MARCO TEÓRICO.....	32
1.	Fundamentos del control motor y postural en el desarrollo motor humano.....	32
2.	Desarrollo perceptual.....	47
3.	Neuroplasticidad y desarrollo	49
4.	El desarrollo motor y la ontogénesis postural	50
4.1.	Ontogénesis postural de 0 a 6 meses.....	53
4.1.1.	El primer estadio: estadio de los reflejos primitivos, 0 a 6ª semanas	54
4.1.1.1.	Etapa de 0 a 4ª semana: mecanismos de enderezamiento en decúbito ventral ..	57
4.1.1.2.	Etapa de 0 a 4ª semana: patrones posturales en decúbito dorsal.....	58
4.1.1.2.1.	Etapa de 4ª a 6ª semana: patrones posturales en decúbito dorsal	61
4.1.1.2.2.	Etapa de 4ª a 6ª semana: patrones posturales en decúbito ventral.....	63
4.1.2.	El segundo estadio: desaparición de los reflejos primitivos, de 7ª a 13ª semana	64
4.1.2.1.	Etapa de la 7ª a 13ª semana: patrones posturales en decúbito dorsal	65
4.1.2.2.	Etapa de la 7ª a 13ª semana: patrones posturales en decúbito ventral	70
4.1.3.	El tercer estadio: diferenciación de la motricidad gruesa, 3 ^{er} , 4 ^o , 7 ^o , 8 ^o mes	74
4.1.3.1.	Etapa 3 ^{er} , 4 ^o , 5 ^o y 6 ^o mes de vida: patrones posturales en decúbito dorsal	77
4.1.3.2.	Etapa 3 ^{er} , 4 ^o , 5 ^o y 6 ^o mes de vida: patrones posturales en decúbito ventral.....	83
5.	Cinesiología de la ontogénesis como medida de valoración	86
5.1.	El Principio Vojta.....	89
5.1.1.	Diagnóstico neurocinesiológico precoz en lactantes según el Principio Vojta	90
5.2.	Dinámica de los reflejos primitivos en el desarrollo normal.....	91
5.2.1.	Reflejos orofaciales	91
5.2.2.	Los reflejos tónicos.....	93
5.2.3.	Los reflejos cutáneos.....	95
5.2.4.	El reflejo de Moro.....	97
5.2.5.	El reflejo de Rossolimo	99
5.2.6.	Los reflejos osteotendinosos.....	99
5.3.	Las reacciones posturales.....	100
5.3.1.	Reacción de Tracción.....	101
5.3.2.	Reacción de Landau.....	103
5.3.3.	Reacción a la Suspensión Axilar.....	104
5.3.4.	Reacción Lateral de Vojta.....	104
5.3.5.	Reacción de Collis Horizontal	106
5.3.6.	Reacción Vertical de Peiper-Isbert	107
5.3.7.	Reacción de Collis Vertical.....	108
5.4.	Valoración de la displasia de cadera	109

5.5.	Valoración de la antetorsión femoral.....	111
6.	La inteligencia artificial en medicina. Transformando el aprendizaje y la práctica clínica	112
6.1.	Aplicaciones prácticas de la IA en medicina.....	116
6.1.1.	La inteligencia artificial como herramienta en el análisis postural	118
IV.	RELEVANCIA CLÍNICA.....	122
1.	La importancia del diagnóstico temprano y la intervención precoz	123
2.	La relevancia de definir el desarrollo motor típico y el desarrollo motor atípico.....	128
3.	La necesidad de ofrecer un dispositivo objetivo de análisis postural y motor	129
V.	HIPÓTESIS	138
VI.	OBJETIVOS	138
VII.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	142
1.	DISEÑO	142
2.	MUESTRA / PARTICIPANTES	142
2.1.	Criterios de inclusión.....	142
2.2.	Criterios de exclusión	142
3.	VARIABLES	142
3.1.	Instrumentos de medición	143
3.1.1.	Historia Clínica.....	143
3.1.2.	Plataforma de cristal	143
3.1.3.	Entorno software Matlab	144
3.1.4.	Aplicación <i>Artstudio Pro</i>	145
4.	PROCEDIMIENTO.....	145
4.1.	Valoración cinesiológica	147
4.2.	Toma de imágenes en la plataforma de cristal	148
4.3.	Procedimiento del entrenamiento de la red neuronal profunda	148
4.3.1.	Creación de las carpetas con <i>Dataset</i>	149
4.3.2.	Definición de los significados	149
4.3.3.	Procesamiento de los vídeos captados	151
4.3.4.	Obtención de <i>DataSet</i>	153
4.3.5.	Entrenamiento de la IA.....	153
4.3.6.	Desarrollo <i>Machine Learning</i>	154
4.3.7.	Entrenamiento del sistema de segmentación semántica	154
5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	155
VIII.	RESULTADOS.....	158
1.	Resultados descriptivos demográficos de la historia clínica	158
2.	Resultados de la valoración cinesiológica	161
3.	Resultados de los <i>frames</i> procesados con ML	168
3.1.1.	Análisis estadístico de los <i>DataSets</i>	169
3.1.2.	Preparar los conjuntos de entrenamiento, validación y test	170

3.1.3.	Creación de la red neuronal profunda	170
3.1.4.	Equilibrado de las clases.....	170
3.1.5.	Resultados del entrenamiento de la red	170
3.1.6.	Almacenamiento de la red	172
3.2.	Validación cualitativa de los resultados de la red de segmentación.....	173
3.2.1.	Evaluación de los apoyos en función de la edad del bebé	189
3.3.	Evaluación cuantitativa de las presentaciones de la red de segmentación	190
3.3.1.	Comprobación de la red sobre una imagen individual.....	191
3.3.2.	Comprobación de la red sobre el conjunto completo de Test	193
3.3.3.	Cálculo de las métricas de evaluación.....	196
IX.	DISCUSIÓN.....	202
1.	La muestra del estudio	203
2.	Interpretación de los resultados descriptivos demográficos de la historia clínica	206
2.1.	La puntuación de Apgar.....	206
2.2.	La lactancia y la succión.....	207
2.3.	Los trastornos digestivos	207
2.4.	El cólico del lactante.....	208
2.5.	La bronquiolitis	209
2.6.	La conjuntivitis.....	210
2.7.	Los patrones de sueño y hábitos alimenticios	210
2.8.	El porteo	210
3.	Interpretación de los resultados de la valoración cinesiológica	211
4.	Interpretación de los resultados de los <i>frames</i> procesados con ML.....	213
5.	Limitaciones del estudio.....	220
6.	En futuras líneas de investigación	221
X.	CONCLUSIONES	224
XI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	228
XII.	ANEXOS.....	250
	Anexo 1: Comité de Ética	250
	Anexo 2: Póster informativo del estudio de investigación	251
	Anexo 3: Hoja informativa y de Protección de Datos Personales	252
	Anexo 4: Autorización del paciente para la toma y utilización de imágenes y vídeo	254
	Anexo 5: Historia clínica	255
	Anexo 6: Valoración cinesiológica del desarrollo motor y postural.....	259

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Factores que influyen en el desarrollo motor	36
Figura 2. Bebé en decúbito dorsal en el gimnasio durante el registro del centro de presión.	46
Figura 3. Procesamiento de datos de control postural.	47
Figura 4. Recién nacido en decúbito ventral	57
Figura 5. Reacción tipo Moro	59
Figura 6. Postura del esgrimista	65
Figura 7. Fase de distonía fisiológica.	67
Figura 8. Coordinación mano-mano madura.	68
Figura 9. Apoyo simétrico en codos.	71
Figura 10. Configuración en la progresión de puntos de apoyo en decúbito ventral.....	72
Figura 11. Apoyo activo y simétrico en codos.....	72
Figura 12. Apoyo simétrico en codos con movimiento libre de antebrazos y manos	73
Figura 13. Apoyo asimétrico en codos.	74
Figura 14. Fase de <i>split-brain</i>	78
Figura 15. Decúbito dorsal a la edad de 5 meses.....	79
Figura 16. Superación de la fase de <i>split-brain</i>	79
Figura 17. Apoyo asimétrico en codos.	84
Figura 18. Patrón del nadador.....	85
Figura 19. Apoyo simétrico en manos es el segundo callejón sin salida.....	85
Figura 20. Maniobra de Barlow	110
Figura 21. Maniobra de Ortolani.	111
Figura 22. Estructura básica de una red neuronal.	115
Figura 23. Descripción general de la plataforma <i>CareToy-R</i> y sus componentes (155).....	127
Figura 24. Ejemplo representativo de la colocación de un acelerómetro (155).....	127
Figura 25. Plataforma de cristal, vista lateral.....	143
Figura 26. Plataforma de cristal, vista frontal.	143
Figura 27. Unidad de Procesamiento Gráfico 2012-2014.	144
Figura 28. Imagen interpretada con la aplicación Artsudio Pro.....	145
Figura 29. Toma de vídeo en la plataforma de cristal con cámara GoPro.	148
Figura 30. Transformación de imagen real en imagen del <i>DataSet (Ground-Truth)</i>	150
Figura 31. Sistema propuesto de visión artificial basado en <i>Machine Learning</i>	152
Figura 32. Segmentación semántica de la imagen utilizando la arquitectura ResNet 50. Imagen adaptada de Benbahria et al (176).....	169
Figura 33. Frecuencia de los significados.	169
Figura 34. Resultados de entrenamiento hasta la iteración 469: (a) precisión; (b) pérdidas.	171
Figura 35. Resultados de entrenamiento hasta la iteración 1200: (a) precisión; (b) pérdidas.	172
Figura 36. Estructura de datos	172
Figura 37. Índice de Jaccard de la imagen 35 de Test.	192

Figura 38. Índice Jaccard de la imagen de Test 40.	193
Figura 39. Matriz de difusión.....	194
Figura 40. Matriz de confusión normalizada.....	195
Figura 41. Resultados de las métricas a nivel de clase.....	197
Figura 42. Resultados de las métricas a nivel global del <i>DataSet</i>	198

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución del desarrollo postural en cuatro estadios.....	51
Tabla 2. Niveles de integración sensoriomotora.....	87
Tabla 3. Reflejos primitivos y sus tiempos de latencia.....	98
Tabla 4. Síntomas patológicos de los reflejos primitivos	99
Tabla 5. Reacciones posturales en la cinesiología del desarrollo revisada por el profesor Vojta.....	101
Tabla 6. Reacción de Tracción	102
Tabla 7. Reacción de Landau	103
Tabla 8. Reacción de Suspensión Axilar	104
Tabla 9. Reacción Lateral de Vojta	105
Tabla 10. Reacción de Collis Horizontal.....	107
Tabla 11. Reacción Vertical de Peiper-Isbert	108
Tabla 12. Reacción de Collis Vertical.....	109
Tabla 13. Etiquetas, clases semánticas y mapa de color.....	149
Tabla 14. Resultados estadísticos descriptivos.	159
Tabla 14. Resultados estadísticos descriptivos (continuación).....	160
Tabla 15. Valoración funcional en decúbito dorsal.	161
Tabla 16. Valoración funcional en decúbito ventral.	162
Tabla 17. Valoración de los reflejos primitivos.	163
Tabla 17. Valoración de los reflejos primitivos (continuación).....	164
Tabla 18. Valoración de los reflejos osteotendinosos.....	165
Tabla 19. Evaluación ortopédica.	165
Tabla 20. Valoración de las reacciones posturales.....	166
Tabla 21. Valoración de los patrones de movimiento.....	167
Tabla 22a. Comparación de fotogramas entre CNN y <i>Ground-Truth</i> (Bebé 3).	175
Tabla 22b. Comparación de fotogramas entre CNN y criterios de expertos (Bebé 3).....	176
Tabla 23a. Comparación de fotogramas entre CNN y <i>Ground-Truth</i> (Bebé 4).	177
Tabla 23b. Comparación de fotogramas entre CNN y criterios de expertos (Bebé 4).....	178
Tabla 24a. Comparación de fotogramas entre CNN y <i>Ground-Truth</i> (Bebé 5).	181
Tabla 24b. Comparación de fotogramas entre CNN y criterios de expertos (Bebé 5).....	182
Tabla 25a. Comparación de fotogramas entre CNN y <i>Ground-Truth</i> (Bebé 20).	184
Tabla 25b. Comparación de fotogramas entre CNN y criterios de expertos (Bebé 20).....	185
Tabla 26a. Comparación de fotogramas entre CNN y <i>Ground-Truth</i> (Bebé 26).	187
Tabla 26b. Comparación de fotogramas entre CNN y criterios de expertos (Bebé 26).....	188
Tabla 27. Comparación del área de apoyo a nivel caudal en dos bebés.....	190
Tabla 28. Resultados de la comparación de la imagen 35 Test.....	191
Tabla 29. Resultados de la comparación de la imagen 40 Test.....	193

RESUMEN

I. RESUMEN

Introducción: El análisis postural en las primeras etapas del desarrollo motor siempre ha sido motivo de investigación y estudio. Con la evolución de las nuevas tecnologías surge la necesidad de implementar herramientas de evaluación que permitan valorar de manera objetiva y eficaz el control postural que está intrínsecamente ligado al desarrollo motor.

Objetivo: Analizar la postura en bebés de 0 a 6 meses en decúbito ventral y dorsal empleando la inteligencia artificial para determinar parámetros objetivables de valoración de la postura.

Métodos: Se trata de un estudio observacional y transversal. Se estudió a los bebés siguiendo una sistemática de valoración cinesiológica y posteriormente se tomaron imágenes a los lactantes, tanto en decúbito ventral como en decúbito dorsal, en una plataforma de cristal, para analizar su postura mediante técnicas de aprendizaje profundo.

Resultados: Participaron 26 lactantes desde enero de 2019 hasta septiembre de 2021. Se capturaron 2000 fotogramas de sus movimientos para analizar sus apoyos y comportamiento. La muestra, compuesta por un 57,7% de varones y con una edad media de $3,16 \pm 1,52$ meses, tenían un peso medio de $3,14 \pm 0,35$ kg y una talla media de $50,18 \pm 1,27$ cm. La edad gestacional media fue de $39,73 \pm 1,11$ semanas. El 42% de los niños tenían menos de 3 meses. En la evaluación cinesiológica se observó que el 61,5% de los bebés podía mantener la cabeza en la línea media en decúbito supino, el 92,3% presentaba captura foveal y el 96,2% buen control del tono muscular. También se analizaron los *frames* procesados con aprendizaje profundo y se detectó que el proceso de entrenamiento converge después de 300 iteraciones de *frames* entrenados.

Conclusiones: Actualmente no existe un método de evaluación del desarrollo motor y postural que determine las áreas de apoyo en bebés con desarrollo típico. La detección temprana de retrasos en el desarrollo motor o postural es crucial para optimizar el tratamiento eficaz. La inteligencia artificial (IA) se presenta como una herramienta eficaz para analizar de manera objetiva la postura de los bebés y detectar posibles retrasos en el desarrollo. Mediante técnicas de aprendizaje profundo se podrán definir las áreas de apoyo específicas para cada lactante según su edad reduciendo la carga de trabajo de los profesionales de la salud, facilitando así la toma de decisiones.

Palabras clave: *bebés, análisis postural, desarrollo motor, inteligencia artificial, aprendizaje profundo, redes neuronales, decúbito ventral, decúbito dorsal.*

INTRODUCCIÓN

II. INTRODUCCIÓN

La postura es un indicador fundamental del desarrollo neuromotor en los bebés, proporcionando una valiosa información sobre la salud y el progreso neurológico del niño. Desde el nacimiento, los bebés comienzan un proceso de crecimiento y desarrollo que incluye hitos importantes en su capacidad motora y neurológica. La manera en que un bebé sostiene y mueve su cuerpo puede dar pistas cruciales sobre cómo su sistema nervioso está madurando y funcionando. En los primeros meses de vida, una evaluación postural es vital para identificar desviaciones y determinar si un bebé está alcanzando los hitos motores esperados para su edad y, en consecuencia, fomentar el desarrollo motor adecuado.

La identificación oportuna de disfunciones en el desarrollo neuromotor de los recién nacidos posibilita la realización de un diagnóstico clínico, temprano y preciso, que posibilite la implementación precoz de estrategias de intervención que promuevan la plasticidad neuronal, estructural y funcional. Esto es clave, ya que las intervenciones tempranas pueden ser decisivas para abordar cualquier retraso o anomalía postural o motora, especialmente en aquellos recién nacidos que presenten factores de riesgo neurológico identificables en el nacimiento. La evaluación del análisis postural en bebés es un componente esencial para vigilar el desarrollo motor correspondiente a su edad y para detectar precozmente posibles problemas potenciales. La detección temprana facilita intervenciones oportunas que pueden tener un impacto significativo en la salud y calidad de vida del niño a largo plazo, así se pueden reducir las probabilidades de que se desarrollen condiciones que afecten el desempeño funcional de los niños, lo que permite mejorar el pronóstico funcional en aquellos casos donde el diagnóstico es tardío.

En el ámbito sanitario, la incorporación de tecnologías avanzadas ha revolucionado múltiples aspectos de la prevención, la evaluación y el tratamiento. Los progresos tecnológicos, especialmente en el campo de la inteligencia artificial y el aprendizaje profundo, ofrecen nuevas herramientas para un análisis postural objetivo y eficiente. Las técnicas de aprendizaje profundo, como las redes neuronales convolucionales, permiten la segmentación semántica en imágenes, proporcionando una valoración precisa y minuciosa del desarrollo postural y motor en bebés. Este método ofrece la posibilidad de identificar de manera precoz posibles retrasos y anomalías, lo cual facilita la implementación de las pertinentes intervenciones o abordajes terapéuticos. Estas acciones son trascendentales durante los primeros meses de vida para garantizar un desarrollo motor adecuado y promover una mejor calidad de vida en el futuro.

Este estudio de investigación tiene como objetivo analizar la postura en bebés de 0 a 6 meses en decúbito ventral y dorsal utilizando técnicas de aprendizaje profundo para determinar las áreas de apoyo durante los primeros dos trimestres de vida.

MARCO TEÓRICO

III. MARCO TEÓRICO

1. Fundamentos del control motor y postural en el desarrollo motor humano

El control motor se define como la capacidad para regular o dirigir los mecanismos esenciales para el movimiento y surge de la interacción entre el individuo, la actividad y el ambiente (1). Se define asimismo como la transmisión sistemática de impulsos nerviosos desde la corteza motora a las unidades motoras, lo que produce contracciones coordinadas de los músculos (2). Del mismo modo, el estudio del control motor implica el análisis de la causa y la naturaleza del movimiento, desde esta perspectiva, puede asociarse tanto con la estabilización del cuerpo en el espacio, es decir, con el control de la postura y del equilibrio; como con el desplazamiento del cuerpo en el espacio, relacionado con el control motor aplicado al movimiento (1,3).

Por otro lado, el control postural se define como una compleja interacción entre los sistemas sensoriales y motores que, al percibir los estímulos ambientales en respuesta a alteraciones en la orientación del cuerpo en el medio ambiente, debe mantener el centro de gravedad del cuerpo dentro de la base de apoyo (4). Por consiguiente, el control postural regula la posición del cuerpo en el espacio con el propósito de proporcionar la orientación y el equilibrio basándose en la integración vestibular, en la información visual, propioceptiva y táctil, y en representación interna de la orientación del cuerpo en el espacio. Para ello, se requiere una integridad en todos los niveles del funcionamiento del control motor puesto que la posición del cuerpo en el espacio enfocada a la orientación y el equilibrio es regulada por el control postural (5,6). Además, uno de los objetivos del sistema nervioso es el mantenimiento del esquema corporal durante las modificaciones del ambiente o durante el movimiento. En este sentido, el control postural asegura una adecuada relación entre los segmentos del cuerpo y el entorno, además de regular el centro de gravedad en relación con la base de apoyo para lograr estabilidad y orientación.

La orientación postural se define como la capacidad de mantener una relación correcta entre los segmentos del cuerpo y entre el cuerpo y el entorno cuando se realiza una tarea (7). La estabilidad postural o equilibrio es la capacidad de controlar la proyección vertical del centro de gravedad para mantenerla dentro de la base de sustentación (1,8). Este control postural se entrelaza con el desarrollo motor en los seres humanos, pues constituye una parte fundamental de la coordinación de los movimientos y la postura. El desarrollo motor se refiere a la red de estructuras y procesos en el cuerpo humano que están involucrados en el control y la ejecución del movimiento. Este sistema juega un papel fundamental en la coordinación de actividades motoras, desde acciones simples como levantar un brazo; hasta tareas más complejas, que involucran movimientos coordinados de varios músculos y articulaciones.

Por lo tanto, el desarrollo motor es un proceso con gran variabilidad y complejidad, pero al mismo tiempo predecible, pues el control postural se puede dar de manera similar en niños con

variantes típicas (9). Normalmente, el desarrollo de las habilidades motoras y el desarrollo del control postural están estrechamente relacionados. Por tanto, se espera que los cambios en el desarrollo motor estén relacionados con cambios en el control postural y viceversa (10). Asimismo, el desarrollo motor ocurre a lo largo de períodos de adquisición, adaptación y variabilidad de habilidades motoras (11).

El control postural es un comportamiento sensoriomotor complejo que mantiene el equilibrio contrarrestando las fuerzas gravitacionales y anticipando los desafíos posturales inducidos por demandas externas y perturbaciones. Se basa en las restricciones biomecánicas del cuerpo con sus huesos, articulaciones, ligamentos y músculos. Redes neuronales espinales y supraespinales con fuertes contribuciones sensoriales son las que controlan la actividad muscular antigravitatoria. El control postural en humanos bípedos tiene algunas características distintivas, incluyendo la mayor contribución vestibular al equilibrio y el control supraspinal más prominente de la postura. Los aspectos supraespinales del control postural en humanos también se reflejan por su sensibilidad a los desafíos cognitivos (12).

El control postural implica el control de la posición del cuerpo en el espacio, la orientación y la estabilidad. Esta estabilización es necesaria para el movimiento libre y selectivo de la cabeza y las extremidades. El control del tronco proporciona un marco inicial para el control postural, controla la estabilización selectiva del movimiento del tronco y asegura el desarrollo de las habilidades motoras gruesas. Constituye la base para desarrollar actividades dirigidas a objetivos esenciales para la vida independiente en el hogar o en la comunidad. Un tronco estable también ayuda a desarrollar las habilidades cognitivas, sociales y de comunicación del niño, promoviendo la orientación del niño hacia sí mismo y hacia el entorno (13,14).

En el desarrollo típico, hay evidencia de que las destrezas motoras gruesas (que son una parte importante del desarrollo motor), como el control postural, pueden afectar a la exploración de objetos a través de las posibilidades que ofrecen las posturas (15). La relación entre las habilidades motoras gruesas y la exploración de objetos en bebés es un aspecto fundamental en el desarrollo infantil ya que permite a los bebés alcanzar y manipular objetos, lo cual es crucial para su aprendizaje y desarrollo cognitivo. Esta habilidad no solo facilita la interacción física con el entorno, sino que también promueve la curiosidad y el entendimiento del mundo que los rodea.

El artículo de Lima-Álvarez et al. (16) pone de manifiesto la falta de un estudio cinemático del desarrollo. Por lo tanto, los autores realizaron un estudio longitudinal hasta los 4 meses registrando los cambios en la postura y los movimientos de la cabeza al seguir un objeto visual. Los resultados mostraron que después de 2 meses, la cabeza se mantenía con mayor frecuencia en la línea media del cuerpo y esto iba acompañado de un aumento en el número, la extensión y la velocidad del movimiento de esta.

Las habilidades motoras son importantes para el desarrollo del bebé, ya que todo lo que hace requiere de ellas (17): acciones posturales, locomotoras y manuales; acciones exploratorias; interacciones sociales; y acciones con artefactos. Dicho de otra manera, toda conducta es conducta motora y, por tanto, la adquisición de habilidades motoras es sinónimo de desarrollo conductual.

Las normas de edad para las habilidades motoras básicas proporcionan diagnósticos útiles para el desarrollo "típico", pero las diferencias culturales en las prácticas de crianza influyen en las edades de inicio de las habilidades. Siempre que surgen, las habilidades motoras sientan las bases para el desarrollo al abrir nuevas oportunidades de aprendizaje. El control postural pone a la vista y al alcance nuevas partes del entorno; la locomoción hace accesible el mundo más amplio; las habilidades manuales promueven nuevas formas de interacción con los objetos; y las habilidades motoras que involucran cada parte del cuerpo mejoran las oportunidades de interacción social. Así, las habilidades motoras pueden instigar una cascada de desarrollos en dominios muy alejados del comportamiento motor: percepción y cognición, lenguaje y comunicación, expresión y regulación emocional, crecimiento físico y salud, etc. Finalmente, la adquisición de habilidades motoras hace que el comportamiento sea cada vez más funcional y flexible. Los bebés aprenden a adaptar su comportamiento a las variaciones de su cuerpo y su entorno y a descubrir o construir nuevos medios para lograr sus objetivos.

En el artículo de Dusing et al. (18) se estudia la variabilidad postural y desarrollo sensoriomotor en la infancia. Los bebés desarrollan habilidades a través de una interacción entre sus sistemas sensoriales y motores. Los recién nacidos deben interpretar la información sensorial y utilizarla para modificar los movimientos y organizar el sistema de control postural según las demandas de la tarea. Este artículo comienza con una breve revisión de la evidencia sobre el uso de la información sensorial en los primeros meses de vida, y describe la importancia de la variabilidad del movimiento y el control postural en la infancia. Esta introducción es seguida por una revisión de la evidencia sobre las interacciones entre los sistemas sensoriales, motores y de control postural en los bebés con desarrollo típico. El artículo destaca la capacidad de los bebés jóvenes para utilizar la información sensorial para modificar los comportamientos motores y aprender de sus experiencias. Por último, el artículo destaca certeza del uso atípico de los sistemas sensoriales, motores y de control postural en los primeros meses de vida en bebés que nacieron prematuros, con lesiones cerebrales neonatales o diagnosticados más tarde con parálisis cerebral (PC).

En el estudio de Sánchez-González et al. (19) se valora el sistema visual y desarrollo motor en niños a través de una revisión sistemática. El objetivo de este estudio fue revisar la literatura científica disponible sobre la posible relación entre el sistema visual y el desarrollo motor en los niños. Los resultados revelaron que, entre los artículos identificados, 23 fueron incluidos en el estudio. La calidad de la mayoría de los estudios fue moderada-alta y se ubicaron entre los niveles de evidencia 2 y 4. En conclusión, esta revisión sistemática reveló que todos los estudios incluidos establecieron una relación

entre el sistema visual y el desarrollo en los niños. Sin embargo, los métodos para medir el sistema visual y las habilidades motoras carecían de uniformidad.

Otro grupo de investigación revisó la investigación sobre el desarrollo de la conducta motora desde una perspectiva de sistemas de desarrollo (20). Se centró en la infancia cuando se adquieren los sistemas de acción básicos. La postura proporciona una base estable para la locomoción, las acciones manuales y las acciones faciales. La experiencia facilita mejoras en el comportamiento motor y los bebés acumulan inmensas cantidades de experiencia con todos sus sistemas de acción básicos. En cada etapa del desarrollo, la percepción guía el comportamiento motor proporcionando retroalimentación sobre los resultados de los movimientos anteriores e información sobre qué hacer a continuación. Recíprocamente, el desarrollo de la conducta motora proporciona material para la percepción. En términos más generales, el desarrollo motor genera nuevas oportunidades para adquirir conocimientos sobre el mundo, y el florecimiento de las habilidades motoras puede provocar cascadas de cambios en el desarrollo en los ámbitos perceptivo, cognitivo y social.

La existencia de la especie humana está intrínsecamente ligada a la postura y la motricidad. Por esta razón, el control postural en los seres humanos adquiere una importancia extrema, ya que refleja el resultado de numerosas adaptaciones filogenéticas (7). Según la Real Academia Española (21), la palabra postura, del latín *positūra*, consta de 13 acepciones, la primera de ellas define la postura como: "Planta, acción, figura, situación o modo en que está puesta una persona, animal o cosa".

Los humanos, en el desarrollo temprano de su cerebro, tienen los cambios más significativos durante la segunda mitad de la gestación y los primeros tres meses postnatales, en particular en la subplaca cortical y el cerebelo. Como la subplaca transitoria combina una alta tasa de intrincados cambios de desarrollo e interacciones con una clara actividad funcional, se distinguen dos fases de desarrollo: a) la fase de la subplaca cortical transitoria, que termina a los 3 meses después del término, cuando los circuitos permanentes del motor primario, las cortezas somatosensorial y visual han reemplazado a la subplaca; y posteriormente, b) la fase en la que dominan los circuitos permanentes. En las áreas de asociación la subplaca se disuelve en el resto del primer año posnatal. Durante ambas fases, los cambios de desarrollo van acompañados de reconfiguraciones continuas en la actividad de la red (22).

La construcción inicial de la arquitectura neuronal de cada sistema sensorial se inicia en las últimas 15 a 18 semanas de vida fetal y se prolonga hasta los 3 a 5 meses de vida (etapa neonatal), y en el tercer trimestre de vida intrauterina es cuando se sustenta el desarrollo del sistema motor (23). Este sistema motor, compuesto por la corteza motora para la planificación y ejecución de los movimientos voluntarios, núcleos subcorticales como los ganglios basales y el cerebelo para coordinar y refinar movimientos, neuronas motoras que envían señales a los músculos permitiendo su contracción y movimiento, y los propios músculos que ejecutan el movimiento, integra diversas partes

del sistema nervioso en la realización de la actividad motora (24). Asimismo, el sistema motor opera en conjunto con otros sistemas del cuerpo, como el sistema sensorial, para permitir la percepción del entorno y la adaptación de los movimientos en función de las señales recibidas. Este sistema comprende el tono, la postura y los movimientos, como, por ejemplo, en las primeras etapas del desarrollo que está relacionado con situar la cabeza en la línea media, llevar las manos a la línea media del cuerpo, dirigir la mano a la boca, realizar el pataleo primitivo, elevar la cabeza contra la gravedad en decúbito ventral, etc. En resumen, el sistema motor es esencial para que el cuerpo humano pueda interactuar con su entorno a través del movimiento.

Tras un parto sin complicaciones, el recién nacido a término dispone de un programa innato para interactuar con el entorno. El bebé consta de un control postural automático determinado, que no sólo es condición indispensable de cualquier movimiento, sino que ambos procesos están estrechamente solapados durante toda la acción motora (23). La interacción con objetos, sentarse y la locomoción son ejemplos de conductas perceptivo-motoras tempranas que permiten a los bebés explorar su entorno y adquirir conocimientos. Estos ítems son importantes porque permiten a los bebés obtener información sobre las interrelaciones entre sus cuerpos, objetos y personas (Figura 1). Estos comportamientos son complejos, dinámicos y evolucionan conjuntamente perennemente durante los primeros años de vida. Los bebés con desarrollo típico comienzan a realizar estos comportamientos de forma secuencial durante el primer año de vida (25).

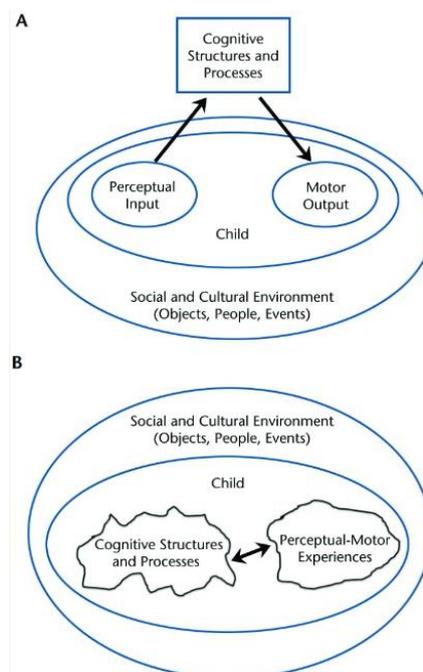


Figura 1. Factores que influyen en el desarrollo motor (25).

- a) Visión más tradicional de la cognición como algo que existe fuera de las experiencias cotidianas.
- b) Visión fundamentada en la cognición como algo que se crea, mantiene y altera mediante experiencias perceptivo-motoras cotidianas dentro de contextos sociales y culturales.

Los procesos psicológicos y emocionales están vinculados al desarrollo postural, de modo que cualquier alteración en estos ámbitos impactará tanto en el comportamiento como en las expresiones motoras del individuo. Todo esto ocurre, sobre todo, en las etapas más precoces del desarrollo, en las que se establece el vínculo madre-hijo, tan íntimo e importante para el desarrollo posterior del recién nacido. La madre es el “entorno” seguro y más estimulante para el recién nacido y para el niño pequeño; lo que se expresa como movimiento emocional y mental, no forma parte de una percepción directa. Entender de forma intuitiva el vínculo madre-hijo forma parte de las capacidades innatas del recién nacido. La valoración subjetiva de las experiencias a través de la psique y el cerebro moldea asimismo el desarrollo de la postura (26). La neurobiología puede demostrar que los circuitos emocionales actúan sobre todas las funciones cerebrales. Por eso, la experiencia es valorada no sólo a través de las emociones, sino también a través de los sistemas neurobiológicos (27). En el estudio de Chiang et al. (28) se ha demostrado que las interacciones entre padres e hijos influyen significativamente en el desarrollo motor infantil y que el efecto del apego entre madre e hijo en el desarrollo infantil es más fuerte que el apego entre padre e hijo. La tasa de lactantes que completaron su desarrollo en 6 meses fue del 30,50%; sin embargo, la tasa aumentó en los niños de 18 meses (80,01%). La competencia percibida por la madre en el cuidado infantil fue el factor más importante para el desarrollo motor infantil. "Si el bebé era o no el único bebé de la familia" y "la interacción entre padres e hijos" tuvieron un efecto ligeramente significativo en el desarrollo motor infantil.

El comportamiento motor refleja la realidad mental y psicosocial del individuo. En el desarrollo vinculado a la percepción, este comportamiento emerge desde el comienzo de la ontogénesis como un todo integral. Es parte de una serie de sistemas interconectados y mutuamente dependientes, incluyendo los sentidos, así como los aspectos emocionales y psíquicos. A medida que el lactante va interactuando con el medio que le rodea va madurando su sistema nervioso central (SNC), sus intereses, sus motivaciones, sus movimientos; ya no sólo se centran en su propio cuerpo, por ello el niño va adquiriendo los apoyos y enderezamientos necesarios para configurar su motricidad espontánea (volteo, reptación, gateo, puesta en pie, bipedestación, marcha lateral, marcha en islas, marcha libre...).

El desarrollo psicomotor es un proceso continuo, no existe división entre fases, sino que se van sucediendo progresivamente, los hitos motores que van apareciendo adquieren más protagonismo unos que otros, por ello ciertos hitos, con más predominio, van marcando el desarrollo (9). El indicador más importante de la puesta en marcha del desarrollo motor y postural es la fijación mantenida de la mirada y el seguimiento visual de los estímulos ópticos percibidos, el “enderezamiento óptico” que se evidencia con el ajuste de las pupilas y la amplia apertura de los ojos con las cejas elevadas y la frente arrugada (26).

El desarrollo motor se inicia con la maduración retiniana durante el primer mes de vida, desde la visión periférica poco precisa hacia la visión foveal. Con el reflejo de captura foveal en los lactantes

de un mes de vida, se inicia el control del enderezamiento cefálico y con ello de la motricidad cefálica (29). Este proceso es fundamental, ya que la capacidad de enfocar y seguir objetos con la vista (gracias al reflejo de captura foveal) facilita el desarrollo de habilidades motoras más complejas. La visión foveal permite a los bebés tener una percepción visual detallada y central, lo que es crucial para el desarrollo de la coordinación ojo-mano y otras habilidades motoras finas. A medida que los bebés empiezan a controlar mejor sus movimientos cefálicos, pueden explorar su entorno visualmente de manera más efectiva, lo que a su vez estimula el desarrollo motor. Este vínculo entre el desarrollo visual y motor subraya la importancia de las evaluaciones y seguimientos integrales en los primeros meses de vida. Detectar de manera temprana cualquier desviación en el desarrollo puede permitir intervenciones tempranas que son clave para fomentar un desarrollo saludable.

Todo lo que hacen los bebés implica habilidades motoras: cambios posturales, acciones de locomoción y manuales; acciones exploratorias; interacciones sociales; e interacciones con objetos. En otras palabras, toda conducta es conducta motora y, por tanto, la adquisición de habilidades motoras es sinónimo de desarrollo conductual. Los hitos correspondientes a edades concretas proporcionan diagnósticos útiles para el desarrollo "típico", pero las diferencias culturales en la crianza influyen en las edades de inicio del desarrollo de los ítems motores. Siempre que surgen, las habilidades motoras sientan las bases para el desarrollo al abrir nuevas oportunidades de aprendizaje.

El control postural pone a la vista y al alcance nuevas partes del entorno; la locomoción permite explorar un mundo más extenso; las habilidades manuales promueven nuevas formas de interacción con los objetos; y las habilidades motoras que involucran cada parte del cuerpo mejoran las oportunidades de interacción social. Así, las habilidades motoras pueden instigar una cascada de desarrollos en dominios muy alejados del comportamiento motor: percepción y cognición, lenguaje y comunicación, expresión y regulación emocional, crecimiento físico y salud, etc. Finalmente, la adquisición de habilidades motoras hace que el comportamiento sea cada vez más funcional y flexible.

Los bebés adaptan su comportamiento a las variaciones de su cuerpo y su entorno y construyen así nuevos medios para lograr sus objetivos (17). El hito motor más temprano que debe realizar un bebé es mantener una postura estable contra la gravedad. En esta estabilidad corporal influyen la gravedad y la retroalimentación neurosensorial, más concretamente, los aportes vestibular, táctil y propioceptivo. El desarrollo de las vías vestibulares ascendentes y descendentes es primordial para el control postural, las reacciones de enderezamiento y las funciones de locomoción posteriores.

El análisis postural, en las primeras etapas del desarrollo motor, siempre ha sido motivo de investigación y estudio a lo largo de los años. En los dos primeros trimestres de vida, el control postural de los bebés en decúbito dorsal y ventral está en continuo progreso hacia la estabilidad, por ello es fundamental en el desarrollo de los hitos motores que el bebé va alcanzando a lo largo de su vida. Este análisis postural en etapas tempranas del desarrollo describe la evaluación y el estudio de la postura del lactante, con el fin de identificar y analizar posibles desviaciones, irregularidades, compensaciones

o alteraciones en la alineación de las diferentes estructuras del cuerpo, como la cabeza, la columna vertebral y las extremidades. El desarrollo de las habilidades motoras gruesas (como sentarse, ponerse de pie, gatear o caminar) depende fundamentalmente del control postural. Los comandos estructurales básicos para este tipo de control están presentes poco después de la edad a término, pero se tardan muchos años en alcanzar la configuración del control postural del adulto (22). El control postural se origina a partir de una variedad de músculos posturales en una situación específica de selección de actividad muscular postural (30,31). La idea de que el desarrollo del control postural sigue un orden cráneo caudal se basa comprensiblemente en la observación de que los bebés mejoran de forma creciente y con menos soporte postural en sentarse, ponerse de pie y caminar (22).

Los bebés desarrollan habilidades mediante el acoplamiento entre sus sistemas sensorial y motor. Los recién nacidos deben interpretar la información sensorial y utilizarla para modificar movimientos y organizar el sistema de control postural en función de las demandas de la tarea. La falta de variabilidad en el control postural durante los primeros meses de vida puede ser un indicador de desarrollo atípico. Algunos lactantes con lesión cerebral neonatal o prematuros tienen menor nivel de complejidad postural en comparación con los bebés sanos (18), se ha demostrado que el control de la postura en recién nacidos está directamente relacionado con la consecución de los distintos hitos del desarrollo motor, como el mantenimiento de la cabeza en la línea media o el alcance (18). El sistema musculoesquelético de los recién nacidos es altamente plástico y responde de manera rápida a los cambios posicionales y a la movilidad espontánea del bebé, contribuyendo al moldeamiento articular y a la conformación craneal y del raquis. Por todo ello, es primordial que los profesionales sanitarios con formación en pediatría conozcan la maduración del sistema musculoesquelético y postural; así como sus alteraciones principales, para poder ejecutar planes de intervención terapéutica que causen la maduración adecuada del sistema y eviten procesos patológicos o bien que disminuyan al mínimo las secuelas que pudiera padecer el niño en el futuro (23).

La evaluación temprana del control postural puede proporcionar una idea de las trayectorias de desarrollo neuromotor de los bebés y ayudar a la identificación temprana de aquellos con mayor riesgo de alteraciones en el neurodesarrollo (32). La detección temprana e intervención en problemas de desarrollo motor en bebés es crucial para su crecimiento integral, incluyendo áreas cognitivas, lingüísticas, socioemocionales, lúdicas, creativas, y sensorio perceptivas. La investigación científica sobre distintas herramientas de detección temprana de retrasos del desarrollo motor tiene mucha trayectoria. Con la evolución de las nuevas tecnologías y herramientas cada vez más sofisticadas de neuroimagen surge la necesidad de implementar instrumentos que nos ayuden a evaluar y detectar retrasos del desarrollo psicomotor en los primeros meses de vida del lactante para prevenir de forma temprana posibles alteraciones. Es esencial destacar la importancia de una derivación rápida a una unidad de detección temprana para una intervención, precoz y específica, con el fin de optimizar la

plasticidad motora y cognitiva del bebé, prevenir complicaciones secundarias, educar a las familias y mejorar el bienestar del cuidador.

La falta de medidas objetivas para evaluar la postura en bebés se debe principalmente a varios factores. En primer lugar, la postura en los bebés es altamente variable y dinámica, ya que están constantemente desarrollando y ajustando su control postural a medida que crecen y adquieren nuevas habilidades motoras. Esto dificulta la creación de herramientas de medición estáticas que capturen adecuadamente la complejidad de los cambios posturales en esta población. Además, los bebés no pueden comunicar verbalmente su experiencia o incomodidad con ciertas posturas, lo que dificulta la evaluación subjetiva por parte de los profesionales sanitarios. A menudo, se deben basar en observaciones clínicas y la interpretación de los comportamientos y movimientos del bebé para establecer conclusiones sobre su postura y posible asimetría postural.

Con la consideración de que la postura y la asimetría en bebés pueden ser influenciadas por una variedad de factores, como el desarrollo neuromuscular, la actividad motora y las interacciones ambientales, es crucial investigar sobre herramientas de evaluación que sean rigurosamente validadas y específicamente diseñadas para este grupo de edad.

La necesidad de herramientas de evaluación estandarizadas en la práctica clínica de los profesionales sanitarios es ampliamente reconocida (33), ya que los niños cuyo retraso no se detecta, y por lo tanto, no se realiza un abordaje terapéutico hasta la edad escolar, tienen un mayor riesgo de fracaso académico, problemas de conducta y trastornos socioemocionales (34). Debido al desarrollo crítico del cerebro humano en los primeros años de vida, un niño pequeño es susceptible a la influencia fisiológica y experiencial, así que la intervención precoz es fundamental para prevenir el desarrollo de retrasos o discapacidades en un futuro (35). La detección temprana de retrasos en el desarrollo posibilita que la intervención se inicie durante este período crítico. Por lo tanto, es imperativo que los profesionales de atención temprana tengan a su disposición herramientas de detección fiables, válidas y fáciles de usar (36).

La importancia de identificar y fomentar una alineación corporal adecuada y un desarrollo motor correcto desde las etapas más tempranas de la vida reside en su potencial para impactar positivamente el crecimiento, prevenir anomalías o retrasos en el desarrollo y asegurar una base sólida para el movimiento y la salud física a futuro. Este enfoque en los bebés resalta la necesidad de intervenciones tempranas y específicas que respalden un desarrollo óptimo, reflejando la evolución del campo hacia prácticas basadas en evidencia adaptadas para la población infantil. Es crucial conocer la postura adecuada relacionada con los hitos motores en las primeras etapas de vida para detectar posibles retrasos en el desarrollo motor, como asimetrías en los apoyos, compensaciones posturales y desviaciones en la columna vertebral. La detección temprana de estas desviaciones permite intervenir precozmente, esencial para tratar a tiempo a los bebés con posibles retrasos en su desarrollo. Este abordaje temprano es básico, no sólo para el desarrollo motor, sino también para las áreas cognitiva,

socioemocional y sensoriomotora del bebé, impactando positivamente en su entorno más cercano, incluyendo a cuidadores y familiares. La postura adecuada del lactante es una herramienta simple y eficaz en el cuidado básico durante los primeros meses de vida.

Levitt et al. (37) destacaron el hecho de que no diagnosticar ni tratar a un bebé con una afección neurológica como un trastorno de la coordinación central puede provocar un retraso en el desarrollo de mecanismos neurológicos que conduzcan a trastornos importantes del control postural, el equilibrio y, en consecuencia, el movimiento.

El estudio de Ledwoń et al. (38) resalta la importancia de realizar evaluaciones objetivas en el neurodesarrollo infantil para identificar tempranamente trastornos del desarrollo, facilitando el abordaje temprano de intervenciones adecuadas que mejoren las posibilidades de una correcta función motora. La detección de asimetrías posturales es identificada como un elemento crucial en este proceso. Tradicionalmente, los diagnósticos se han basado en evaluaciones cualitativas y en los juicios subjetivos de los especialistas. Sin embargo, están evolucionando hacia la adopción de métodos automáticos. El enfoque propuesto por Ledwoń et al. se centra en el desarrollo de una tecnología de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático para determinar la asimetría posicional en bebés a partir de vídeos. Este avance promete una evaluación precisa y objetiva de la posición del tronco y la cabeza, marcando un paso significativo hacia la implementación de un sistema de diagnóstico infantil asistido por ordenador más efectivo, destacando la imperiosa necesidad de evaluaciones objetivas y la detección precoz de asimetrías. Asimismo, Bosserman et al. (39) subraya la importancia crítica de las herramientas de diagnóstico objetivas en la detección temprana de posibles retrasos motores en bebés prematuros, en contraposición a las evaluaciones o métodos subjetivos tradicionales. A través de la revisión sistemática de la literatura existente, se observó que se habían examinado herramientas como plataformas o placas de fuerza y tapetes sensibles a la presión para medir el control postural y la asimetría, con el fin de predecir futuros impedimentos motores en bebés prematuros. Este análisis profundiza en cómo las herramientas de medición postural, más objetivas y cuantitativas que las evaluaciones estándar, pueden revelar diferencias sutiles en el movimiento y la postura que no son fácilmente identificables mediante observación directa o evaluaciones subjetivas. La utilización de estas tecnologías avanzadas permite una mejor detección, más temprana aún si cabe, de retrasos motores, lo que es crucial para iniciar intervenciones también tempranas y potencialmente mejorar los resultados a largo plazo en esta población vulnerable.

De igual forma, Airaksinen et al. (40), en su estudio de 2023, señalan la necesidad de métodos cuantitativos para evaluar el desarrollo motor temprano en bebés, desarrollaron y validaron un sistema de monitoreo portátil en comparación con las escalas de crecimiento físico convencionales. Demostraron con sus resultados que se puede realizar una evaluación cuantitativa, clara y comprensible del rendimiento motor en bebés utilizando un sistema de análisis totalmente automatizado. Además, estos hallazgos son consistentes en diferentes grupos de bebés grabados fuera

del entorno hospitalario. Este método para evaluar el desarrollo motor se destaca por su precisión, similar a las evaluaciones convencionales de crecimiento físico, lo que sugiere su aplicación potencial tanto en diagnósticos individuales como en la medición de resultados en estudios de intervención precoz. Por ejemplo, Airaksinen et al. (41) el mismo autor anteriormente citado, unos años antes, en 2020, realizó un estudio en el que colocaba un mono inteligente con sensores en los bebés, destinado a capturar datos de movimientos mediante acelerómetros y giroscopios. Este dispositivo se probó en lactantes con desarrollo típico, utilizando la información recabada para entrenar un algoritmo de aprendizaje automático capaz de identificar distintas posturas y movimientos con precisión similar a la evaluación humana. Este enfoque muestra potencial para la detección temprana de riesgos de trastornos del desarrollo neurológico, como PC o trastornos del espectro autista. Se concluyó que el análisis de movimientos en las cuatro extremidades mejora la sistematización de posturas y movimientos. La literatura científica revisada sugiere que la interrupción del desarrollo de la subplaca puede desempeñar un papel fundamental en los trastornos del desarrollo, como la PC, los trastornos del espectro autista, el trastorno por déficit de atención con hiperactividad y la esquizofrenia (22).

Los trastornos del desarrollo surgen de la interrupción de los procesos de desarrollo durante la vida fetal y las primeras etapas postnatales. Esta interrupción puede ser causada por una combinación de factores de riesgo genéticos, sociales, prenatales, perinatales y neonatales (42). Algunos ejemplos son la PC, el trastorno del desarrollo de la coordinación y el trastorno del espectro autista. La evidencia recopilada apunta a que los bebés con un alto riesgo de padecer trastornos del desarrollo, así como aquellos que ya los presentan, pueden beneficiarse de intervenciones tempranas (43–45). Estos trastornos del desarrollo presentan un origen neurológico temprano. Por ello, se puede y se debe llevar a cabo una detección precoz y una intervención temprana, aprovechando la ventana de neuroplasticidad del desarrollo.

Como constata Novak et al. (46) en su revisión, la PC infantil se describe como la discapacidad física más común en la infancia y ocurre en 1 de cada 500 nacimientos vivos. Según Novak et al. (46) los bebés que no activan el córtex motor tras la lesión corren el riesgo de perder conexiones neuronales. En las últimas décadas, el diagnóstico se ha realizado entre los 12 y 24 meses de edad; no obstante, con la creciente investigación sobre herramientas de detección temprana, ahora se puede hacer antes de los 6 meses de edad corregida, es decir, reduciendo el tiempo de diagnóstico en PC de 18 a 24 meses, a 5 o 6 meses. Una de las escalas más empleadas en esta evaluación es la *Alberta Infant Motor Scale*, y como se puede comprobar en la literatura, aunque permite evaluar niños de edades menores, está validada en la mayoría de los estudios para niños mayores de 6 meses (47,48), de ahí surge la necesidad de estudiar en profundidad el desarrollo motor y postural en bebés menores de esta edad.

En el ámbito sanitario especializado en pediatría, como perspectiva profesional, surge el interés por profundizar en el desarrollo motor de los lactantes, ya que es el punto de partida de

cualquier valoración en pediatría conocer cómo fue o cómo se está desarrollando el niño, sobre todo en los dos primeros trimestres de vida, en los que el bebé sienta las bases de los primeros apoyos en decúbito dorsal y ventral, que condicionarán un enderezamiento contra la gravedad, en sentido céfalo caudal y con ello la calidad postural de su desplazamiento espontáneo. Poseer un buen conocimiento del desarrollo motor del primer año de vida es imprescindible para los profesionales involucrados en el cuidado del desarrollo infantil, pues les permitirá discernir los hitos motores y el comportamiento postural esperado para una edad cronológica específica y también valorar las características cualitativas y cuantitativas de ese desarrollo.

Se ha estudiado a nivel global la posición de los bebés, especialmente relacionando con varios aspectos. Por un lado, la posición que adquieren los bebés al dormir y el desarrollo motor (49,50), principalmente comparando el desarrollo motor en bebés que duermen en posición ventral versus dorsal (50), concluyendo que los bebés que duermen en decúbito dorsal pueden presentar retrasos motores tempranos cuando ese tiempo está asociado a menos tiempo en decúbito ventral cuando están despiertos, concluyendo así que el nivel de desarrollo motor infantil está influenciado por factores extrínsecos como el posicionamiento del bebé. En el estudio realizado por Dwyer et al. (51) se estimó que la recomendación de dormir en decúbito dorsal había salvado 850 bebés anualmente en Australia y otros países.

Además, se ha examinado la conexión entre la posición de sueño de los bebés y el Síndrome de Muerte Súbita del Lactante (SMSL) (51,52). En una revisión bibliográfica reciente, realizada por Jullien (53) en 2021, se condensaron hallazgos clave de revisiones sistemáticas sobre la prevención del SMSL, resaltando evidencias sólidas que indican una disminución en la incidencia del SMSL después de aconsejar la posición de “dormir boca arriba”. Esta recomendación se acompaña de consejos para asegurar un entorno de sueño seguro, que incluye dormir en decúbito dorsal en una superficie firme, sin la presencia de objetos blandos o ropa de cama suelta, evitando cubrir la cabeza del bebé, prevenir el sobrecalentamiento y favorecer el compartir habitación. También se destaca la lactancia materna a demanda y el uso del chupete durante el sueño como medidas protectoras contra el SMSL.

Es habitual encontrar estudios sobre la evaluación de asimetrías posturales en niños, que investigan aspectos como la alineación de la columna, la posición de las extremidades y la distribución del peso corporal (54,55). Este análisis es fundamental en áreas como la medicina pediátrica y la fisioterapia enfocada en el ámbito pediátrico, dada la relación entre asimetrías posturales y condiciones musculoesqueléticas y neurológicas en desarrollo (54). Los métodos de evaluación en esta población incluyen observación visual, mediciones antropométricas y el uso de tecnologías avanzadas como análisis de imágenes y vídeos (55) y sensores de movimiento (41,56). La detección y cuantificación temprana de desviaciones de una postura normal pueden permitir intervenciones preventivas que mitiguen problemas de salud futuros y mejoren la calidad de vida a través de

tratamientos más personalizados y efectivos. Estos estudios son vitales para comprender y mejorar la salud musculoesquelética de los niños.

Uno de los estudios destacados trata de un ensayo controlado aleatorio llevado a cabo en 2017 por Jung et al. (57). Se investigó el impacto de la TV en comparación con el tratamiento del desarrollo neurológico en bebés con asimetría postural infantil. Del total de 65 bebés reclutados, 37 cumplieron con los criterios de elegibilidad y fueron asignados aleatoriamente a dos grupos. Se registraron las limitaciones en la rotación de la cabeza y la convexidad de la columna antes y después del tratamiento mediante evaluaciones basadas en video. Se consideró clínicamente relevante una reducción de al menos cuatro puntos en la asimetría postural. A lo largo de ocho semanas, ambos grupos mostraron una disminución promedio de cuatro puntos, aunque se observó una diferencia significativa a favor del grupo que recibió terapia Vojta. Estos hallazgos sugieren que tanto la terapia del desarrollo neurológico como la terapia Vojta son eficaces en el tratamiento de la asimetría postural infantil, sin embargo, la TV demostró una efectividad terapéutica significativamente mayor (57).

Otro de los estudios cuyo propósito es evaluar el desarrollo de la asimetría infantil idiopática y la eficacia de las intervenciones terapéuticas es el realizado por Philippi et al. (58). Para evaluar la asimetría infantil idiopática y la efectividad de las intervenciones terapéuticas, estos autores presentaron un método clínico alternativo a las radiografías. Se grabaron en video los movimientos espontáneos y reactivos, así como las diferencias de longitud en 30 bebés con asimetría variable. Los movimientos reactivos provocados por giros de cabeza hacia ambos lados surgieron como parámetros confiables que reflejan la convexidad del tronco y los déficits de rotación cervical. Se desarrollaron escalas de puntuación y se evaluó la confiabilidad Inter observador en 20 bebés adicionales, mostrando una buena consistencia y confiabilidad del método. En conclusión, este método clínico proporciona una forma consistente y confiable de evaluar la asimetría infantil idiopática durante los primeros meses de vida. Sin embargo, es necesaria una grabación de vídeo prolongada para evaluar de manera confiable los patrones generales de movimiento de los bebés con riesgo de PC.

Al mismo tiempo, se aborda el tema de la asimetría postural en etapas tempranas de desarrollo en el estudio de Elwood et al. (59) que en 2017 se centró en la asociación entre la asimetría postural infantil y el comportamiento inestable en los bebés. Para este abordaje evaluaron la fiabilidad y validez de la escala de medición de asimetría postural infantil como herramienta para medir esta disfunción. Además, se investigó si existía una conexión entre la asimetría postural infantil y el comportamiento inestable, considerando variables demográficas como edad, sexo, paridad, peso al nacer y aumento de peso en bebés de 12 a 16 semanas. Sin embargo, no se encontró una asociación significativa entre esa conexión en el grupo de bebés. Se observó una diferencia entre los grupos con alto y bajo déficit de rotación cervical, especialmente en bebés de sexo femenino, lo que sugiere la necesidad de investigaciones adicionales en este ámbito. En conclusión, persisten dudas sobre la validez de la escala de asimetría postural infantil, por esta razón aún no se ha establecido una asociación entre el

comportamiento infantil inestable y la asimetría postural en bebés de 12 a 16 semanas. La influencia del sexo en esta interacción requiere un análisis más detallado, señalando la importancia de validar herramientas fiables y eficaces para medir la asimetría postural infantil, particularmente centrándose en el déficit de rotación de la columna cervical.

Recientemente también se ha profundizado en cómo la posición de los bebés afecta tanto su trabajo respiratorio como su regulación cardiorrespiratoria, en especial durante el sueño, explorando las diferencias entre las posturas prona y supina. Se han revisado estudios que destacan el impacto de la postura corporal en el tratamiento de la dificultad respiratoria en neonatos, especialmente aquellos con síndrome de dificultad respiratoria aguda o en fase de convalecencia tras prematuridad. Una revisión sistemática de Bhandari AP et al. (60) en *Cochrane Database* resalta la variada influencia de las posiciones en el manejo respiratorio de infantes hospitalizados, señalando la necesidad de investigaciones adicionales para definir la más beneficiosa. Louis et al. (61) encuentran que la posición prona puede ser preferible para ecografías pulmonares en neonatos con problemas respiratorios, sugiriendo diferencias significativas en los resultados diagnósticos y clínicos entre las posturas prona y supina. Dimitriou et al. (62) revelan que la posición prona podría aliviar el esfuerzo respiratorio en prematuros recuperándose, insinuando un potencial terapéutico para optimizar la respiración. Estos estudios colectivamente enfatizan la importancia de la orientación corporal en el apoyo respiratorio de neonatos y niños en situaciones críticas, sugiriendo una inclinación hacia la posición prona para mejorar la función respiratoria. A pesar de estos hallazgos, se reconoce la necesidad de más investigación para fundamentar sólidamente estas recomendaciones con el fin de que sean más claras y basadas en la evidencia.

También existen publicaciones sobre las recomendaciones de pasar tiempo en decúbito ventral cuando el bebé está despierto y su relación con las deformidades craneales como la plagiocefalia posicional (63,64) y sobre los elementos motores determinantes en el desarrollo motor de los primeros meses de vida (65) y la relación de reflejos primitivos anormales con la adquisición de hitos motores (66).

Más específicamente, se ha estudiado el análisis de la postura infantil y el desarrollo de patrones motores mediante escalas de evaluación clínica, concretamente hay mayor volumen de publicaciones que estudian la posición en bebés prematuros. Tal como se estudió en la revisión sistemática de Spittle et al. (67) centrada en las propiedades clinimétricas de las evaluaciones neuromotoras para bebés prematuros durante su primer año de vida. Este estudio se propuso examinar y sintetizar la calidad y la aplicabilidad de las herramientas de evaluación neuromotora disponibles para esta población vulnerable, con el objetivo de determinar cuáles ofrecen los indicadores más fiables y válidos para la detección temprana de problemas de desarrollo neuromotor. A través de un meticuloso proceso de revisión, se seleccionaron y analizaron estudios relevantes que abordan diversas evaluaciones neuromotoras, destacando sus fortalezas y limitaciones en el contexto

de su uso con bebés prematuros. El análisis culmina resaltando la importancia crítica de seleccionar instrumentos de evaluación adecuados para guiar intervenciones tempranas y mejorar los resultados del desarrollo en esta población especial.

Los trastornos neurológicos presentan un desafío significativo para el desarrollo óptimo de un niño. La detección precoz de estas condiciones es crucial, ya que permite un mejor pronóstico para el paciente. Al identificar una disfunción neurológica en sus etapas iniciales, es posible comenzar de inmediato con un tratamiento adecuado, lo cual mejora considerablemente la posibilidad de recuperar o mantener una función motora adecuada. Además, un diagnóstico temprano y preciso se facilita cuando el terapeuta tiene la oportunidad de observar y analizar los patrones de movimiento del niño a lo largo del tiempo, lo que permite una evaluación más precisa del desarrollo individual del niño, la progresión de los cambios y la personalización del tratamiento para atender las necesidades específicas del niño. Por tanto, es fundamental iniciar las intervenciones diagnósticas y terapéuticas en una etapa temprana de la vida del bebé, preferentemente entre los 2 y 3 meses, cuando el sistema nervioso del bebé todavía mantiene una alta capacidad de adaptación y cambio (38).

En el estudio llevado a cabo por Prosser et al. (68) se registró el control postural de bebés acostados en decúbito dorsal utilizando como indicador la longitud de la trayectoria del Centro de Presión (COP) con el fin de investigar si los bebés con riesgo de discapacidad física pueden identificarse mediante medidas biomecánicas de control postural en posición dorsal.



Figura 2. Bebé en decúbito dorsal en el gimnasio durante el registro del centro de presión. a) Vista lateral del bebé jugando con el juguete (elefante colgante); b) Vista frontal del bebé sin el juguete; c) Vista frontal del bebé con el juguete, que está especialmente diseñado para estimular el alcance bilateral (68).

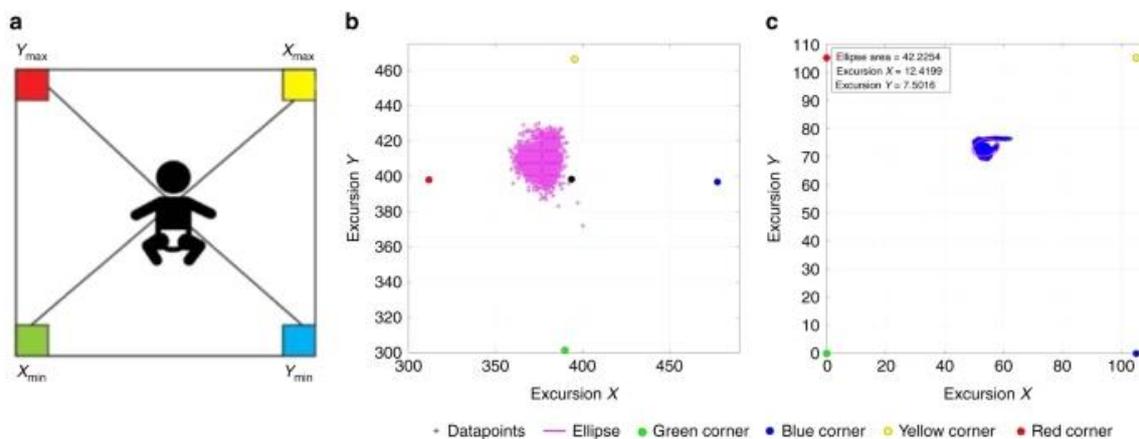


Figura 3. Procesamiento de datos de control postural. a) Esquema del bebé en decúbito supino sobre la colchoneta instrumentada; b) Ejemplo de datos sin procesar y c) Estabilograma representativo con los datos sin procesar calibrados en coordenadas del mundo real y filtrados (68).

Las evaluaciones cuantitativas del movimiento espontáneo en bebés pueden ser prometedoras para distinguir, desde una edad temprana, entre aquellos que están en riesgo de desarrollar deterioro motor o discapacidad física y aquellos que exhibirán un desarrollo motor típico. La medición precisa del control postural en decúbito supino es una herramienta funcional cuantitativa de fácil recolección de datos, y debería ser considerada en futuras investigaciones que aborden la validez concurrente y el valor predictivo de las medidas objetivas del movimiento infantil. La idea de que la longitud de la trayectoria del COP podría servir como un indicador temprano de inestabilidad postural y deterioro del control motor necesita ser más explorada y estudiada para comprender los mecanismos neuromotores subyacentes (68).

La investigación sobre la postura en lactantes, especialmente en aquellos a término con desarrollo típico o sin patologías, es crucial para evaluar su desarrollo motor y facilitar la detección temprana de posibles anomalías durante sus primeros meses de vida. Existe una notoria escasez de investigaciones enfocadas en esta área, lo que resalta la necesidad de establecer parámetros normativos de desarrollo motor en estos infantes. Realizar estudios sobre la postura en neonatos sanos se convierte en un imperativo para monitorear su desarrollo y anticipar intervenciones oportunas. El presente estudio se centra en el análisis postural de bebés de 0 a 6 meses, utilizando técnicas de aprendizaje profundo para analizar el área de apoyo ligada a la postura que adquieren en decúbito ventral y dorsal, con el objetivo de contribuir al conocimiento en este campo y apoyar la pronta identificación de problemas que requieran atención temprana.

2. Desarrollo perceptual

La psicología del desarrollo vincula desde hace muchos años los logros en las habilidades motoras de los bebés con mejoras en las capacidades perceptivas y cognitivas. Piaget, por ejemplo, propuso que el desarrollo de las acciones motoras de los bebés y la posterior exploración del mundo son

fundamentales para el aprendizaje y el desarrollo. Asimismo, Gibson argumentó que los bebés aprenden sobre las propiedades del mundo a través de la exploración, y que el desarrollo de habilidades motoras limita y guía la forma en que los bebés recogen información sobre objetos, superficies y eventos. Piaget consideraba la adquisición de habilidades motoras como un punto de partida para las habilidades perceptivas y cognitivas. Por el contrario, Gibson tomó en serio la proposición de que la acción motora, la percepción y la cognición están vinculadas en tiempo real y durante todo el desarrollo: la percepción y la cognición permanecen inextricablemente arraigadas en el cuerpo y sus acciones (69).

En un estudio transversal se evaluó la estabilidad, los ajustes posturales y la influencia de la información sensorial en el control postural de niños. Se incluyeron 80 niños, divididos equitativamente en grupos de 5, 7, 9 y 12 años (G5, G7, G9 y G12), quienes fueron sometidos a una posturografía dinámica mediante una prueba de organización sensorial modificada. Esta prueba utilizó cuatro condiciones: una plataforma de referencia estable u oscilante combinada con los ojos abiertos o cerrados. Se midió la estabilidad mediante el área y los desplazamientos del centro de presión, y los ajustes mediante la velocidad de estos desplazamientos, comparando los resultados entre grupos y condiciones. Los hallazgos indicaron que la estabilidad aumenta con la edad y disminuye con la manipulación sensorial, observándose diferencias significativas entre G5 y G7 en diversas medidas, mientras que G7 mostró diferencias con G12 bajo condiciones de plataforma estable y oscilante con los ojos abiertos, pero no así G9 que se asemejaba a G12. Se notó un patrón similar en los ajustes, especialmente en direcciones anteroposteriores. La conclusión del estudio resalta que la estabilidad y los ajustes posturales están fuertemente asociados con la edad y son afectados por la manipulación sensorial. Se evidenció que la maduración sensorial se inicia en el sistema visual, seguido por el propioceptivo y finalmente el vestibular, alcanzando madurez funcional a los nueve años. Los niños de siete años experimentan un período de cambio notable en el control postural (70).

El control postural puede impulsar el desarrollo de otros dominios en la infancia. Kyvelidou et al. (71) realizaron una investigación sobre las diferencias en la postura sentada y su relación con el desarrollo en bebés con distintos niveles de riesgo de trastorno del espectro autista (TEA). Se evaluaron a 19 bebés, divididos entre alto riesgo, 8 bebés y bajo riesgo, 11 bebés, utilizando una plataforma de fuerza que adquirirían los datos del centro de presión a los 6 meses para analizar el control postural mediante medidas tanto tradicionales como no lineales. A los 12 meses, se aplicaron diversas escalas de desarrollo. Los resultados indicaron que no hubo diferencias significativas en el control postural a los 6 meses entre los grupos. Sin embargo, a los 12 meses, los bebés con alto riesgo mostraron puntuaciones más bajas en comportamiento social, comunicación y lenguaje. Este estudio sugiere que el control postural podría predecir aspectos del desarrollo cognitivo y motor, especialmente en bebés con alto riesgo de TEA.

La habilidad motora infantil predice el diagnóstico posterior del lenguaje expresivo y del trastorno del espectro autista. Las dificultades motoras pueden ser un indicador temprano de riesgo de TEA y pueden predecir habilidades posteriores del lenguaje expresivo, por ello es necesario e importante el seguimiento del desarrollo en bebés de alto riesgo y los posibles efectos en cascada de la alteración temprana del desarrollo motor (72).

3. Neuroplasticidad y desarrollo

El sistema nervioso es adaptable y cambia en presencia de las demandas del ambiente, los nuevos aprendizajes, los procesos de desarrollo y diversas experiencias (73). La neuroplasticidad es la capacidad que tiene el tejido neural de reorganizar y modificar los mecanismos biológicos, bioquímicos y fisiológicos implicados en la comunicación intercelular al adaptarse a los estímulos recibidos. Esta característica conlleva modificaciones del tejido neural que incluyen la regeneración axonal, la colateralización, la neurogénesis, la sinaptogénesis y la reorganización funcional, entre muchos otros (74,75).

La plasticidad cerebral supone un proceso continuo de cambio y es máxima en los primeros años de neurodesarrollo, cuando se adquieren los aprendizajes imprescindibles para la adaptación al medio, como son el desplazamiento autónomo, la comunicación o la interacción social. El sistema nervioso se desarrolla de manera secuencial y estructurada, lo que lleva al establecimiento de un concepto clave: el período crítico. Este término se refiere a ciertas fases específicas durante la maduración del sistema nervioso, caracterizadas por una alta plasticidad, las cuales son esenciales para la adquisición de funciones o habilidades específicas (6).

En el proceso normal de maduración, para realizar una adecuada valoración de la madurez del niño es fundamental conocer su normalidad para reconocer sus variaciones y conseguir un diagnóstico precoz. Esta comprensión facilita la evaluación de la conducta del niño en diversas etapas de su desarrollo, comenzando desde el período neonatal, a través de su maduración neurológica en los primeros años de vida, hasta los eventos clínicos significativos que pueden surgir en cualquier momento, ya sea de manera aguda, crónica o progresiva. El recién nacido entra en la vida extrauterina con órganos que aún necesitan madurar después del nacimiento para alcanzar su pleno funcionamiento. Este es especialmente el caso del sistema nervioso, cuyo desarrollo y maduración son procesos prolongados. Por lo tanto, cualquier lesión en este período puede ser grave, afectando tanto las consecuencias inmediatas como las perspectivas a largo plazo. En este contexto, los aspectos neuro evolutivos constituyen la base para realizar una primera valoración de normalidad o anormalidad (6).

4. El desarrollo motor y la ontogénesis postural

El desarrollo humano, desde el momento de la fecundación hasta la organización de un individuo maduro, es la consecuencia de un conjunto de procesos genéticamente regulados que ocurren en un estricto orden cronológico y espacial; es decir, que la actividad de los diferentes genes se desarrolla en etapas (76). El conjunto de acontecimientos para llegar al organismo maduro con todas sus funciones y potencialidades se denomina ontogenia. Las funciones motoras básicas del ser humano maduran o se desarrollan durante el primer año de vida en un proceso que Václav Vojta denominó ontogénesis postural y motora. La ontogénesis postural comprende los patrones motores innatos posturales y motores que se desarrollan en el primer año de vida. La ontogénesis del primer año de vida es la base del desarrollo posterior de las funciones motoras del ser humano. Para poder describir la ontogénesis de los patrones posturales, es necesario empezar narrando su comienzo (26,77).

El profesor Václav Vojta fue un destacado neurólogo pediátrico de origen checo, ampliamente reconocido por sus valiosas aportaciones a la medicina pediátrica, especialmente por el desarrollo del concepto y método de la Locomoción Refleja y su posterior implementación en el tratamiento de las alteraciones del desarrollo motor en bebés y niños. En el contexto de la obra de Vojta, la ontogénesis se refiere al desarrollo motor y neurológico de un individuo a lo largo de su vida, enfocándose particularmente en las etapas tempranas del desarrollo infantil. Vojta se centró en cómo los patrones de movimiento innatos, observados en los reflejos primitivos de los bebés, juegan un papel crucial en el desarrollo motor posterior (77,78).

Vojta realizó una serie de modificaciones en la distribución de la clasificación de los cuatro estadios del desarrollo postural de Ingram (1953), tal como se muestra en la Tabla 1 (26). La observación de cada uno de los patrones posturales se realiza teniendo en cuenta varios razonamientos, como son (26):

- Patrones de interacción social y emocional: describe la importancia de la estrecha interrelación entre el desarrollo motor, sensorial y psicosocial.
- Patrones motores: patrones globales con peculiaridades de locomoción, analizando los siguientes mecanismos:
 - Posición de los diferentes segmentos entre sí y respecto al espacio.
 - Estadio de enderezamiento de determinados segmentos corporales o de todo el cuerpo. A cada fase de enderezamiento le corresponde una determinada función de apoyo. La base de apoyo se forma por el área más pequeña formada por los puntos de apoyo y la ontogénesis de enderezamiento comienza con el enderezamiento sobre las extremidades de apoyo. Cuando el centro de gravedad se eleva respecto a la línea vertical o se mueve hacia arriba/abajo, ocurre simultáneamente un desplazamiento en relación con la horizontal hacia adelante/atrás o hacia un lado, generando

reacciones de equilibrio distintas que comienzan en el bebé con la primera posición en decúbito ventral entre las 4 y 6 semanas.

- Movilidad propositiva hacia un objeto.
- Diferenciación de la función muscular, se produce en los patrones globales a medida que va avanzando el desarrollo de las distintas etapas de la ontogénesis postural. Las funciones predominantes serán antigravitatoria, de enderezamiento, de locomoción, de motricidad fina, entre otras (26).

Tabla 1. Distribución del desarrollo postural en cuatro estadios

Distribución del desarrollo postural en cuatro estadios		
Periodo de tiempo	Según Ingram	Según Vojta
0-6ª semana	1 ^{er} Estadio del desarrollo postural (1 ^{er} Estadio flexor).	Estadio filogénico o estadio de los reflejos primitivos.
7ª-13ª semana	2 ^o Estadio del desarrollo postural (1 ^{er} Estadio extensor).	Paso del estadio filogénico al ontogénico, o estadio de desaparición de los reflejos primitivos.
4 ^o -7 ^o /8 ^o mes	3 ^{er} Estadio del desarrollo postural (2 ^o Estadio flexor).	Estadio de preparación a la primera locomoción humana, o fase de diferenciación de la motricidad gruesa.
8 ^o /9 ^o -12 ^o /14 ^o mes	4 ^o Estadio del desarrollo postural (2 ^o Estadio extensor).	Estadio de la verticalización humana y comienzo del desarrollo de la motricidad fina.

El movimiento es la vía final común que posee el ser humano para expresar su identidad personal, sus deseos y motivaciones, para responder a los innumerables estímulos del entorno y para actuar sobre él. Del estudio de esta función motora en la primera etapa de la vida se encarga la cinesiología del desarrollo, ciencia que describe la evolución, genéticamente adquirida, el movimiento humano hasta la consecución de la marcha bípeda, la prensión radial y el habla (79).

La locomoción humana es una actividad motora cíclica, rítmica, recíproca y global de desplazamiento del cuerpo en el espacio generada en el SNC como respuesta a la información sensorial. La locomoción humana es una adquisición motora temprana que se desarrolla en el primer año de vida. Existen distintos tipos de locomoción como consecuencia de la evolución madurativa del

niño. La locomoción es un proceso fluido, organizado, propio e innato que va intrínseco a la información sensorial, a la curiosidad y a la necesidad del niño de investigar su entorno junto con el desarrollo mental (23,77).

El análisis de la ontogénesis postural es de interés para:

- Observar la motricidad cuantitativa y cualitativa.
- Evaluar y valorar el desarrollo en relación con el movimiento espontáneo.
- Establecer los objetivos terapéuticos en el supuesto de que fuera necesario mejorar la calidad postural y la ejecución de los patrones motores.
- Comprobar la evolución del desarrollo postural.

El estudio de la ontogénesis se diferencia entre los patrones que se desarrollan desde el decúbito ventral y los que se describen desde el decúbito dorsal. El decúbito ventral se analiza para evaluar los patrones motores implicados en las funciones de enderezamiento y apoyo contra la gravedad; y el decúbito dorsal se estudia para evaluar los patrones motores relacionados con la función de prensión. Tras el análisis de estas posiciones del lactante, se establecen la edad cuantitativa y la edad cualitativa del niño. Más detalladamente, la edad cuantitativa se relaciona con el nivel más alto de desarrollo motor que el niño alcanza, sin considerar la calidad del movimiento y la postural; mientras que la edad cualitativa se corresponde, tal como su nombre indica, en la calidad de desarrollo motor más alto logrado por el niño, teniendo en cuenta la base de apoyo, el nivel de enderezamiento y la posición de los segmentos en el espacio (23).

En el desarrollo motor se ha descrito como una progresión céfalo caudal, de manera que el bebé desarrolla primero los apoyos que ayudarán al enderezamiento de la cabeza antes que el control del tronco, consiguiendo en un primer momento el “enderezamiento óptico” para que el bebé boca abajo pueda fijar la mirada y elevar la cabeza con el estímulo visual. También es un proceso próximo-distal en el que se generan patrones de enderezamiento comenzando por la columna vertebral, hasta las extremidades superiores e inferiores. Todo ello permite ir alcanzando los diferentes patrones motores que promoverán la movilidad espontánea del bebé, así como su propio control postural (en dinámico y en estático) (23). En el desarrollo motor infantil se alcanzan una serie de hitos motores que desencadenarán logros por etapas según su edad cronológica o corregida (en el caso de los bebés prematuros), que determinarán su progreso o, en caso contrario, su retraso en el desarrollo neuromotor, en la adquisición de dichos hitos. Es esencial estudiar y profundizar en el conocimiento de los hitos del desarrollo esperados según la edad cronológica permite valorar al niño de manera global, para así poder detectar posibles alteraciones que pueda presentar y así intervenir de manera precoz.

Durante el desarrollo motor se puede observar cómo los hitos van sucediendo de manera progresiva y programada en niños con un desarrollo motor típico. Paralelamente, sus movimientos son

cada vez más precisos y controlados. A través del movimiento, el lactante tendrá la oportunidad de moverse libremente y disfrutar de una etapa sensoriomotora que le ofrecerá su entorno más inmediato (23). Duncan et al. (80) describieron que aunque los músculos del tronco se extienden a través de múltiples articulaciones vertebrales, estudios recientes de control motor han demostrado que una progresión de arriba hacia abajo del control del tronco en los bebés típicos ocurre de forma incremental, un segmento a la vez, hasta que se sientan de forma independiente. El estudio actual fusiona este sorprendente patrón de desarrollo con el comportamiento de los padres al explorar la relación entre cómo los padres sostienen a su bebé y el nivel segmentario en el que el bebé exhibe control postural. Se midió el control del tronco de 60 bebés (1-8 meses) mediante la evaluación segmentaria del control del tronco. Se registró la sujeción espontánea y la variabilidad de los padres durante condiciones repetidas de estar sentado y de pie. La posición de los padres se correlacionó con el nivel de control del bebé tanto al sentarse como al estar de pie, lo que proporciona evidencia de una interacción positiva entre el comportamiento de los padres y el desarrollo segmentario del tronco.

El desarrollo motor, en particular el análisis del logro de hitos posteriores en los bebés, se considera uno de los indicadores más críticos del desarrollo general normal, y su evaluación se utiliza para predecir un mayor desarrollo motor (81–83). Robson demostró una relación entre el momento en que se inicia la marcha independiente y la edad en la que se adquirieron las habilidades motoras cuantitativas (sentado, gatear, pararse). Demostró que la evaluación del logro de habilidades motoras tempranas podría ser predictiva para determinar la edad de caminar, precedida por la posición erguida en el noveno mes (82). El logro de todos los hitos es el resultado del desarrollo de una postura adecuada, el control neuromuscular y la experiencia adquirida en un sistema nervioso en desarrollo típico (84).

En los primeros dos trimestres de vida del lactante, desarrollan los patrones motores para, en decúbito ventral, alcanzar y sobrepasar la línea media, y en decúbito ventral, elevar contra la gravedad la cabeza y la columna vertebral con el apoyo de miembros superiores, pelvis e inferiores. Para lograr, con la mayor calidad postural, estos patrones, es primordial haber alcanzado los patrones motores con la mayor alineación y simetría posible, así no se crearán compensaciones posturales que se adapten a unos apoyos incompletos o incorrectos. Todos estos logros están en concordancia con el desarrollo motor ideal del primer año de vida, dado que el individuo en relación con el entorno genera patrones posturales y sinergias musculares que originan patrones o conductas motoras cada vez más complejas hasta conseguir la locomoción bípeda, la prensión propositiva y el lenguaje (23).

4.1. Ontogénesis postural de 0 a 6 meses

El presente estudio de investigación se centra en el análisis postural de bebés de 0 a 6 meses, porque a partir del tercer trimestre el lactante empieza a establecer la diferenciación de la función muscular determinante para configurar el volteo, lo que provocaría diferencias significativas entre los lactantes

evaluados. El volteo se establece a partir del patrón global de la coordinación mano-mano que al final de 5º mes ya ha madurado. Esto proporciona una base postural ideal y un requisito para configurar de forma ideal los nuevos cambios posturales que darán lugar a los patrones de la locomoción humana. La premisa es que la fase de *split-brain* haya sido superada, en la cual las funciones de los hemisferios cerebrales izquierdo y derecho no están coordinadas o integradas de manera efectiva. La superación de esta fase se demuestra cuando el brazo cruza la línea media del cuerpo, indicando que un hemisferio puede ser activado a través del campo visual del otro lado (23,26).

Más allá de los 6 meses, aparecen patrones de diferenciación muscular que dificultarían el análisis de la postura en un periodo concreto de tiempo y se considera que, si el bebé sano adquiere compensaciones posturales, se podrían abordar de manera más eficaz y eficiente puesto que el bebé no ha desarrollado patrones motores de desplazamiento autónomo como son el arrastre o la reptación.

4.1.1. El primer estadio: estadio de los reflejos primitivos, 0 a 6ª semanas

Este primer estadio también llamado estadio filogenético tiene una duración aproximada de 6 semanas, comprendida desde el nacimiento hasta el primer mes y medio del lactante. Los cambios corporales que acompañan el paso de la vida intrauterina a la vida extrauterina son enormes, todo el entorno del bebé cambia. Ante el nuevo entorno para el bebé, éste responde ante estímulos auditivos, gustativos, ópticos y táctiles. Al finalizar este estadio, comienza a madurar la interacción consciente con el medio (23,36).

La capacidad sensorial es requisito para el desarrollo de un vínculo sano, que determinará un desarrollo normal, tanto mental y psicológico como motor. Todos los órganos sensoriales independientemente de su grado de diferenciación desde el nacimiento están enfocados en reconocer a la madre. El recién nacido ya reconoce la voz y el olor corporal de su madre a partir de su vida intrauterina, mientras que el gusto y el olfato son importantes para la orientación en la primera fase del desarrollo (26).

Las funciones sensoriales del recién nacido abarcan una gama variada de capacidades que le permiten interactuar con su entorno desde los primeros momentos de vida. El sentido del olfato ya está muy desarrollado desde el nacimiento, en los primeros días después del nacimiento es el receptor principal. Junto con el sentido del gusto, facilita al recién nacido el reconocimiento de la madre, posiblemente a través de las sensaciones gustativas del líquido amniótico. El gusto y el olfato aportan las primeras experiencias sensoriales al bebé, frente a la vista y el movimiento cuyas capacidades son aún limitadas en esta etapa inicial. El oído, que comienza a percibir sonidos del entorno a partir de la semana 16 de gestación gracias a los receptores filogenéticos, permite al recién nacido dirigirse preferentemente hacia la voz materna. Aunque la vista nace con inmadurez, tras el estrés del parto

asume un papel fundamental en el establecimiento del vínculo madre-hijo. Desde los primeros momentos, el bebé puede enfocar su atención en el rostro materno, aunque su agudeza visual y habilidades de fijación de la mirada se desarrollan progresivamente en las semanas siguientes. La vista es el sentido que se va a desarrollar más rápidamente. En el nacimiento, la agudeza visual está poco desarrollada, pueden distinguir colores dentro de un espectro limitado. La visión es bidimensional, la fijación de la mirada solo es posible en una estrecha franja. A una distancia de unos 20-30 cm los niños pueden enfocar los bordes de un objeto, preferentemente una cara. La secuencia temporal de desarrollo de fijación de la mirada es muy estricta, a las 4 semanas el 50% de niños ya pueden mantener la mirada un rato, y a las 6 semanas lo hacen un 75% de ellos (26).

Si bien todas las experiencias sensoriales son significativas, las experiencias visuales tempranas destacan por su importancia especial. Una parte considerable del cerebro se especializa en el procesamiento visual, y la percepción, como proceso activo, implica la localización y extracción de información del entorno externo (85) y se organiza en sistemas, los cuales realizan un proceso de búsqueda y obtención de información. El sistema óptico, que está constituido por la retina, el nervio óptico y la corteza cerebral, es inmaduro en el momento del nacimiento. La función visual madura en los primeros años de vida como consecuencia del desarrollo funcional y estructural de los ojos y las vías visuales nerviosas (86).

La función visual juega un papel dominante respecto al desarrollo del pensamiento y la representación mental, pero también en la ontogénesis postural, los ojos adoptan un papel principal entre los telorreceptores a partir del mantenimiento de la mirada desde la cuarta a sexta semana porque la toma de la postura del niño hacia los estímulos visualizados es el principal motor en la configuración de los patrones posturales. La secuencia preprogramada de la maduración del desarrollo postural depende sobre todo de esa toma de contacto óptico. Desde la perspectiva de la cinesiología del desarrollo se considera que el desarrollo postural forma una unidad con la ontogénesis del sistema visual. Es importante percibir a la ontogénesis postural y a la función visual como una unidad (26).

En el estudio de Sánchez-González et al. (19) se realizó una revisión sistemática con el objetivo de compilar la literatura científica disponible sobre la posible relación entre el sistema visual y el desarrollo motor en los niños, se concluyó que todos los estudios incluidos establecían esa relación. Sin embargo, los métodos para medir el sistema visual y las habilidades motoras carecían de uniformidad.

El sentido del tacto es el primero en desarrollarse, el más maduro en el nacimiento. La boca y la cara reaccionan ya al tacto en los embriones de 5 o 6 semanas. La boca es el órgano táctil predominante. Todavía a los 5 años el tacto en la cara es más sensible que en las manos (87). Para el desarrollo del tacto es imprescindible contar con experiencias de contacto corporal. El contacto temprano promueve el desarrollo posterior de la sensibilidad táctil y, por ende, de la motricidad. Esta

combinación facilita la comprensión del entorno que rodea al bebé, ya que el sentido del tacto es muy importante para el desarrollo motor, cognitivo y psíquico (26).

Los hitos motores del bebé están profundamente entrelazados con su capacidad para comunicarse desde las primeras etapas de vida. Tras el nacimiento, el bebé se relaciona con el medio a través de los sentidos anteriormente descritos, pero también es capaz de expresar sus necesidades a través de programas innatos que activa de forma instintiva. No obstante, el bebé no tiene control sobre las reacciones emocionales primarias, está dominado por sus sensaciones.

A partir del sexto mes de vida es capaz de experimentar de forma consciente sus experiencias, tras la maduración del sistema límbico superior y de la corteza límbica. El imitar, llorar, sonreír y emitir sonidos son los primeros hitos motores que utiliza el lactante como supervivencia y a disposición del vínculo madre e hijo. A pesar de estos variados medios de comunicación, el recién nacido sólo puede reaccionar a los muchos estímulos de forma exagerada. Requiere de protección continua en un entorno que le permita poder entrar en contacto con el medio a su medida. La calidad del desarrollo de todas las formas de conducta depende de la posibilidad de desarrollar el primer vínculo individual del niño, la unidad madre e hijo, especialmente en las primeras etapas de vida. Crece entonces la necesidad de contacto del recién nacido con la madre, en una sucesión de experiencias agradables a través del tacto, las miradas, el oído, los olores y los sabores. La curiosidad emerge y progresivamente estimula el deseo de alcanzar y poseer objetos visibles, un impulso constante que impulsa el desarrollo general. Este proceso involucra una compleja interacción entre la capacidad sensorial, como la visión, y los sistemas circulatorio y respiratorio, que están interconectados. Además, la motivación se alinea con los procesos metabólicos y la capacidad de aprendizaje para fomentar el desarrollo de la motricidad innata. Esta motricidad es fundamental para el desarrollo automático de la postura, permitiendo al niño explorar e interactuar aún más con su entorno (26).

La prensión manual se expresa en los movimientos holocinéticos, del tipo reacción de Moro, que se presentan ante estímulos repentinos de suficiente intensidad. La garra plantar se manifiesta en los patalos primitivos con movimientos totales de flexión y extensión, en los que el pie se coloca, en fase de flexión total de la extremidad, en dorsiflexión y eversión, con los dedos en flexión y en ocasiones también el antepié (23,36).

En esta etapa, el bebé no tiene la capacidad de voltearse. Puede mantener la mirada fija de manera transitoria durante 2 a 3 segundos, durante los cuales se puede observar el "fenómeno de los ojos de muñeca". A partir del primer mes, la fijación de la mirada se vuelve más prolongada cuando hay contacto cercano, después de la 4ª semana, el lactante ya puede fijar visualmente un objeto y seguirlo con la mirada de forma precisa y prolongada y entre la 4ª y la 6ª semanas, se desarrolla la orientación espacial con movimientos coordinados de la cabeza y la mirada. La boca muestra una reacción refleja intensa a través del reflejo de succión en salvas y el reflejo de búsqueda (reflejo de

rooting), que es especialmente prominente en todo el territorio del trigémino. Desde el primer mes, el reflejo de búsqueda se activa únicamente desde la zona perioral (23,36).

4.1.1.1. Etapa de 0 a 4ª semana: mecanismos de enderezamiento en decúbito ventral

La postura del recién nacido en decúbito ventral es totalmente asimétrica tal como se muestra en la Figura 4. Un bebé recién nacido permanece en decúbito ventral con reclinación cefálica, brazos en posición de asa, con hombros en protracción, siendo mayor el nuczal, brazos en rotación interna y codos en flexión, las manos suelen estar cerradas en puño con las muñecas en flexión y ligera desviación cubital, los pulgares flexionados y aducidos cuando la mano permanece cerrada. Las piernas se mueven de forma homóloga dentro del patrón del pataleo primitivo, la pelvis en posición máxima con flexión de caderas hasta 115°, las piernas en máxima flexión y con menos de 45° abducción. En el patrón flexor de las piernas, es constante la eversión de los pies. Todo ello da lugar a la aparición de una hiperlordosis en la charnela dorsolumbar. En esta posición, el niño no tiene ningún punto de apoyo, sólo una superficie de reposo. El apoyo en el antebrazo es una falsa apariencia de la postura en asa de los brazos en decúbito ventral (77). No se produce un enderezamiento real, sino únicamente una extensión axial de la columna vertebral.

El recién nacido se mueve en un patrón global. El sentido de la contracción muscular es centrípeto, es decir, hacia el centro del cuerpo, debido a la falta de apoyos (23). Además, con la extremidad superior no hay posibilidad de apoyo, los brazos se encuentran pegados al cuerpo, la superficie de apoyo va de la mejilla al ombligo, que puede considerarse el centro de gravedad (donde confluyen los vectores de fuerza), por tanto, la cabeza se apoya asimétricamente. En esta etapa, la extremidad inferior tampoco tiene posibilidad de apoyo, con flexo de cadera de 90° de hiperlordosis lumbar; al final de esta etapa comienza la extensión combinada con la rotación externa de la cadera.



Figura 4. Recién nacido en decúbito ventral (26).

Como se observa en la Figura 4, el niño no tiene ningún punto de apoyo, sino una superficie de reposo. La reclinación de la cabeza y la anteversión pélvica primitiva son los signos típicos en el

órgano axial. El peso del cuerpo se descarga sobre la apófisis xifoides. Estos patrones posturales y motores en el órgano axial se vinculan estrechamente con los cambios que ocurren en los movimientos globales. Se realizan cambios posturales globales asimétricos, girando la columna vertebral “en bloque” y flexionada lateralmente, conformando en el órgano axial una convexidad en el lado facial. Durante el cambio de lado del apoyo, la cabeza y la parte superior del tronco se mantienen momentáneamente en contra de la gravedad, utilizando el “apoyo en los antebrazos” o el “apoyo tipo lagartija”, así las vías respiratorias quedan libres, el recién nacido puede llevar los brazos hacia delante y se inicia la extensión inicial de la columna vertebral. Las primeras funciones sinérgicas entre los extensores del tronco, sobre todo de la musculatura autóctona, y los músculos abdominales y los que mantienen las escápulas están relacionados con el movimiento hacia delante de los brazos. En este estadio todavía no hay superficie de apoyo, solamente una superficie de contacto (26).

4.1.1.2. Etapa de 0 a 4ª semana: patrones posturales en decúbito dorsal

En las primeras semanas de vida todavía existe, en decúbito dorsal y ventral, la postura de la pelvis en anteversión. A partir de la 4ª-6ª semana comienza a producirse la extensión de las caderas y las piernas y la aducción del pulgar, que puede interpretarse como una característica filogénica. A partir de la 4ª a la 6ª semana la posición del pulgar fuera del puño indica el inicio del desarrollo de la oposición del pulgar típicamente humana. El desarrollo individual de la postura comienza cuando el lactante empieza a enfrentarse al efecto de la gravedad. Sin embargo, la postura resulta inestable debido a la limitada superficie de apoyo cuando el recién nacido está en decúbito dorsal (26).

En el patrón postural del recién nacido, el estadio holocinético o de movimientos en masa se distingue por presentar reacciones tipo Moro. Si el bebé está tranquilo y despierto todas las extremidades están pegadas al tronco, como sucede en la posición flexora embrionaria. Ante distintos estímulos inadecuados o una exaltación importante en decúbito dorsal se despliegan de forma repentina, mostrando patrones motores primitivos (Figura 5). Estos patrones parciales primitivos del recién nacido muestran analogías con los patrones parciales de los reflejos tónicos. Los movimientos en masa son asimétricos y recíprocos. Se trata de reacciones indiferenciadas del SNC ante estímulos repentinos e intensos (23,26).



Figura 5. Reacción tipo Moro (26).

En las reacciones tipo Moro los brazos se separan abruptamente, tal como se puede observar en la Figura 5, quedando todas las articulaciones ligeramente flexionadas, es lo que se conoce como la fase del abrazo y puede estar acompañado de otros patrones parciales análogos a los patrones parciales de la reacción de Moro. La cabeza sobrepasa la línea media hacia el lado contrario, queda lateralizada y reclinada hacia el lado nuczal, con hiperextensión de tronco. En cuanto a las extremidades inferiores, las piernas se flexionan en las primeras 4 a 6 semanas de vida, con una flexión de cadera mayor de 90° y abducción menor de 45° , las rodillas se colocan en semiflexión y las plantas de los pies enfrentadas entre sí. Todo ello conforma una reacción de susto acompañada de dilatación de las pupilas, apertura de la boca y los ojos, la mímica de susto y la aceleración de la respiración completas las características de esta reacción. Es en la reacción tipo Moro donde se realiza, por primera vez, una rotación externa de la articulación del hombro, aunque sin tener una función postural. El SNC recibe informaciones relevantes de la extensión del órgano axial y de los amplios movimientos angulares de las extremidades. A partir de la 6ª semana de vida, siguen apareciendo patrones motores tipo Moro como la fase de extensión.

A lo largo de la ontogénesis, las curvaturas fisiológicas de la columna vertebral en el plano sagital van cambiando y están relacionadas con los patrones posturales y motores del órgano axial, que incluyen el tronco y la cabeza. En el recién nacido, la postura fisiológica de la cabeza es una reclinación cefálica e inclinación hacia el lado nuczal y de la pelvis una anteversión primitiva. El neonato en decúbito dorsal adquiere una postura asimétrica y recíproca, dado que para girar la cabeza en decúbito dorsal se pone de manifiesto la hiperlordosis cervical y lumbar debido a la falta de enderezamiento segmentario de la columna, puesto que la cabeza está en reclinación y no puede realizar una rotación libre de la columna cervical, de manera que cuando la cabeza rota se asocia un movimiento de inclinación cervical. El acto de girar la cabeza hacia un lado requiere que todo el cuerpo

se incline en bloque hacia ese lado, resultando en que la columna vertebral forme una convexidad hacia el lado hacia el que se dirige la cabeza, tal como se muestra en la Figura 5 (26).

Vojta et al. (26) describieron que la movilidad irradiada muestra patrones motores típicos, como la posición en asa de los brazos y el pataleo primitivo. La posición en asa de los brazos con los hombros en protracción y rotación interna, brazos pegados al cuerpo, antebrazos en flexión, muñecas en flexión palmar y abducidas hacia el lado cubital, pulgares frecuentemente incluidos en el puño; las piernas pueden estar mantenidas en flexión cerca del tronco con una flexión de caderas de 120° y una abducción menor de 45° . Un pataleo primitivo hasta la semana 4ª a 6ª, son movimientos homólogos o alternantes que se realizan con todas las articulaciones de las piernas, situándose éstas en extensión o en flexión. En el patrón flexor, la cadera se flexiona más de 90° , con abducción menor de 45° y rotación interna. Durante las primeras 4 a 6 semanas, el tobillo debe estar en eversión, identificándose como un signo típico de pataleo primitivo, en ocasiones puede darse una flexión del antepié y de los dedos del pie. En el patrón extensor, la anteversión de la pelvis limita el pataleo primitivo de las piernas. La extensión es incompleta en la cadera y rodilla, combinada con aducción/rotación interna de la cadera y rotación interna de la rodilla. En el patrón extensor incompleto aparece en ocasiones la inversión del pie y la extensión de los dedos con la separación en abanico de estos. Cuando aparece el patrón de extensión simétrica de las piernas las plantas de los pies están enfrentadas entre sí, esto es debido a la posición en varo fisiológico de la pierna con rotación interna y aducción de la rodilla. En los patrones motores primitivos, la rotación interna y la aducción de las articulaciones esféricas son transitorias y no se mantienen de manera rígida; en cambio, los movimientos y los cambios posturales fluyen de manera suave y continua (26).

Las funciones musculares en los patrones posturales del recién nacido están estrechamente ligadas al desarrollo inicial de habilidades vitales. En el inicio de la respiración pulmonar intervienen las primeras sinergias musculares de activación rítmica. La musculatura que participa en el mamar y en el lenguaje siguen en continuo desarrollo en interdependencia con la diferenciación de las funciones musculares de la ontogénesis. Los movimientos en masa son resultado de la actividad muscular dirigida todavía en sentido proximal. La reclinación de la cabeza y la anteversión pélvica primitiva son signos típicos de que la musculatura ventral del órgano axial aún no se ha diferenciado en su función de iniciar la orientación. Únicamente cuando la orientación óptica se mantiene por más tiempo se produce la acción sinérgica entre la musculatura ventral, flexora, de la columna cervical y lumbar y la musculatura dorsal. La musculatura del tronco se activa de forma desequilibrada en los cambios posturales, siendo estos cambios fluidos con patrones asimétricos (26).

Esta interacción de la musculatura del tronco, todavía no sinérgica, repercute en la función muscular de las extremidades. La rotación interna de los brazos se mantiene debido a la falta de constancia en la posición de las escápulas respecto a las costillas, lo que impide que los músculos rotadores externos del brazo contrarresten eficazmente la acción de los potentes rotadores internos.

No obstante, en la reacción de Moro desaparece la tendencia a la rotación interna de los hombros, sin tener todavía una función postural. El patrón postural y motor de las piernas aparece en rotación interna, porque cuando la pelvis está en anteversión primitiva, la mayor parte del músculo glúteo medio discurre todavía por delante del plano frontal, de manera que esa porción de músculo se asocia a los rotadores internos. La postura en anteversión primitiva de la pelvis limita funcionalmente también a los músculos recto femoral, iliopsoas e isquiotibiales, realizando una función monoarticular que se manifiesta en el pataleo primitivo. La función del músculo cuádriceps, en la fase de flexión, está limitada, debido a que el músculo recto femoral realiza una flexión incompleta de la cadera, debido a esto, la rótula es traccionada en sentido craneal, configurando la rótula alta fisiológica. La eversión del pie es característica de este estadio, ya que para extender el pie sin eversión es necesaria una actividad muscular muy diferenciada de los flexores y supinadores del pie. Cuando la orientación óptica es más competente, la desaparición de la eversión del pie es una señal de la diferenciación de la función muscular. La tendencia a la rotación interna de los hombros provoca el típico patrón de extensión primitiva de los brazos debido a la combinación funcional de los pronadores del antebrazo con los flexores y abductores de la muñeca. Es característico en el recién nacido la inclinación del pulgar, esto es indicativo de que la musculatura coaptadora de la escápula aún no está diferenciada, existe también un desequilibrio entre los músculos que aducen las falanges con el puño y los abductores que despliegan la mano, es decir, los músculos interóseos dorsales con el músculo abductor largo del pulgar, manifestándose en un pulgar incluido en una mano cerrada en puño (26).

4.1.1.2.1. Etapa de 4ª a 6ª semana: patrones posturales en decúbito dorsal

La intensidad neonatal de los reflejos primitivos ha disminuido, ya no están presentes o solo de forma débil. No están presentes el reflejo de Babkin, el fenómeno de los ojos de muñeca, el automatismo de la marcha, la extensión primitiva de las piernas y el reflejo suprapúbico de extensión (26).

Esta etapa representa el verdadero comienzo de la ontogénesis postural, marcada por el desarrollo coordinado de habilidades visuales y posturales. El adecuado desarrollo en el momento oportuno ocurre cuando se facilita un desarrollo visual normal, se fomenta el seguimiento de estímulos visuales apropiados, existe un deseo de percibirlos y se logra percibirlos conscientemente, junto con la adquisición competente de patrones posturales ideales en relación con su tiempo de aparición y disponibilidad. Los objetos captados visualmente son ahora también perseguidos. Los movimientos de prensión de las manos y de los pies que acompañan, aunque todavía sin poder dirigirlos hacia esos objetos, se corresponden con la fijación de la mirada. Las cortas fijaciones de la mirada son ya reconocibles en los movimientos de prensión asociados en las manos y los pies. A partir de la 4ª a 6ª semana, se mantiene más tiempo la mirada y se va haciendo más competente la relación entre la percepción óptica y el despliegue del tronco y extremidades, los cambios posturales y el despliegue de

las manos y los pies son una evidencia del despliegue de la columna. La fijación más prolongada de la mirada (el 50% de los niños a las 4 semanas, el 75% a las 6 semanas) indica un desarrollo mental normal y una maduración de los patrones posturales (26).

En cuanto a los miembros superiores, desaparece la posición en asa de los brazos, que se mueven más en el plano sagital, disminuye la protracción y rotación interna de los hombros y comienza el control de las escápulas y el pulgar ya no queda incluido dentro del puño. Respecto a los miembros inferiores, disminuye la flexión y rotación interna de las caderas y desaparece la eversión del pie en el patrón flexor del pataleo. Las articulaciones de hombros y caderas se desarrollan hacia articulaciones esféricas (26).

Todos estos cambios son signos de que va disminuyendo la reclinación y la anteversión pélvica, de este modo la columna vertebral se va desplegando y la postura va siendo menos insegura para el bebé. A nivel cervical, aparece un mayor componente de rotación axial a medida que va disminuyendo la reclinación cefálica y la hiperlordosis cervical, todo ello produce un mayor rango de seguimiento visual. Por otro lado, también va reduciéndose la flexión lateral del tronco. Los movimientos de orientación de la cabeza están todavía limitados en su amplitud y se corresponde con la fase inicial del mantenimiento de la columna cervical en su eje. El giro de la cabeza se acompaña de inclinación, además de inclinarse el tronco configurando la convexidad del lado facial. De esta forma, los ojos y la cabeza no pueden todavía dirigirse de manera independiente hacia un estímulo óptico. Los movimientos de la cabeza están asociados a movimientos irradiados del patrón postural global, aunque van reduciéndose. La movilidad irradiada aparece en el patrón del esgrimista a partir de la 6ª a la 7ª semana, que muestra una maduración ideal de todos los componentes de adaptación postural frente a los estímulos visuales (26).

Uno de los signos que indican que ha comenzado la diferenciación de la función muscular de los brazos es que los pulgares se sitúen por fuera de los puños y se inicie el equilibrio muscular. En cuanto a los miembros inferiores, la activación de la musculatura abdominal y la desaparición de la eversión del pie durante el patrón flexor del pataleo en el inicio de la desaparición de la anteversión pélvica (26).

La activación de la musculatura respiratoria es la condición previa ideal para la diferenciación de la musculatura ventral de la columna cervical y de la cabeza, favoreciendo la diferenciación de la musculatura del cuello en las acciones sinérgicas de orientación y mantenimiento de la mirada a partir de la 4ª a la 6ª semana. Correspondiente al comienzo de la extensión de la columna vertebral se activa la musculatura que flexiona la cabeza y la columna vertebral. La desaparición de la flexión primitiva de las piernas indica el inicio del sinergismo de la musculatura abdominal y lumbar. De forma global, es de gran importancia la diferenciación de la musculatura autóctona axial, responsable del control inter segmentario de la columna vertebral (26).

4.1.1.2.2. Etapa de 4ª a 6ª semana: patrones posturales en decúbito ventral

El verdadero comienzo de la ontogénesis del enderezamiento es la fijación mantenida de la mirada y el seguimiento visual de los estímulos percibidos, llamado “enderezamiento óptico”. Con el mantenimiento de la concentración visual después de la 4ª semana, aparecen en decúbito ventral nuevos patrones motores para la orientación, pues son necesarios mecanismos de enderezamiento para elevar la parte craneal del órgano axial y mantenerla sobre los antebrazos más tiempo (26).

El despliegue de los brazos se lleva a cabo por la activación de los rotadores externos, los brazos abandonan la posición en asa y comienzan a ser llevados desde el plano frontal hacia el sagital para el apoyo de los antebrazos, realizan un movimiento de paso hacia adelante del brazo hasta una flexión de 45° y aducción hasta 45°, abducción con rotación externa. Los codos están flexionados aproximadamente 30°, ha desaparecido la desviación cubital de las muñecas, al cerrar la mano en puño el pulgar ya no permanece aducido, se mantiene fuera del puño. La flexión de las piernas cede, controlada por la rotación externa de éstas y dentro del patrón flexor del pataleo ya no es constante la posición en eversión de los pies (26).

Es importante destacar que la asimetría postural del órgano axial disminuye gradualmente, con el peso corporal desplazándose hacia la zona umbilical. Este cambio está acompañado por un enderezamiento intersegmentario y extensión axial de la columna vertebral. Este proceso incluye la reducción de la reclinación cefálica, la disminución de la hiperlordosis cervical, y una menor protracción escapular a medida que mejora el control de las escápulas y comienza la activación de la rotación externa en los miembros superiores, junto con el apoyo en los antebrazos en decúbito ventral. Además, la rotación de la cabeza se extiende a través de las vértebras cervicales, y a nivel caudal, la anteversión pélvica primitiva disminuye conforme las piernas, en ligera rotación externa, abandonan la flexión primitiva durante el “enderezamiento óptico” (26).

Todos estos acontecimientos motores contribuyen al paso de una superficie de contacto a una superficie de apoyo, se forma así una primera base de apoyo entre los antebrazos en posición asimétrica y la zona umbilical. El apoyo de los antebrazos muestra que las articulaciones de los hombros comienzan su desarrollo como articulaciones esféricas. Las articulaciones de la cadera inician también su desarrollo como articulaciones esféricas cuando cede la flexión primitiva de las piernas y aparece la rotación externa, aunque su función de apoyo se inicia a partir del 5º mes de vida.

La diferenciación de la función muscular en esta etapa es evidente en varios aspectos del desarrollo postural y motor del bebé. El apoyo y enderezamiento mantenido sobre los antebrazos significa que ciertos grupos musculares han cambiado el efecto de su contracción, dirigiéndose en sentido distal. Los primeros enderezamientos incluyen el comienzo de reacciones de equilibrio diferenciadas, cuando se mantiene más tiempo la orientación cefálica, el peso recae más en el hombro del lado hacia el que el bebé dirige la mirada, configurando el hombro facial. Los músculos dorsales, al

contraerse, dirigen su fuerza hacia distal, en contra de la gravedad, como los músculos de la cintura escapular y los brazos, que desempeñan funciones de enderezamiento y tienen una orientación vertical. La musculatura ventral se encuentra situada dentro de la base de apoyo asumiendo una función antigraavitatoria y su sentido es la horizontal. La musculatura autóctona que sostiene los segmentos de la columna se beneficia de la fuerza generada por la rotación de los músculos romboides y trapecios sobre las vértebras. Se inicia el sinergismo entre los rotadores de las articulaciones de los hombros y caderas. La musculatura abdominal se diferencia al contraerse en sentido craneal, al tiempo que el sostén cefálico se logra mediante la acción sinérgica y antagónica de los músculos occipitales, los músculos largos del cuello y los músculos largos y rectos de la cabeza, lo que reduce la reclinación cefálica (26).

4.1.2. El segundo estadio: desaparición de los reflejos primitivos, de 7ª a 13ª semana

Esta fase de desaparición de los reflejos primitivos tiene una duración de un mes y medio desde la 6ª semana del nacimiento hasta el final del 3º mes. En la toma de contacto con el medio, el bebé evidencia un contacto consciente con éste a través de la expresión facial y el oído (23,36).

En esta fase, los bebés exploran nuevos patrones de interacción social y emocional. Las posibilidades del niño de comunicarse a través de la mímica, los gestos y el “lenguaje”, aumentan rápidamente expresándose por medio de la motricidad. La sonrisa social se ha ido desarrollando a partir de la 6ª semana de vida del lactante y aparece, como tarde, a partir de la 8ª semana, en este estadio se acompaña también de sonidos guturales, posteriormente, a final del primer trimestre el bebé ya expresa su alegría riéndose a carcajadas. La vocalización es todavía indiferenciada, pero es más rica y predominan los sonidos guturales vocálicos. A partir de la 8ª semana repite sonidos guturales encadenados. La emisión de sonidos se realizará con mayor volumen. Además, la orientación visual continúa desempeñando un papel crucial tanto en el desarrollo motor como en el desarrollo del pensamiento y la imaginación. La capacidad de mantener la mirada concentrada se prolonga por períodos más extensos (26).

A partir de la 6ª semana comienza la toma de contacto utilizando la postura del esgrimista, mientras que simultáneamente surge la garra plantar cuando se produce el contacto consciente con el medio, irradiando la motricidad hasta el pie. Progresivamente, el contacto se realiza con movimientos distónicos desde la 8ª semanas hasta la 13ª semana aproximadamente. Así, la prensión manual se manifiesta con movimientos distónicos durante lo que se conoce como la fase distónica. Desde el decúbito ventral se desarrolla la orientación a partir del propio cuerpo y, a partir de la 8ª semana comienza la orientación en su propio cuerpo con el juego de los dedos de las manos con la coordinación mano-mano, se inicia del desarrollo del esquema corporal con la percepción óptica del juego entre los dedos de las manos (23,26,36).

Al final del primer trimestre es más difícil desencadenar de forma automática la mayoría de los reflejos y automatismos primitivos, pues éstos empiezan a someterse al control voluntario. Los reflejos tónicos de extensión de las piernas (extensión tónica primitiva, reflejo suprapúbico, reflejo extensor cruzado, marcha automática, reflejo del talón plantar) ya no se pueden desencadenar en la mitad del 1^{er} trimestre. El reflejo de Babkin y el fenómeno de los ojos de muñeca permanecen ausentes. El reflejo de Galant y el reflejo prensor de la mano hace tiempo que disminuyeron su intensidad. Después de la 6^a semana de vida el reflejo de búsqueda solo se desencadena a partir de la zona perioral. El reflejo de *rooting* y el reflejo de succión van disminuyendo a partir del 3^{er} mes de vida hasta el 6^o mes de vida. El reflejo óptico-facial se desencadena de forma inconstante a los 3 meses (26).

4.1.2.1. Etapa de la 7^a a 13^a semana: patrones posturales en decúbito dorsal

Los patrones posturales que van desapareciendo en decúbito dorsal hasta el final del 3^{er} mes de vida son de tipo holocinético. Durante la segunda mitad del 1^{er} trimestre, se va conformando una base postural cada vez más segura para la orientación. Los principales hitos de desarrollo del decúbito dorsal en este estadio son la postura del esgrimista (Figura 6), la fase de distonía fisiológica y la coordinación mano-mano. Al final de la 6^a y en la 7^a y 8^a semana de vida, la postura del esgrimista es la expresión positiva del niño en relación hacia personas u objetos de su entorno, indica que el bebé ha percibido visualmente un estímulo y reacciona alegremente, y quiere agarrarlo con sus manos. Este patrón postural refleja la conexión entre la orientación visual y la actividad motora del cuerpo.

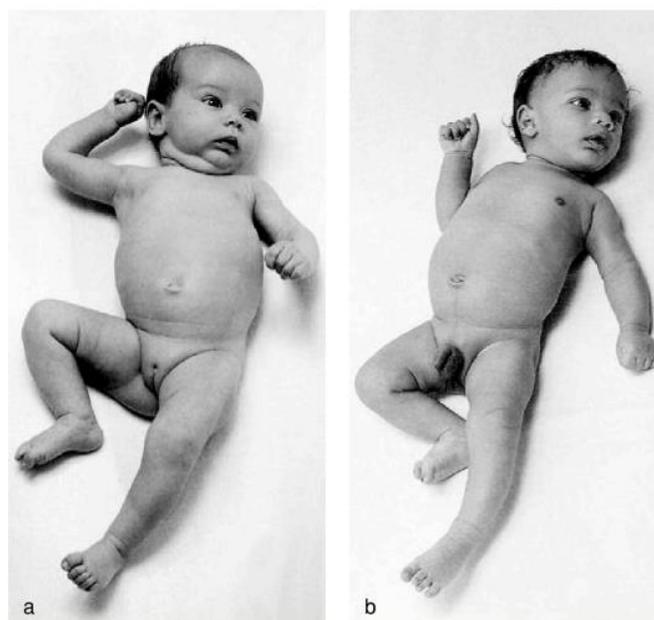


Figura 6. Postura del esgrimista (26).

La postura del esgrimista (26) se caracteriza por mantener las articulaciones de hombros y caderas en ligera rotación externa. Se observa una diferenciación entre las articulaciones dirigidas hacia la mirada del bebé (lado facial) y las que no (lado nual). En el lado facial, el codo y la rodilla están en extensión relajada, mientras que, en el lado nual, están en flexión relajada, con el brazo nual menos abducido y el codo flexionado. La muñeca del brazo nual puede flexionarse al iniciar el movimiento de prensión. Se presenta una prensión imaginaria en manos y pies, con el pulgar fuera del puño para la prensión. En el brazo facial, el antebrazo se extiende y supina, mientras el brazo se abduce hasta el ángulo recto. La muñeca permanece en posición media en el plano sagital, con leve abducción radial, y las articulaciones del tobillo se mantienen en posición media en el plano frontal. Movimientos de prensión aparecen en el antepié y los dedos del pie. La columna vertebral está iniciando el enderezamiento inter segmentario o extensión axial, permitiendo la rotación de la cabeza hasta los 90°. El giro de la cabeza de 90° a 180° se acompaña de movimientos irradiados del tronco en menor grado. La superficie de contacto abarca una mayor porción del órgano axial, brindando una base postural más segura, aunque aún no constituye una auténtica superficie de apoyo.

La posición de las articulaciones intermedias durante la postura del esgrimista puede llevar a confundirla con el reflejo tónico cervical asimétrico (RTCA). La principal diferencia radica en que el RTCA se desencadena a través de un giro pasivo de la cabeza, es decir, debido a un estímulo propioceptivo en la zona de las primeras articulaciones intervertebrales. Por el contrario, en la postura del esgrimista, el bebé se posiciona espontáneamente frente a lo que ha percibido de forma visual, a través de la activación de la primera y segunda neurona. La postura del esgrimista está descrita dentro de la ontogénesis postural, no ocurre lo mismo con el RTCA, en el que pueden aparecer analogías entre patrones parciales del RTCA y patrones patológicos en el desarrollo de la PC, como son como son el pulgar que se mantiene dentro del puño de manera constante y las muñecas que están en flexión y desviación cubital. El pie del lado facial se posiciona en equino y el pie del lado nual está en marcada eversión con separación de los dedos del pie. Dependiendo de la rotación cervical, las articulaciones intermedias estarán en flexión rígida o en hiperextensión, mientras que las articulaciones de hombros y caderas se mantienen en constante rotación interna y aducción, y la columna vertebral se desvía hacia una asimetría extrema (77).

A partir de la 8ª semana de vida, el bebé entra en una fase conocida como la fase de distonía fisiológica (26). En esta etapa, cambia la configuración de los patrones globales para la orientación, ya que la capacidad de atención del niño ha aumentado considerablemente, manifestándose en forma de respuesta intencionada con todo su cuerpo. La fase distónica representa el primer intento de tomar contacto con el entorno con todo el cuerpo. Los movimientos son distónicos e inseguros y contienen elementos fásicos y de apoyo (Figura 7).



Figura 7. Fase de distonía fisiológica. El bebé emocionado de ver a su mamá, busca contacto con todo el cuerpo, la distonía fisiológica aumenta su excitación (26).

Los movimientos de aceptación se acompañan de una expresión facial de alegría. En cambio, los movimientos de rechazo son asustadizos, repentinos y muy desordenados. La cabeza se reclina y su cara expresa una emoción negativa. El niño es capaz de diferenciar entre percepciones positivas y negativas (23). El intento de tomar contacto puede expresarse solo con las piernas, en este caso los brazos se apoyan extendidos en la superficie o el bebé despega la pelvis buscando contacto, apoyándose en los talones, en la cintura escapular o en la nugal. Las extremidades mantienen una leve rotación externa de hombros y caderas. En este periodo, la base postural es lo suficientemente segura como para que pueda elevar, en contra de la gravedad, las extremidades o la pelvis y dirigirlas hacia un estímulo; se forma la primera superficie de apoyo irregular cuando se activa la función de apoyo en la cabeza, el tronco, la cintura escapular y en los talones. La columna vertebral refleja una mayor extensión axial comparada con la postura del esgrimista. Estas expresiones motoras globales dirigidas hacia un objeto están presentes entre la 8^a y 10^a semana de vida y se mantienen como mucho hasta la 13^a semana de vida. En decúbito ventral no existe la fase distónica.

Posteriormente, en la 8^a semana de vida comienza el desarrollo de la coordinación mano-mano en el centro del campo visual junto con la extensión axial de la columna cervicodorsal (7). Este patrón comienza con un juego entre los dedos de las manos, cerca de la cara, se desarrolla cuando el bebé está despierto, saciado y tranquilo, en este momento comienza la actividad motora por sí misma y no por estímulos externos, el impulso para ello es su estado de bienestar. Se trata del inicio del reconocimiento de su esquema corporal (23). En esta situación los brazos abandonan la postura que tenían, el despliegue de los brazos al iniciarse el movimiento de rotación externa guía el patrón de la coordinación mano-mano. Los brazos abandonan la posición en asa y se colocan en una flexión de 45° los hombros se abducen a 45°. Las manos pueden aparecer en el centro del campo visual. Los antebrazos flexionados están en ligera supinación. Las muñecas se mueven libremente en leve desviación radial, las manos están al principio semi desplegadas, con los metacarpianos aún en aducción. Los pulgares se desvían lateralmente lo que indica el comienzo del desarrollo de la oposición.

Las piernas se flexionan acompañando el juego de las manos y después de la 8ª semana de vida las piernas se mantienen más elevadas del plano.

La coordinación mano-mano que comienza con el juego entre los dedos de las manos, no se debe confundir con el inicio de la prensión dirigida a un objeto (23). A partir del inicio del juego entre los dedos y a lo largo de las siguientes semanas, se desarrolla la coordinación entre ambas manos de una manera más madura. Gracias al despliegue progresivo de los brazos en rotación externa, abducción y flexión con el centrado de las escápulas, se origina la coordinación ojos-mano-boca al contactar las manos con la boca y los ojos. Toda la atención y concentración del bebé están focalizadas en la exploración de sus manos, si aparecen distracciones externas se irrumpe la exploración, pero la postura en decúbito dorsal se mantiene. En la Figura 8 se puede observar la concentración en la exploración de las manos colocadas a mayor distancia y con una movilidad más diferenciada de los antebrazos se acompaña de la emisión de sonidos cada vez más variados (26).

La coordinación mano-mano madura se puede conseguir gracias a una base postural progresivamente más segura, donde los brazos se mueven por delante del cuerpo con una flexión de 90° y leve rotación externa, demostrando la capacidad de mantener centradas las articulaciones de hombros y escápulas. Las muñecas se mueven libremente en el plano sagital, con leve abducción radial, mientras que el progresivo despliegue de las manos indica el inicio de la oposición del pulgar. Las piernas se mantienen en un ángulo recto en todas sus articulaciones en el plano sagital, elevadas en el plano de apoyo, lo que señala que la pelvis se mantiene centrada en su eje longitudinal, y los muslos se mueven en rotación externa y abducción. El juego mano-mano se acompaña, al principio, de movimientos irradiados de prensión en los pies. Al madurar la coordinación mano-mano, los dedos gordos de los pies se tocan entre sí y ese movimiento también va madurando hasta colocarse enfrentadas las plantas de los pies (26).



Figura 8. Coordinación mano-mano madura. Desde una base más segura, el bebé explora sus manos con los dedos entrelazados entre sí, se puede observar también una prensión irradiada de los pies (26).

Durante el acto de agarrar, el cual implica un agarre bilateral de las manos con la intervención del reflejo de prensión, es común que el niño abra la boca en la mayoría de las ocasiones. Cualquier

cosa que el niño agarra, ya sea de manera consciente o involuntaria, de forma automática y con insistencia, termina siendo llevada a su boca (23).

A lo largo del tercer mes se desarrolla un decúbito dorsal más estable. La cabeza puede rotar en todos sus grados de movimiento. En la transición al 2º trimestre, el órgano axial puede ser mantenido en todos los planos, libre para moverse. La columna vertebral está extendida axialmente, así que puede rotar y enderezarse en cada uno de sus segmentos del decúbito dorsal. Si el tórax se mantiene desplegado, las clavículas y el esternón se mantienen en su posición media, las costillas están desplegadas y disminuye la protracción de los hombros. El abdomen está menos distendido y la pelvis está más centrada en su eje longitudinal. Al flexionar las piernas y elevarlas la superficie de apoyo disminuye y se traslada en sentido craneal. Al final del 1^{er} trimestre cuando las piernas están elevadas en contra de la gravedad, la nuca y la parte superior del tronco son las que asumen la función de apoyo. La nuca, las espinas de ambas escápulas y la apófisis espinosa de la 12^a vértebra dorsal delimitan la superficie de apoyo configurando una base de apoyo romboidal, que coincide con los bordes del músculo trapecio (26).

El movimiento independiente de los ojos aparece, cuando el patrón global de la coordinación mano-mano ha madurado completamente alrededor del 4º mes, es posible que uno de los brazos pueda liberarse y realizar la primera prensión lateral. En este momento, los ojos se han liberado de la movilidad holocinética y al final del 1^{er} trimestre se pueden mover y dirigirse a una dirección de forma independiente, es decir, pueden girar 30º desde la posición central, lateralmente independiente del movimiento de la cabeza. El desarrollo de la movilidad ocular es el patrón parcial más maduro dentro del patrón global de la coordinación mano-mano (26).

En el patrón de la coordinación mano-mano juega un papel muy importante el efecto moldeador de las articulaciones de las caderas (26). En el patrón maduro de la coordinación mano-mano las cabezas femorales, que se mueven deslizándose en la cavidad cotiloidea, se encuentran ya centradas en todas sus posiciones angulares. Las articulaciones de las caderas, que al principio funcionan como articulaciones charnela, se desarrollan como articulaciones esféricas a medida que cede la anteversión pélvica primitiva. Las piernas son elevadas del plano de apoyo. El peso de la pierna recae en ambos lados sobre el cuello femoral, actuando en contra de la valguización del ángulo cervico-diafisario del fémur. En el patrón de la coordinación mano-mano, el eje del cuello femoral se encuentra alineada con el eje del cotilo. En esta posición la carga de todo el peso de la pierna se convierte en un factor moldeador que disminuye la antetorsión. Con las caderas en flexión de 90º y en leve rotación externa y abducción, la cabeza femoral se centra dentro de la cavidad cotiloidea. La carga alternante y dinámica en la articulación de la cadera, debido al peso de la pierna sobre esta amplia superficie articular, actúa como un factor modelador que contribuye a la verticalización del acetábulo.

En esta etapa, se puede observar una diferenciación significativa de la función muscular en la postura del esgrimista. Las funciones posturales iniciales de la musculatura de las extremidades

reflejan las funciones de la musculatura autóctona de la columna (26). Los músculos rotadores externos de las articulaciones esféricas ponen en marcha la diferenciación funcional de los músculos que fijan la escápula y centran la pelvis en su eje. Con la movilidad de la pelvis, aumenta la diferenciación de la musculatura autóctona provocada desde la periferia. Con la elevación de las piernas y la libre movilidad de la pelvis y los vectores de fuerza dirigidos en sentido craneal, se activan los músculos abdominales con un alto grado de diferenciación. Los músculos cortos de la nuca alcanzan su máxima diferenciación para la activación de la función de apoyo del occipucio. Funcionando a la inversa, actúan en sinergismo directo con los músculos ventrales de cabeza y cuello, en contra de la lordosis de la columna cervical. En la transición al 4º mes de vida, la musculatura autóctona, que despliega segmentariamente la columna vertebral, se encuentra completamente diferenciada en el patrón de coordinación mano-mano.

4.1.2.2. Etapa de la 7ª a 13ª semana: patrones posturales en decúbito ventral

La curiosidad del lactante aumenta conforme mejora su capacidad de seguir objetos visualmente y enderezar su vista de manera natural, reflejando una evolución progresiva en su movilidad y un alcance de su mirada aumenta progresivamente (Figura 9). El apoyo simétrico en codos (26) es un componente automático de la percepción. El niño adopta esa postura sin esfuerzo y puede desarrollar el pensamiento como parte del proceso de percepción global del entorno. Todo esto provoca que el niño empiece a interpretar el mundo. A lo largo del 3º mes de vida madura el patrón global del apoyo simétrico en codos. Dado que los codos se colocan a la misma altura, se denomina apoyo simétrico en codos, más concretamente, al apoyo simétrico de los brazos en ambos epicóndilos mediales. La base de apoyo en decúbito ventral sobre ambos codos es altamente dinámica al servicio de la orientación visual. La postura es asimétrica dependiendo del movimiento de la cabeza para la orientación, aumentando la carga sobre el brazo facial; cualquier desplazamiento angular se puede compensar de forma segura.

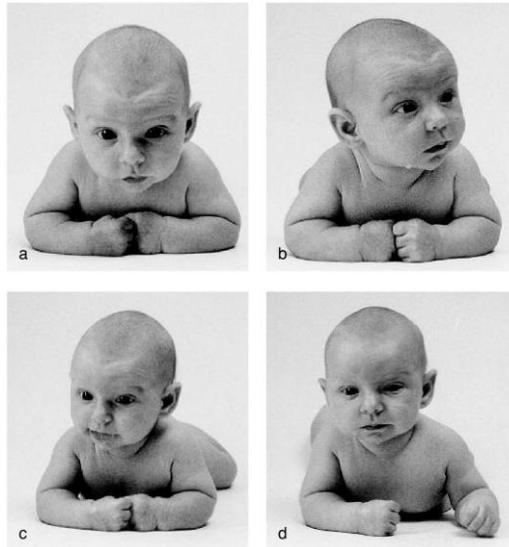


Figura 9. Apoyo simétrico en codos. El aumento de curiosidad provoca que el niño se mantenga más enderezado en el decúbito ventral (26).

En la posición de decúbito ventral, el "enderezamiento óptico" se inicia entre la 4^o y la 6^o semana de vida. En este primer patrón de enderezamiento, el apoyo se realiza sobre los antebrazos, manteniendo los hombros en una posición de 45° de flexión y abducción. Progresivamente, en el transcurso de las próximas semanas los brazos se van a ir adelantando a medida que va manteniendo más tiempo el seguimiento visual, esto se manifiesta en la Figura 10. Con el comienzo del 4^o mes, el niño dispone de forma automática, y durante un tiempo prolongado, del apoyo simétrico en codos, realizándose la carga en los brazos sobre ambos epicóndilos mediales del húmero (26).

El control de la postura y el movimiento de la cabeza juega un papel importante en el desarrollo temprano de las habilidades motoras. Lima-Álvarez et al. (16) realizaron un estudio longitudinal de 18 bebés entre el nacimiento y los 4 meses registrando los cambios en la postura y los movimientos de la cabeza al seguir un objeto visual. Los resultados mostraron que después de 2 meses, la cabeza se mantenía con mayor frecuencia en la línea media del cuerpo y esto iba acompañado de un aumento en el número, la extensión y la velocidad del movimiento de la cabeza. Además, se descubrió que los movimientos de la cabeza estaban organizados en unidades de movimiento. Las unidades de movimiento inicialmente aumentaron en número, pero después de 3 meses disminuyeron en número y aumentaron en duración, especialmente después de la velocidad máxima. Este perfil de velocidad más simétrico apunta a movimientos de cabeza más controlados después de los 3 meses de edad.

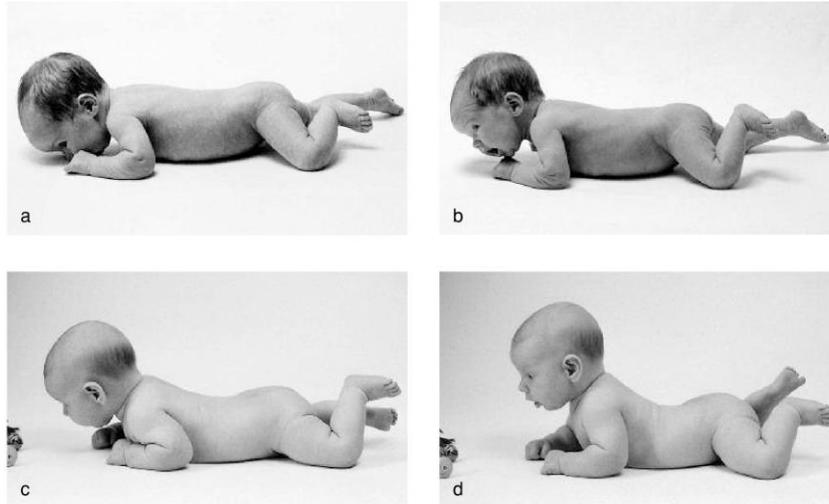


Figura 10. Configuración en la progresión de puntos de apoyo en decúbito ventral. En el patrón de apoyo simétrico en codos el peso de la cabeza se mantiene, cada vez más, fuera de la base de apoyo y realiza simultáneamente la “presión” con los ojos. La disminución de la flexión de las caderas se corresponde con la amplitud en la flexión de los hombros hacia delante (26).

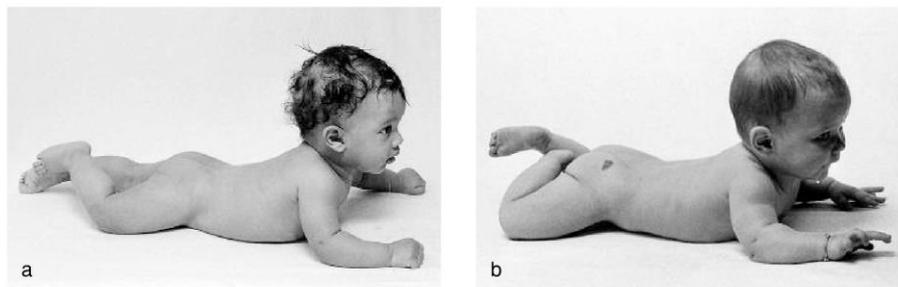


Figura 11. Apoyo activo y simétrico en codos. Los bebés de la fotografía se orientan mostrando un apoyo activo y simétrico en codos, correspondiente a la edad de más de 3 meses de vida (26).

En la Figura 11 se muestra el apoyo en los epicóndilos mediales, el ángulo formado entre los brazos y la columna es de más de 90° . De manera que los brazos se colocan simétricos por delante del plano transversal que pasa por las articulaciones de los hombros, y en leve rotación externa; su posición en plano frontal. En el plano transversal los brazos se mantienen en leve rotación externa; su colocación frontal o de extensión transversal resulta de la proporción de la longitud del brazo respecto al punto de apoyo. Al principio los antebrazos flexionados no se pueden mover libremente. Las manos están abiertas, aunque todavía no pueden juntarse para el juego mano-mano. La postura en flexión de las piernas ha desaparecido por completo, guiada por la rotación externa y la abducción. Se mueven más libremente y pueden mantenerse en posición media en el plano transversal. Las articulaciones de las caderas se convierten en articulaciones esféricas al desaparecer la anteversión pélvica y los pies se pueden mantener en posición media en el plano frontal. Hacia la mitad del 4º mes de vida, las manos se pueden juntar en la línea media debido a que los antebrazos se mueven más libremente como se muestra en la Figura 12.



Figura 12. Apoyo simétrico en codos con movimiento libre de antebrazos y manos propia de la edad de desarrollo de la mitad del 2º trimestre (26).

En este patrón, la columna vertebral se mantiene extendida axialmente, es decir, todos los segmentos de la columna rotadora se mantienen separados entre sí, desde la charnela craneocervical hasta la charnela toraco-lumbar, permitiendo que se muevan libremente en todos los planos. La rotación de la columna vertebral alcanza hasta la zona media dorsal, y la extensión del órgano axial permite que la cabeza rote en todos los grados sin reclinación ni inclinación, además de poder inclinarse sin rotar. Aparece el movimiento en el plano transversal, y el niño ya es capaz de realizar movimientos en los tres planos del espacio. Los ojos giran 30° más que la cabeza, desarrollando un campo visual de 240° . Las articulaciones de hombros y caderas se han desarrollado como articulaciones esféricas, aunque las de la cadera no intervienen aún en el enderezamiento. La reclinación cefálica, la protracción de los hombros y la anteversión pélvica primitiva han desaparecido. El raquis cervical se extiende axialmente y la cabeza puede rotar 180° . La cavidad glenoidea de los hombros se desliza sobre la calidad de ambos húmeros, descargando el peso de forma simétrica en la cintura escapular. La cabeza, cuyo peso es un tercio del peso corporal total, se mantiene enderezada y en equilibrio por delante de la base de apoyo. Con el enderezamiento progresivo de los brazos, el peso del cuerpo se desplaza en sentido caudal a partir de la zona umbilical. Al madurar el patrón del apoyo simétrico en codos, los puntos de apoyo activos son los epicóndilos mediales de ambos húmeros, colocados simétricamente y la sínfisis del pubis, formando un triángulo isósceles. El centro de gravedad se desplaza hacia el pubis, el bebé presenta sonrisa social y de relación, y la contracción muscular va en dirección a los puntos de apoyo de manera centrífuga (23).

Además, se observan reacciones de equilibrio diferenciadas, dado que aproximadamente un tercio del peso corporal se mantiene elevado fuera de la base de apoyo; dado que la columna vertebral está extendida con movilidad en todos los arcos de movimiento, puede equilibrar y regular las alteraciones del equilibrio que puedan producirse, para ello dispone de la libre rotación de todos los segmentos de la columna hasta la zona dorsal media (26). Aunque los codos están colocados simétricamente, el apoyo en uno y otro nunca es el mismo debido a que el bebé puede orientarse hacia los estímulos visuales que se coloquen lateralmente o más hacia arriba. Hasta el tercer mes de vida, el seguimiento de la cabeza acompaña al seguimiento visual, no obstante, transcurrido el 1^{er}

trimestre, los ojos se independizan del movimiento en masa y son capaces de seguir objetos atractivos colocados hacia los lados sin movimientos asociados de la cabeza (Figura 13). El adelantamiento sucesivo de los brazos y la disminución de la anteversión pélvica son aspectos parciales de un normal desarrollo mental y psíquico del lactante. El apoyo simétrico en codos, desarrollado a lo largo del 4º mes de vida, ya tiene configurado los elementos del siguiente hito del desarrollo, el apoyo asimétrico en codos (23).



Figura 13. Apoyo asimétrico en codos. El bebé manipula con una mano un juguete mientras que traslada su peso al codo contrario (26).

En la transición al 2º trimestre la diferenciación de la función muscular ha progresado de forma importante (26). La musculatura autóctona, cuando el tronco se endereza diagonalmente, mantiene extendida axialmente a la columna vertebral. La musculatura de la cintura escapular cambia el efecto de su contracción en sentido distal. Los músculos ventrales se diferencian como antigravitadores, pasando por la articulación del hombro; los músculos dorsales que unen la cintura escapular con el brazo actúan como enderezadores. En el decúbito ventral los músculos de la nuca, al sostener el peso de la cabeza por delante de la base de apoyo, desarrollan de forma diferenciada su máxima fuerza. A nivel respiratorio, Vojta et al. (26) descubrieron que se produce el despliegue completo del tórax y aumenta como consecuencia de ello la respiración costal gracias a los músculos serratos anteriores y posteriores que despliegan las costillas junto con el diafragma y la musculatura intercostal. La musculatura abdominal, dirigiendo sus vectores de fuerza en sentido craneal, provoca el apoyo de la sínfisis del pubis, con ello mantiene a la pelvis en su eje longitudinal en un sinergismo antagónico con los músculos lumbares.

4.1.3. El tercer estadio: diferenciación de la motricidad gruesa, 3er, 4o, 7o, 8o mes

Esta fase de diferenciación de la motricidad gruesa tiene una duración de 4 meses, desde el inicio del 4º mes hasta el final de 7º mes. En la toma de contacto con el medio, desde el 4º mes aparecen también la sonrisa social de júbilo y la vocalización modulada. A partir del 5º mes, el bebé comienza a identificar a las personas y a dar respuestas activas al medio (23,36).

En la primera mitad del tercer estadio de desarrollo, la vida afectiva sigue dominando en las conductas sociales y emocionales del niño (26). Aproximadamente entorno al 6º mes de vida el niño empieza a ganar control sobre sus emociones y por tanto sobre sus acciones, en un entorno de confianza empieza a demandar y exigir atención, quiere participar y se convierte en un verdadero miembro de la familia, esto supone un salto de gran relevancia sobre su desarrollo. Se produce un crecimiento del vínculo emocional y como consecuencia crece la independencia del niño. Desde el nacimiento el niño distingue entre personas conocidas y desconocidas, pero no puede ser selectivo respecto a ellas. A partir del 6º mes ya decide si quiere tomar contacto o no, establece entonces un vínculo de apego con las personas de referencia. Hasta el final del 6º mes, la emoción domina la conducta; a partir del 6º mes, el extrañamiento expresa el avance en la capacidad de tomar decisiones. La unidad-madre-hijo se va haciendo cada vez más profunda hasta que entorno a los 8 meses de vida el niño va diferenciándose de la madre. El medio de cualquier expresión emocional es la motricidad, a partir del 2º trimestre, el niño sabe utilizar conscientemente su mímica y lo hace de forma más segura e individualizada. Siguiendo los programas innatos del desarrollo, los hitos del desarrollo, el niño actúa cada vez de manera más individual. Los programas que hacen que el niño madure en su diferenciación constituyen el requisito esencial para que pueda producirse el desarrollo individual: la ideomotricidad. Teniendo en cuenta la base de un desarrollo ideal de los patrones básicos, la ideomotricidad es la que guía de forma más económica la conducta de la orientación, mientras que los ojos siguen dirigiendo el comportamiento motor propositivo.

Respecto a los patrones comunicativos (26), en la 6ª semana de vida comienza la primera interacción verbal con la emisión de sonidos. Se diferencia la vocalización en el 4º mes, aparecen las pedorretas emitiendo el aire a presión cerrando los labios; y en el 8º mes las cadenas silábicas (“ma-ma”, “pa-pa”, “da-da”). Al alcanzar el 6º mes, la manipulación sin control visual y la conclusión de la fase oral representan hitos significativos en el desarrollo de la interacción entre las manos, los pies y el cerebro.

La garra plantar se observa a los 4 meses porque es dirigida con inversión de los pies, y las caderas se encuentran en abducción y rotación externa. Del final del 4º mes hacia el final del 6º aparece la garra plantar asociada a la prensión dirigida a la mano (23,36).

La organización del espacio comienza con el volteo, desde los 4 meses se manifiesta la preparación para el volteo de decúbito dorsal a decúbito central (23). Después del 7º mes se incluye el espacio de arriba al visualizar nuevos espacios en el enderezamiento lateral. A partir del 8º mes, se amplían las posibilidades de seguir descubriendo su entorno, pues el bebé ya es capaz de detener el volteo en la posición de decúbito lateral, ello indica el comienzo de la verticalización (26).

En este estadio, los reflejos primitivos experimentan cambios (26,77), a partir del 4º mes disminuye rápidamente el reflejo de prensión palmar, que desaparecerá por completo en torno a los 6 meses. El reflejo de prensión plantar sigue estando presente con intensidad casi neonatal. Los

reflejos prensores tienen gran importancia para la valoración del desarrollo normal y anormal. El reflejo de presión palmar no debe confundirse con la presión espontánea. El estímulo desencadenante debe aplicarse en la palma de la mano, tomándola desde el lado cubital y sin contacto con el dorso de la mano. Para ello se debería distraer la atención del lactante. Por otro lado, el reflejo de presión plantar se estimula haciendo una suave presión sobre las cabezas de los metatarsianos, tampoco debe palparse el dorso del pie. El reflejo de Moro desaparecerá o se integrará cuando el lactante configure los apoyos necesarios para constituir una base postural estable y madura en decúbito dorsal. El movimiento ocular maduro, lo que permite la captura foveal y dirigir la visión en todos los planos y ejes, a los 4 meses aparece el reflejo óptico-facial (ROF), cuando el lactante comienza la presión voluntaria de los objetos (23,36). Se caracteriza por el parpadeo simultáneo de los ojos provocado tras el contacto visual del niño con el explorador, estando la cabeza del niño en la línea media, el contacto se interrumpe momentáneamente al aparecer la mano del explorador por delante de la cara del niño de manera repentina, desde un lado hasta la línea media. La mano no puede acercarse a la mano del niño más de 30 cm, para evitar que sea la corriente de aire causada por la mano del explorador la que desencadene el parpadeo (reflejo corneal). Este reflejo es un signo fiable de que existe capacidad visual y potencia mental.

Es importante también destacar en este estadio el desarrollo de la zona oral (26,77), el bebé puede intervenir de manera voluntaria en el reflejo de succión después del 3º mes. Posteriormente, a los 6 meses, el reflejo de succión y el reflejo de *rooting* ya han desaparecido. A partir de los 4 meses se inicia la función de morder (23,36). Al morder se combinan los movimientos de masticación y el niño puede empezar la alimentación complementaria. Todo lo que el niño agarra en el 4º mes se lo lleva automáticamente a la boca para examinarlo y probarlo (23), los objetos que no le gustan los escupe, mientras que los objetos que le agradan los ensaliva y los mete lateralmente en la mandíbula. Entre los 5 y los 6 meses se produce una insalivación masiva asociada a movimientos de garra palmar y plantar (23,36). A finales del 6º mes ya se han desarrollado los movimientos laterales de la mandíbula y la masticación.

El reconocimiento y la observación comprensiva, la presión propositiva y la exploración con la boca sustituyen a la fase oral, así la apertura refleja de la boca solo queda como reliquia de esa época. Especialmente durante el 4º al 5º mes, la ambición del niño por orientarse culmina con la producción de una salivación masiva. Cuanto más esfuerzo realiza el lactante para agarrar algo difícil de alcanzar, más saliva produce (23). El niño recibe gran cantidad de vivencias gracias a poder seleccionar los objetos recibidos a través de distintos receptores (ópticos, acústicos, olfativos, gustativos, táctiles). El niño será capaz de jugar con objetos cuando después del 6º mes se libere de la necesidad de tener que explorar todo con la boca (26).

4.1.3.1. Etapa 3^{er}, 4^o, 5^o y 6^o mes de vida: patrones posturales en decúbito dorsal

El desarrollo del niño cambia drásticamente, es capaz de distinguir y valorar de forma cada vez más diferenciada la situación actual, de manera que los enfados, los miedos, la intranquilidad en el entorno que explora, el extrañamiento y también la dentición, entre otros, pueden dificultar la evaluación del desarrollo comportamental. El “deseo de agarrar” como motivo más importante del cambio postural se manifiesta en la primera “*presión con los ojos*” acompañada de la presión con las manos, los pies y la boca, se realiza dentro del patrón del esgrimista en la 6^a a 8^a semana. Los intentos de presión con el cuerpo se desarrollan entre las semanas 8^a a 13^a, dentro de la fase distónica. La verdadera presión con la mano comienza en el 4^o mes. El impulso de poseer los objetos percibidos induce a la conquista de otras zonas, con lo que se configuran nuevos elementos posturales para su movilidad. Los ojos siguen siendo la guía de todo movimiento propositivo. El fin de alcanzar los objetos atractivos es contenido de la motivación, no del movimiento por sí mismo. Este está disponible de forma automática y posibilita al niño ir entendiendo el mundo gradualmente (26).

El desarrollo cualitativo adecuado a la edad de 3 meses es un buen predictor del logro de alcanzar de forma independiente la posición sentada a la edad de 8 meses (88). A final del 3^{er} mes el niño busca contacto con su cuerpo, a lo largo del 4^o mes descubre la mano como órgano de presión y este fenómeno solo puede realizarse teniendo en cuenta la fase de *split-brain* propia de la primera mitad del 2^o trimestre. Es en esta etapa cuando las manos comienzan a desarrollarse como órganos de presión, el patrón básico para la función prensora es el patrón postural maduro de la coordinación mano-mano, de principios del 4^o mes. Es muy importante el rol de las escápulas para establecer una base de apoyo que pueda permitir una presión propositiva. Ambas escápulas solo pueden apoyarse en el plano a la vez de forma transitoria, formando una base de apoyo romboidal, limitada por el occipital y la 12^a vértebra dorsal. Progresivamente, el niño se orienta hacia zonas más amplias, lo que provoca una mayor carga en la escápula del lado al que mira, que se denomina lado facial. En el transcurso del 2^o trimestre, cuando el niño realiza la presión pasando la línea media de su cuerpo, la carga se desplaza hacia la escápula del lado que anteriormente había sido nual. De esta forma, el punto de apoyo se hace cada vez más unilateral, desplazándose lateralmente a lo largo de la espina de la escápula, gira sobre el plano y configura la base de apoyo. Si esta función de la escápula termina guiando el movimiento de volteo, la articulación del hombro y la parte superior del brazo se convierten en un nuevo punto de apoyo en decúbito lateral hasta que haya madurado, alrededor del 8^o mes el apoyo de la mano en un lateral, formando la sedestación oblicua (26).

Vojta (26) describió la fase de *split-brain*, señalando que en el 4^o mes el bebé todavía no es capaz de alcanzar un objeto que se le ofrezca en el centro del campo visual a unos 30 cm por delante de su cara, aunque el interés y la motivación se ven reflejados en la mímica, excitación y movimientos irradiados en los pies. No obstante, si el objeto se le desplaza lateralmente y se coloca a su alcance, y

el niño sigue el objeto con la mirada, este libera el brazo de ese lado, denominado brazo facial, del movimiento en masa para realizar la prensión lateral, como se muestra en la Figura 14. Se puede comprobar si el bebé desplaza el brazo hacia su línea media si antes de que realice el alcance del objeto con la mano, el evaluador desplaza el objeto a la línea media del cuerpo del bebé. Si por el contrario se lleva el objeto ofrecido en un lateral hasta la línea media sin permitir que el bebé lo alcance, el niño pierde el interés de perseguirlo con esa mano.



Figura 14. Fase de *split-brain*. El bebé es capaz de seguir hasta la línea media un objeto ofrecido lateralmente y cogerlo, a partir de la mitad del 5º mes de vida (26).

En el desarrollo motor ideal cuando los estímulos ópticos se manifiestan solo desde un lado a uno de los hemisferios cerebrales (campo visual homolateral), la mano de ese lado se convierte el órgano prensor para dirigir la mano dentro de un patrón global concreto. Cuando ambos hemisferios son estimulados al mismo tiempo, ambos órganos prensores están disponibles, aunque la conexión aún inmadura de ambos hemisferios crea una situación de empate que aumenta el entusiasmo llamado la fase de *split-brain* fisiológica (situación de empate funcional entre los dos hemisferios cerebrales). Si al bebé se le ofrece un objeto que capte la atención del bebé desde un lado a una distancia alcanzable con su mano y desplazamos el objeto sobrepasando la línea media, el brazo extendido hacia él abandona el seguimiento (Figura 15). Cuando el objeto aparece dentro del campo visual de la otra mano, esta se activa directamente como órgano prensor. El movimiento de seguimiento con la mano constituye el segundo movimiento propositivo aislado de manera que el brazo se independiza del movimiento global de forma selectiva. El primero lo realizan los ojos con movimiento lateral de 30º entorno al final del 1º trimestre. Al final del 5º mes la mano es capaz de alcanzar los objetos deseados, aunque se localicen en el campo limitado para la otra mano (Figura 16) (26).

En esta etapa, el bebé en decúbito dorsal mantiene un patrón motor del movimiento de prensión de las extremidades superiores es asimétrico, pero el movimiento asociado de las piernas se mantiene simétrico con aducción del antepié y contacto entre los dedos gordos de ambos pies, este patrón motor es característico de la mitad del 5º mes (26).



Figura 15. Decúbito dorsal a la edad de 5 meses. El objeto deseado es llevado desde un lateral hacia su línea media. El bebé muestra una edad de desarrollo de 5 meses (26).



Figura 16. Superación de la fase de *split-brain*. En la fotografía se muestra como el bebé sobrepasa la línea media de su cuerpo con su brazo derecho para coger el juguete deseado. Este patrón postural muestra la superación de la *fase de split-brain*, correspondiente a finales del 5º mes (26).

Otros signos que demuestran la superación de la fase de *split-brain* sería el uso recíproco de ambas manos (26), además de detectar objetos con la otra mano, sería el acto de sobrepasar con ambas manos la línea media y manipular objetos. Al ofrecer un objeto deseado en el centro del campo visual, ahora el niño lo coge o bien con ambas manos o elige una de ellas sin que haya predominio de una mano. La manipulación del objeto se realiza en el centro del campo visual, las dos manos están implicadas por igual en la prensión y se encuentran bajo supervisión de ambos hemisferios cerebrales. Además, todo lo que coge lo saborea con la boca. Todo ello hace que el bebé reciba múltiples aferencias en ambos hemisferios cerebrales.

Rochat et al. (89) estudió varios estudios sobre la manipulación y exploración de objetos en el desarrollo, descubrió que entre los 2 y los 5 meses de edad, la manipulación de objetos se vuelve más sofisticada y de naturaleza cada vez más multimodal. Los bebés progresan de simplemente sostener objetos en una mano a mirarlos y explorarlos con la boca y los dedos, usando ambas manos para manipular y transferir objetos. Se ha estudiado el desarrollo temprano de la conducta exploratoria, documentando cambios en la exploración libre de bebés de 2 a 5 meses. Comparando a niños de 3 y 4 a 5 meses, se examina cómo manipulan y exploran objetos con y sin control visual, y cómo la

exploración multimodal varía con diferentes objetos. Los resultados indican cambios significativos en la exploración multimodal entre los 2 y 5 meses, con la coordinación bimanual primero vinculada al sistema oral y luego reorganizándose en referencia a la visión a los 4 meses. También se ha demostrado que la manipulación a los 3 meses depende del objeto. En resumen, durante los primeros meses de vida, los bebés muestran un rápido desarrollo en su capacidad de explorar objetos de manera más compleja y coordinada, integrando diferentes sentidos y habilidades motoras en el proceso.

En relación a la manipulación Bertenthal et al. (90) describieron que el dominio de los alcances y la manipulación depende de un control postural adecuado. El tronco debe estar equilibrado con respecto a una base de apoyo para permitir el libre movimiento de brazos y manos. Además, la cabeza debe estar sostenida de manera flexible por el tronco para que la mirada pueda dirigirse hacia el objetivo y proporcionar un marco de referencia espacial para alcanzar. Para una manipulación fina también es fundamental evitar deslizamientos de retina que provocarían borrosidad. La estabilización de la mirada generalmente se logra mediante ajustes de la posición de los ojos y la cabeza. Hasta que se estabilice la mirada es difícil establecer un marco de referencia entre el objetivo y el yo. Por tanto, una jerarquía anidada de apoyo que involucra los ojos, la cabeza y el tronco forma una base importante para la actividad manual.

Tras superar la fase de *split-brain*, se observa un aumento considerable en el movimiento segmentario de los brazos dentro del patrón de coordinación mano-mano en cuanto a postura y movilidad de los brazos. A lo largo del 4º mes, pueden ser mantenidos 90º de flexión en el plano sagital, se incrementa el movimiento segmentario de las articulaciones de codo y muñeca. Por ejemplo, a los 5 meses, el bebé puede supinar el antebrazo con el codo en flexión. El reflejo de prensión palmar disminuye a partir del 4º mes y al final del 2º trimestre disminuye completamente con el despliegue completo de la mano. La primera apertura y cierre de la mano de manera intencionada ocurre en la 1ª mitad del 2º trimestre, iniciándose por el 5º dedo, de manera que los dos o tres dedos del lado cubital son los que mantienen el objeto en la palma de la mano y la muñeca se coloca en flexión palmar y desviación cubital. Aunque en el 5º mes los objetos se cogen cada vez más distalmente con los dedos, al hacer la prensión, la muñeca se puede mantener en flexión dorsal y en abducción (26).

La función prensora de las manos evoluciona hacia la motricidad final paralelamente al volteo ya maduro del 6º mes. Al final del 6º mes el despliegue de la mano ha madurado por completo, al agarrar un objeto la palma de la mano se mantiene ensanchada con los metacarpianos separados y los dedos de las manos se pueden flexionar y aducir de forma selectiva. Para la prensión con los dedos es necesario que el pulgar se desvíe con fuerza hacia la palma de la mano. La oposición permite un contacto mayor de la superficie palmar de los dedos con la del pulgar (26).

El desarrollo del esquema corporal se ve impulsado por la interacción de las manos con el propio cuerpo. A los 5 meses, se observa una maduración en la coordinación mano-genitales y mano-

muslo y el bebé es capaz de cambiar objetos entre las manos. A partir de los 6 a 7 meses se establece la coordinación ojo-mano-pie (23,36).

Tras superar la fase de *split-brain*, los patrones posturales y motores de los pies forman parte de un patrón sensoriomotor global. El desarrollo que sigue el pie desde la postura primitiva en eversión hasta la supinación y prensión de los dedos tiene paralelismo con el desarrollo de la mano hasta la prensión radial con la muñeca en flexión dorsal. En el 6º mes la prensión del pie ha madurado por completo. Las plantas de los pies se enfrentan una a la otra mostrando patrones diferenciados de prensión. Esta prensión entrelazada de ambos pies acompaña a los movimientos prensores de las manos tras la maduración de la coordinación mano-mano. El despliegue del pie se produce simultáneamente a la prensión del pie, aunque no madura hasta que los pies cargan todo el peso del cuerpo durante la marcha libre. Entre el 6º y 7º mes, el aumento de la extensión de las piernas más allá de los 90º y su enderezamiento contribuyen al desarrollo de la coordinación entre manos, pies y boca. Esto es posible gracias a que el decúbito dorsal ha alcanzado su máxima diferenciación, facilitando un movimiento de vaivén sobre la zona craneal de la superficie de apoyo romboidal, con la pelvis elevada en contra de la gravedad y manteniendo el equilibrio, moviéndose en los planos frontal y transversal. Estos avances reflejan una función postural de apoyo dinámico y un óptimo soporte en el occipital (26).

El volteo se desarrolla a partir del patrón global de la coordinación mano-mano que ha madurado al final del 5º mes (23). El espacio donde el bebé puede realizar la prensión y la curiosidad aumentan de forma muy rápida y recíproca debido al impulso innato de orientarse en el entorno. La ambición de poseer objetos detectados en un lateral hace que también se quiera alcanzar el objeto que se encuentra en un lado, fuera del alcance del brazo. La superación de la fase de *split-brain* es requisito previo para el desarrollo del volteo, para que el brazo pase la línea media del cuerpo y pueda activarse un hemisferio a través del campo visual del otro lado. El bebé es capaz de perseguir los objetos deseados y percibidos en un lateral aumentando el alcance con sus manos hasta el otro hombro cuando el brazo pasa la línea media. Es el hemisferio contralateral con la extremidad superior del mismo lado el que pone en marcha la prensión sobrepasando la línea media e inicia el volteo dentro de un determinado patrón global. El volteo se configura cuando uno de los brazos sobrepasa la línea media para alcanzar un objeto colocado en el otro lado, ya que éste no puede ser alcanzado con el brazo de ese mismo lado.

En el 4º mes la prensión lateral con una mano provoca mayor descarga de peso sobre la escápula de ese lado y el desplazamiento de la hemipelvis del lado del brazo prensor en sentido craneal. Después del 5º mes cambia la postura del tronco cuando el niño sobrepasa la línea media de su cuerpo para alcanzar el objeto. Cuando la mano sobrepasa la línea media con una prensión madurando en sentido radial, la hemipelvis del lado del brazo prensor se desplaza en sentido craneal en el plano frontal, por eso la diferenciación de la postura de la pelvis indica el comienzo del desarrollo

del volteo. Tras haber alcanzado el objeto, el niño vuelve al decúbito dorsal para observar y manipular el objeto (26).

La carga sobre la cintura escapular se reduce en el lado del brazo que realiza la prensión y sobrepasa la línea media mientras se incrementa el apoyo en el lado opuesto. Luego, el punto de apoyo se establece en el hombro y el brazo. Esta posición lateral y craneal es seguida por la pelvis, que se coloca en una posición oblicua, seguida de las piernas. Más tarde, el tórax gira con un movimiento de rotación en dirección al brazo que realiza la prensión. Durante este giro, la cabeza permanece apoyada, enderezándose en el plano frontal y resistiendo la fuerza de la gravedad a medida que el tórax comienza a girar (23). La cabeza se mantiene en línea con el eje durante el movimiento de rotación, enderezándose lateralmente en contra de la gravedad. Cuando el tronco se endereza en posición de decúbito lateral, el apoyo se desplaza hacia la hemipelvis que está posicionada hacia abajo, en la región del trocánter mayor. Durante el proceso de enderezamiento en decúbito lateral y el volteo en una posición asimétrica en el plano frontal-transversal, la columna vertebral se extiende axialmente (26).

A pesar de que cada una de las escápulas tiene funciones distintas en cuanto a movimiento fásico y apoyo, la pelvis del lado del brazo que realiza la prensión se desvía en dirección craneal en el plano frontal, mientras que al principio las piernas se mantienen en una posición simétrica cuando el brazo cruza la línea media. En los planos frontal y transversal, ambas caderas se mantienen en una posición media en contra de la gravedad. El brazo inferior permanece flexionado a 90° con una ligera rotación externa durante el deslizamiento en flexión de la articulación del hombro sobre la cabeza humeral. El codo realiza una semiflexión con pronación, y la mano permanece extendida. Durante el giro del tronco en contra de la gravedad, el brazo que realiza la prensión en la parte superior se mantiene en posición media y en extensión transversal o abducción. El codo está ligeramente flexionado y tiende hacia la pronación, mientras que la mano permanece abierta. Al principio, el decúbito lateral representa una etapa intermedia y breve durante el proceso de volteo. Para el final del 6° mes, todo el movimiento de volteo hasta llegar al decúbito ventral se ejecuta de manera controlada. Al inicio el brazo prensor no estabiliza el apoyo del decúbito ventral, por lo que el bebé termina el volteo sobre el abdomen. Una vez en decúbito ventral, empleando el apoyo asimétrico en codos el bebé es capaz de manipular el objeto. En decúbito ventral si el niño necesita un ángulo de visión más alto utilizará en apoyo simétrico de las manos (26).

El volteo se realiza de manera repentina, se ponen en marcha los patrones parciales motores y posturales que configuran el cambio postural de decúbito dorsal a decúbito ventral, controlados por ambos hemisferios cerebrales. El tiempo que tarda en desarrollarse por completo el volteo varía de un individuo a otro y en cuanto está disponible el decúbito dorsal se utiliza solo como postura transitoria. La calidad postural y motora de este hito tan relevante para el desplazamiento espontáneo del bebé atestigua las condiciones ideales para la motricidad gruesa posterior (26).

Respecto a la diferenciación de la función muscular (26), para el 6º mes, los músculos interóseos y lumbricales coordinan con éxito el movimiento del músculo extensor largo de los dedos, logrando así la plena extensión de la mano junto con la flexión de la muñeca. La musculatura abdominal y la del cuello, dirigiendo el efecto de su contracción en sentido craneal logran una óptima diferenciación de su fuerza. La creciente diferenciación de la musculatura abdominal puede comprobarse en el 5º mes, cuando aparece la oblicuidad pélvica craneal en el lado de la prensión y aumenta la extensión de las rodillas, también se inician la supinación del pie y la desviación radial en la mano. Para el volteo la primera cadena oblicua abdominal junto con los músculos serrato anterior giran la pelvis, dirigiendo su contracción en sentido craneal. Lo realiza en sinergismo antagónico con la musculatura dorsal. Cuando se activa el punto de apoyo sobre la articulación de la cadera, debido a la actividad, por ejemplo, de los músculos cuadrado lumbar y dorsal ancho del lado de abajo, se diferencia la segunda cadena oblicua abdominal que gira el tórax, al cambiar el efecto de su contracción hacia caudal. Los músculos serrato anteriores conectan las cadenas musculares en la cara dorsal con la columna vertebral. La fuerza rotacional de las cadenas oblicuas abdominales se equilibra gracias a su coordinación con el músculo serrato posterior inferior. En este contexto altamente dinámico, los vectores resultantes de ambos, apuntando en direcciones opuestas, potencian la función de extensión axial de la musculatura autóctona. Al cambiar la dirección de la contracción hacia el punto de apoyo en el hombro y el brazo, el músculo serrato anterior y el grupo muscular pectoral en el lado inferior actúan en sinergia con la segunda cadena oblicua abdominal, lo que resulta en la rotación del tórax. Los aductores en el lado inferior son sinergistas de la primera cadena oblicua abdominal, la cual dirige la rotación de la pelvis. Cuando se gira hacia el decúbito lateral, los músculos dorsales ancho y serrato anterior, junto con los abductores/rotadores externos de las articulaciones del hombro y la cadera en el lado inferior, asumen el papel de antigravitadores.

4.1.3.2. Etapa 3^{er}, 4^o, 5^o y 6^o mes de vida: patrones posturales en decúbito ventral

Durante el segundo trimestre, la habilidad de sostenerse simétricamente sobre los codos se desarrolla por completo. Las manos, que inicialmente no interactúan entre sí, pronto adquieren la destreza para jugar y agarrar objetos cercanos. Los movimientos para explorar el entorno se vuelven más amplios, lo que implica desplazamientos laterales del tronco superior que requieren una capacidad competente de apoyo y enderezamiento, así como reacciones de equilibrio diferenciadas (26).

Con el objetivo de alcanzar objetos posicionados fuera de la zona de apoyo de ambos codos, se inicia a partir de la primera mitad del 4º mes el apoyo asimétrico en codos y el desplazamiento del centro de gravedad en sentido lateral. Este desplazamiento lateral del centro de gravedad hacia un codo circunscribe la rotación de la columna dorsal hacia el brazo extendido que será el brazo prensor. En este patrón motor el apoyo se traslada hacia un lado, configurando un apoyo asimétrico,

desplazando el apoyo hacia el lado nucal para descargar el brazo facial y facilitar la prensión en la mano facial (23). Al enderezar uno de los brazos y avanzar con la pierna opuesta, la pelvis se inclina ligeramente hacia adelante en el plano frontal. Se desplaza hacia arriba en el lado del brazo prensor, y en la columna lumbar se observa una suave convexidad en el lado nucal. La cintura escapular, cuyo lado facial está desplazado en sentido craneal aumenta el alcance del brazo que alcanza. Las funciones musculares que controlan inter segmentariamente a la columna vertebral provocan que la columna rotadora se mantenga en el eje longitudinal en los plano frontal y sagital, y el tronco se mantiene en posición media en sus ejes transversales. La columna cervical y dorsal se mantiene extendida, la cabeza puede rotar sin reclinación ni inclinación y sin movimientos asociados en el resto de la columna, indica que esta está completamente desplegada, es decir, una columna vertebral extendida axialmente y con movilidad libre en todos sus segmentos (26).

En el apoyo asimétrico en codos, el bebé muestra que aún se encuentra en la fase de *split-brain*, pues es capaz de alcanzar objetos detectados a un lado y seguirlos hasta la línea media. El brazo puede estar en leve rotación interna, el antebrazo en pronación, la muñeca en flexión palmar y desviación cubital. A partir del 5º mes, es posible desplazar el brazo prensor fuera del cuerpo con el hombro en leve rotación externa y supinación con el antebrazo flexionado. La superación de la fase de *split-brain* se manifiesta cuando el brazo prensor supera la línea media del cuerpo, esto sucede al final del 5º mes. El muslo nucal se apoya contactando su cara ventral en la superficie de apoyo con rodillas y pies en movimiento libre. El apoyo sobre el epicóndilo medial del fémur se activa cuando la pierna facial realiza una flexión de 90°. Los puntos de apoyo serán: la epitroclea del codo nucal, la parte proximal del muslo nucal y la parte interna de la rodilla facial (con flexión de 90° con respecto al eje axial), tal como se muestra en la Figura 17 (26).

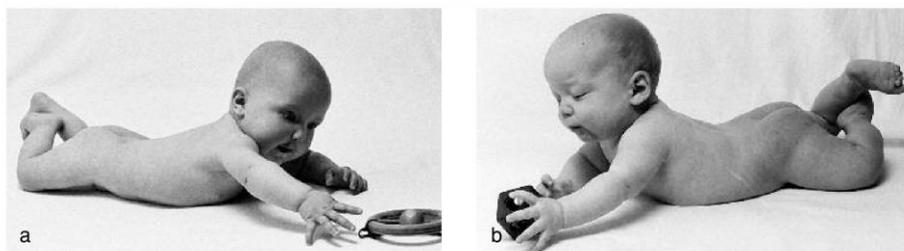


Figura 17. Apoyo asimétrico en codos. El control postural del apoyo asimétrico en codos indica una maduración normal de la ontogénesis postural y es la base de los siguientes hitos motores. (26).

Vojta et al. (26) determinaron que gracias al apoyo asimétrico en codos, se desarrollarán los patrones para la locomoción cuadrúpeda y posteriormente en un patrón de marcha cruzada.

En esta etapa, se configura otro patrón postural importante en la ontogénesis postural y motora que constituye el primer callejón sin salida a nivel motor, denominado el patrón del nadador (6) que se puede observar en la Figura 18. Este patrón surge cuando el niño desea alcanzar un juguete

u objeto y no lo logra, se apoya en la zona umbilical acompañado de un patrón de hiperextensión del tronco y las extremidades, es lo que se, pues el niño aún no ha desarrollado el apoyo competente en las extremidades que se requiere para la locomoción. El apoyo de ambas manos de forma simétrica se adquiere de forma espontánea, es decir, inconscientemente. Este patrón del nadador se caracteriza por la extensión del cuello, el tronco incurvado en lordosis global, los hombros en rotación externa con extensión y leve abducción, codos en flexión mayor de 90°, antebrazos pronados y manos abiertas. Las extremidades inferiores en extensión, abducción y rotación externa de caderas, rodillas en extensión y pies en flexión plantar. El apoyo en el plano comprende el área umbilical, acompañado de hiperextensión del tronco y de las extremidades (26).



Figura 18. Patrón del nadador correspondiente a la edad de desarrollo del 5º mes (26).

A partir de la segunda mitad del 2º trimestre se desarrolla otro callejón sin salida desde el punto de vista motor, denominado el apoyo simétrico de las manos, el niño apoya sus manos con los codos en extensión y eleva hacia la diagonal el órgano axial descargando el peso en los muslos (23,36), tal como se muestra en la Figura 19. Cuando intenta alcanzar un objeto deseado configura de manera inconsciente el apoyo sobre las manos abiertas. El aumento de la excitación y el babeo muestran que el niño no es capaz de alcanzar el objeto deseado. A partir del 6º mes, la fase oral se mitiga.



Figura 19. Apoyo simétrico en manos es el segundo callejón sin salida (26).

Esta postura ofrece al niño la posibilidad de visualizar áreas más amplias y se originan nuevas vías hacia la curiosidad. Los brazos se mantienen en un ángulo de 90° respecto a la columna dorsal, las articulaciones de hombros y caderas se mantienen en ligera rotación externa, las manos forman dos puntos de apoyo con las palmas totalmente desplegadas y los dedos en extensión relajada, el apoyo de la mano recae en el 3^{er} dedo (comienza el desarrollo de la sensibilidad profunda), con las muñecas en leve desviación radial. En esta etapa ha desaparecido por completo el reflejo de prensión palmar. Los miembros inferiores están en ligera rotación externa y abducción y en extensión relajada. El peso del órgano axial se balancea en equilibrio sobre los codos extendidos de forma relajada, de manera que la cabeza se puede orientar libremente, pues la columna cervical y dorsal se mantienen en extensión axial. Los puntos de apoyo son las palmas de las manos y la zona medial de la parte proximal de los muslos. La superficie de apoyo forma una base rectangular sobre el plano. No obstante, en esta posición el niño no puede elevar un mano puesto que no es posible equilibrar los traslados laterales de su peso, ambas manos están bloqueadas en el apoyo (26).

La diferenciación de la función muscular en el apoyo asimétrico en los codos provoca que desde la periferia un aumento de la acción extensora de la musculatura axial autóctona (músculos rotadores), provocado por el enderezamiento que realiza la musculatura dorsal de la cintura escapular del lado nual, más concretamente, los músculos romboides, trapecio y dorsal ancho. También colabora la acción antagónica-sinérgica de los músculos serratos posteroinferiores y la musculatura abdominal. Al activarse los puntos de apoyo caudales, los músculos aductores de la pierna facial y los músculos flexores de la cadera nual, junto a los abdominales actúan como antigravitadores. En el apoyo asimétrico en un codo, el músculo braquial, que sostiene el brazo hacia el antebrazo y los músculos tríceps y bíceps braquiales, que mantienen la cavidad glenoidea sobre la cabeza humeral, se activan de forma muy diferenciada. Los músculos trapecios y escalenos son responsables de estabilizar la cabeza en el plano frontal frente a estas primeras fuerzas asimétricas. Durante el enderezamiento sobre las manos, el músculo tríceps braquial experimenta una nueva adaptación funcional específica. Al apoyarse sobre las manos extendidas, se logra una diferenciación total de la musculatura del metacarpo. Por otro lado, al apoyarse en los muslos, el psoas modifica la dirección de su contracción, actuando como sinergista del diafragma y de la musculatura intercostal, lo que facilita el pleno desarrollo de la respiración costal (26).

5. Cinesiología de la ontogénesis como medida de valoración

Después del período neonatal, el control motor del SNC a nivel subcortical emerge y experimenta su principal proceso de maduración durante el primer año de vida. Esta etapa facilita la estabilización básica del tronco, fundamental para cualquier movimiento coordinado y para la locomoción de las extremidades. A nivel subcortical, los músculos faciales y la información sensorial se integran de

manera automática en los patrones posturales y locomotores. Con el tiempo, el control motor cortical, el nivel más alto, se vuelve más activo. Este control cortical es crucial para las cualidades y características específicas del movimiento, así como para la capacidad de realizar movimientos segmentarios aislados y relajados (91).

El nivel de coordinación del control postural automático es siempre el nivel de funcionamiento más alto del SNC, que se encuentra por encima del nivel de coordinación de los reflejos tónicos cervicales, laberínticos y posturales (77).

La integración sensoriomotora permite el desarrollo de un patrón locomotor global que se realiza en distintos niveles del SNC tal como se muestra en la Tabla 2 (23).

Tabla 2. Niveles de integración sensoriomotora

Niveles de integración sensoriomotora	
Localización	Patón locomotor
Médula	Patrones motores
Tronco encefálico/cerebelo	Regulación de postura y equilibrio
Corteza motora	Elaboración de programas motores

Los patrones de locomoción humana están integrados por tres componentes principales (26,77):

- El control automático y equilibrado de la postura.
- El enderezamiento del cuerpo contra la gravedad.
- La movilidad fásica (movimiento coordinado entre las extremidades y el órgano axial).

El diagnóstico de desarrollo de los bebés se realiza principalmente mediante el uso de métodos de diagnóstico clínico subjetivos, siendo uno de los más comunes el método de Vojta (54). Considerando las características del desarrollo postural y motor del primer año de vida, las características de locomoción, la reactividad postural y los reflejos primitivos que forman parte de la motricidad del primer año de vida, Vojta propuso una metodología sistemática diagnóstica para evaluar el desarrollo motor y la detección temprana de posibles alteraciones que se basa en el estudio de (26):

- La cinesiología del desarrollo: observación y valoración de la actividad espontánea, que se refiere a la ontogénesis postural.

- El diagnóstico neurocinesiológico del desarrollo a través de las reacciones posturales. Las reacciones posturales (reactividad postural según Vojta) permiten la evaluación cualitativa y cuantitativa de la madurez del sistema nervioso central de un bebé mediante el análisis del control autónomo del cuerpo cuando se coloca en una variedad de posiciones, y se utiliza para diagnosticar a un bebé en el primer año de vida.
- El estudio y la valoración de los reflejos primitivos.

La valoración cinesiológica de la postura se puede fundamentar en el estudio de la ontogénesis postural, que incluye los patrones motores y posturales innatos que emergen durante el primer año de vida del bebé (26). El estudio de la ontogénesis comprende los patrones que se desarrollan desde el decúbito ventral y los que se describen desde el decúbito dorsal. Una vez descrito el desarrollo de las distintas funciones de la ontogénesis postural del primer año de vida, es posible realizar el análisis cinesiológico desde el decúbito ventral y el decúbito dorsal. El análisis de ambos decúbitos por separado se lleva a cabo hasta el 6º mes, que es cuando el niño desarrolla el volteo. A partir de esta etapa, la investigación sobre la ontogénesis postural se aborda de manera integral, considerando ambos decúbitos simultáneamente. El análisis cinesiológico de la ontogénesis postural desde el decúbito ventral permite valorar y detectar los déficits o alteraciones en los patrones motores implicados en las funciones de enderezamiento y apoyo contra la gravedad, mientras que desde el decúbito dorsal se estudia para evaluar los patrones motores relacionados con la función de prensión (77).

Los reflejos primitivos y las reacciones posturales son herramientas fundamentales en la evaluación del sistema nervioso central en bebés y niños pequeños, ampliamente utilizadas por neurólogos y rehabilitadores especializados en pediatría. Se considera esencial el examen conjunto de estos reflejos como una prueba de detección simple pero predictiva para identificar tempranamente bebés en riesgo de PC. Este examen es rápido y fácil de realizar, siendo útil tanto en entornos no hospitalarios como en países subdesarrollados con recursos limitados. Además, en países desarrollados, donde algunos trastornos del desarrollo no se detectan mediante programas de detección metabólica, el examen combinado sigue siendo relevante, ya que muchos de estos trastornos, como la PC, pueden aparecer en grupos sin riesgo (92).

El método de evaluación propuesto por Vojta evidencia la alta correlación entre estos procedimientos. El estadio de desarrollo postural evaluado en la motricidad espontánea permite predecir las fases correspondientes a las reacciones posturales y al desarrollo de los reflejos primitivos. Esta predicción puede verificarse provocando las reacciones posturales y los reflejos primitivos (23). De esta manera, los hitos de la ontogénesis postural alcanzados pueden corroborarse provocando las reacciones posturales y los reflejos primitivos que corresponden (26).

Los resultados derivados de la síntesis de los tres aspectos (ontogénesis postural, reacciones posturales y reflejos primitivos) facilitan la detección temprana de las alteraciones motoras e instauran las bases de la implementación del abordaje precoz, que favorece el desarrollo motor y mejora el pronóstico y la prevención de las secuelas de las alteraciones motoras (77).

Si está bloqueado el acceso al inicio de la ontogénesis postural, el comportamiento motor orientado por la motivación se expresa recurriendo a otros circuitos de control del SNC, estos patrones motores se denominan “patrones sustitutorios” y son similares a los patrones de los reflejos primitivos. Solo conociendo la dinámica del desarrollo postural y motor, los reflejos primitivos y las reacciones posturales es posible diferenciar los patrones sustitutorios pasajeros de los patrones considerados normales en el desarrollo motor y postural (26).

Conociendo bien la motricidad ideal se tiene un denominador común para valorar la calidad y cantidad de la motricidad normal y anormal. La comparación del patrón postural alcanzado con la edad del niño y con las funciones que corresponden a esa edad pone de manifiesto si podemos contar con un desarrollo motor normal o patológico.

5.1. El Principio Vojta

El Principio Vojta es utilizado por neurólogos, rehabilitadores y fisioterapeutas para diagnosticar y abordar terapéuticamente las asimetrías posturales, funcionales detectadas, acciones reflejas asimétricas, así como para diagnosticar trastornos del tono muscular o para ayudar a identificar las causas de un retraso en el desarrollo psicomotor. La eficacia diagnóstica de este método ha sido altamente valorada como herramienta de diagnóstico primaria en una evaluación general del bebé. También es efectivo para pronosticar su desarrollo psicomotor y para supervisar los resultados de cualquier tratamiento aplicado (54).

El profesor Václav Vojta, nacido en 1917 en Bohemia, República Checa, fue un destacado neuropediatra cuya vida profesional abarcó desde sus estudios universitarios en Praga hasta su jubilación en Múnich en 1995. Durante su carrera, se especializó en neuropediatría y rehabilitación, trabajando en clínicas y centros de rehabilitación en Alemania. A lo largo de su trayectoria, contribuyó significativamente al desarrollo de técnicas de valoración pediátrica y rehabilitación neurológica. A principios de los años 50, este distinguido neuropediatra checo, mientras exploraba opciones de tratamiento para la PC infantil, fundamentalmente PC espástica, identificó empíricamente las bases de la locomoción refleja. Observó que ciertos estímulos y posturas generaban respuestas motoras globales, revelando una actividad muscular dinámica común en la mayoría de las formas de movimiento humano. Desde su descubrimiento, la aplicación de la locomoción refleja ha evolucionado y se ha expandido significativamente, convirtiéndose en una herramienta terapéutica muy valiosa.

Václav Vojta es reconocido por el descubrimiento del Principio Vojta y por el diagnóstico y la terapia Vojta (TV) (81).

Los complejos motores globales de la locomoción refleja (volteo y reptación reflejos) constan de todos los patrones de movimiento parciales, que son utilizados gradualmente por el bebé sano en el proceso de ontogénesis postural y motora. Proporcionar al SNC una estimulación externa adecuada gracias a la terapia Vojta permite, trabajando a favor de la plasticidad neuronal, recrear un acceso al programa de desarrollo postural del ser humano y sustituir gradualmente patrones motores patológicos por otros más regulares. La terapia Vojta aplicada varias veces al día activa la musculatura encargada del enderezamiento y apoyo contra la gravedad, mejora el control postural automático y sincroniza el movimiento de los miembros superiores e inferiores. La activación refleja que afecta especialmente a los músculos autóctonos de la columna vertebral equilibra la cooperación sinérgica de los grupos musculares erectores. De esta manera se corrige la postura corporal y el movimiento periférico (20) y la persistencia de los reflejos primitivos más allá de su período normal de desarrollo va desapareciendo gradualmente (93).

5.1.1. Diagnóstico neurocinesiológico precoz en lactantes según el Principio Vojta

El concepto conocido como diagnóstico y TV fue desarrollado por Vaclav Vojta para niños con alteraciones del desarrollo motor originadas en el SNC. Este concepto se basó en observaciones anteriores de niños pequeños. El estudio del comportamiento motor permitió a Vojta realizar una evaluación y comparación profunda del funcionamiento motor en pacientes con PC y en recién nacidos y lactantes sanos, lo que le llevó al descubrimiento de la similitud entre los patrones motores y los reflejos primitivos en niños con cerebros inmaduros y en aquellos con daño cerebral (94).

Las observaciones y evaluaciones realizadas por el profesor Vojta sobre los patrones motores del lactante, incluyendo la motricidad espontánea y las reacciones posturales, junto con la evaluación de la dinámica del desarrollo de los reflejos primarios, ofrecen un método único para el diagnóstico precoz de alteraciones en la postura y el movimiento durante el periodo de lactancia. Hoy en día, se emplea el diagnóstico precoz según Vojta para detectar tempranamente alteraciones en el desarrollo motor. Esta intervención precoz evita la manifestación de procesos motores incorrectos y asegura las mejores posibilidades de recuperación.

En el estudio realizado por Gajewska et al. (95) se enfocan en la evaluación basada en las siete posiciones corporales según Vojta para detectar precozmente anomalías en el desarrollo del sistema nervioso central. Examinaron factores adicionales como la puntuación de Apgar en el primer y quinto minuto de vida, y la asimetría corporal en el 3^{er} mes, correlacionándolos con el diagnóstico posterior de PC establecido generalmente después del primer año de vida. Se analizó un grupo de 57 niños con peso al nacer inferior a 1500 gramos, entre los cuales siete fueron diagnosticados con PC a los 12

meses. Los resultados revelaron que el método de diagnóstico de Vojta es altamente sensible para detectar lesiones del SNC en etapas tempranas de la vida. Se observó una alta correlación entre PC y asimetría corporal, pero no con asimetría de la cabeza. Además, se encontró que una puntuación baja de Apgar en el quinto minuto, pero no en el primero, predice significativamente la progresión a PC en lactantes con muy bajo peso al nacer.

El diagnóstico Vojta basado en la ontogénesis postural, las reacciones posturales y la dinámica de los reflejos primitivos es eficaz en la detección temprana de alteraciones posturales y motoras del lactante (36).

5.2. Dinámica de los reflejos primitivos en el desarrollo normal

Los reflejos primitivos son respuestas del SNC que se activan frente a estímulos simples y predecibles del entorno (7). Surgen durante el periodo neonatal y van desapareciendo a lo largo del primer año de vida. Estos reflejos son indicadores importantes de la integridad de las vías nerviosas. Según las teorías clásicas, los reflejos constituyen la base para el control del movimiento y la postura. La evolución de estos reflejos manifiesta la maduración de las estructuras nerviosas que inhiben e integran los reflejos simples, controlados por niveles inferiores del SNC, hacia respuestas motoras posturales más complejas (23). Los reflejos aportan mucha información en la valoración y el pronóstico, no obstante, su estudio es insuficiente para determinar la situación neuromotora del niño.

Los reflejos primitivos son reflejos subcorticales, fisiológicos en los primeros meses de vida, y su presencia indica un tronco cerebral indemne. Desaparecen progresivamente, por lo que su existencia cuando deberían haber desaparecido es signo de afectación neurológica (6).

5.2.1. Reflejos orofaciales

La exploración de los complejos automatismos orofaciales es muy relevante en el diagnóstico neurocinesiológico. Los principales reflejos orofaciales se describen a continuación (23,26):

- El reflejo de búsqueda:
 - Exploración: se desencadena, al principio, provocando una estimulación táctil en toda el área del trigémino. Después del periodo perinatal solo se puede desencadenar estimulando la zona perioral.
 - Respuesta: el bebé se orienta hacia el estímulo táctil con movimientos holocinéticos. Al inicio se incluye toda la zona facial en el mecanismo de presión, expresándose a través de muecas faciales.
 - El tiempo de permanencia es de 0 a 3 meses. Su gran excitabilidad se atenúa al final de la 4ª semana, limitándose a la zona de la boca.

- *El reflejo de succión:*
 - Exploración: se provoca al introducir el dedo en la boca y realizar una ligera presión en el dorso de la lengua en sentido anteroposterior.
 - Respuesta: el lactante reacciona con movimientos de succión en salvas. Se activan movimientos seriados de succión coordinados con pausas rítmicas de respiración y movimientos de deglución.
 - El tiempo de permanencia es de 0 a 3 meses.

- *Los reflejos de rooting o reflejo de los labios y comisura de la boca:*
 - Exploración: se desencadena mediante estímulos táctiles, exteroceptivos, provocados en la piel o la mucosa de la comisura de la boca y en la zona central de los labios.
 - Reacción: el niño busca el estímulo con un movimiento global de los labios y la lengua (movimiento similar a lamer); el movimiento reflejo primario es el de dirigir la lengua hacia el estímulo, la punta de la lengua adquiere forma de cono y se dirige hacia el estímulo manteniendo la boca entreabierta. Al estimular el labio inferior, la punta de la lengua ensanchada se protruye a través de la mucosa del labio, adquiere forma de cuchara que se apoya en la arcada inferior.
 - El tiempo de permanencia es de 0 a 3 meses.

- *El reflejo de Babkin*
 - Exploración: se desencadena provocando una presión simultáneamente en ambas palmas de las manos con un movimiento suave de dorsiflexión.
 - Reacción: la reacción más evidente es la apertura “tipo carpa” de la boca, balbuceos y contracción de la borla y el cuadrado del mentón. Las extremidades se flexionan y los brazos se retraen.
 - Tiempo de permanencia: se considera un ítem fisiológico hasta la 4ª semana de vida. Si persiste después de la 6ª semana es signo de alteración de la coordinación central.

- *El reflejo acústico-facial (RAF):*
 - Exploración: se desencadena mediante una palmada cercana al oído del lactante, a ambos lados y por detrás del campo visual del bebé.
 - Respuesta: aparece un parpadeo reflejo en ambos ojos.
 - Tiempo de permanencia: A partir del 10º día de vida y se mantiene toda la vida. Si el RAF está ausente se considera síntoma patológico.

- El *reflejo óptico-facial* (ROF):
 - Exploración: aparece al acercarse un objeto de forma rápida al campo visual. Para desencadenarse previamente tiene que existir un contacto visual entre el explorador y el niño. La mano que se acerca rápidamente al campo visual no debería acercarse más de 30 cm a los ojos abiertos del niño, porque podría desencadenar el reflejo ciliar y confundirlo con el ROF. De la misma manera y por la misma razón, no deberían existir otros estímulos externos que puedan alterar al bebé.
 - Respuesta: aparece un parpadeo reflejo en ambos ojos sin que haya reacción global en las extremidades. El ROF también se mantiene durante toda la vida. Si en la transición al 2º trimestre el ROF está ausente, es signo inequívoco de alguna anomalía. Su ausencia al final del 2º trimestre puede indicar patología.
 - Tiempo de permanencia: es el único reflejo que no está presente en el período neonatal, apareciendo después del 3º mes.

5.2.2. Los reflejos tónicos

- El *reflejo extensor suprapúbico*:
 - Exploración: se desencadena ejerciendo una presión suave en la parte suprapúbica en sentido dorso caudal.
 - Reacción: aparece una extensión tónica de las piernas. La extensión se acompaña de aducción, rotación interna y flexión plantar con abducción de los dedos del pie. También aparece, aunque no de forma nítida una hiperextensión del tronco y los brazos pueden reaccionar con flexión o extensión.
 - Tiempo de permanencia: la máxima intensidad de respuesta se mantiene solamente hasta la 4ª semana de vida. Después del 3º mes, su presencia se considera un síntoma patológico.

- El *reflejo de extensión cruzada*:
 - Exploración: el modo de provocarlo es con el niño situado en decúbito dorsal, se flexiona pasivamente la cadera de una pierna, sujetando la rodilla en máxima flexión y se provoca una ligera presión sobre el cotilo, manteniendo el muslo en leve rotación interna y aducción. Se produce un deslizamiento de la cabeza femoral sobre el cartílago semilunar del cotilo, lo que conlleva un estímulo fisiológico para la articulación de la cadera. La flexión pasiva máxima de la rodilla, según la modificación de Vojta, tiene un efecto facilitador de la extensión de la otra pierna, debido al estiramiento del músculo cuádriceps femoral.

- Reacción: la respuesta más clara es la extensión tónica de todas las articulaciones de la pierna libre contralateral, con aducción del pie y abducción de los dedos del pie, a modo de abanico. Se observa una globalidad de la reacción, como sucedía con el *reflejo suprapúbico de extensión*, en la extensión del tronco y oblicuidad pélvica, acompañada frecuentemente del giro de la cabeza hacia el lado de la pierna extendida, y/o flexión del codo en el lado de la pierna flexionada.
- Tiempo de permanencia: hasta la 6ª semana el reflejo se desencadena con máxima intensidad, después del 3^{er} mes su persistencia supone un síntoma patológico.
- *La marcha automática neonatal (automatismo de la marcha) y la extensión primitiva tónica de la pierna:*
 - Exploración: ambos reflejos se desencadenan sujetando al bebé por el tronco en posición vertical, contactando los talones y después las plantas de sus pies sobre una superficie plana y si es posible fría.
 - Reacción: al principio aparece una extensión primitiva de las piernas, una reacción rápida de extensión de piernas y tronco. Al cargar sobre una y otra pierna de manera alternante, progresivamente aparece la transición hacia la marcha automática neonatal, puesto que las piernas responden con movimientos de paso diferenciados, coordinados y en alternancia. La pierna que no está en carga realiza un amplio movimiento de flexión, similar al movimiento de la primera fase del ciclo de paso, y la pierna en carga a la transición de la fase de apoyo hacia la fase de impulso.
 - Tiempo de permanencia: ambos reflejos tienen su máxima intensidad durante las primeras 4 semanas. A partir de la 6ª semana se van atenuando. Su persistencia después del 3^{er} mes se considera un síntoma patológico, un signo de desarrollo discinético denominado “*stepping*” que surge en el 2º trimestre.
- *El fenómeno de los ojos de muñeca o reflejo tónico-vestibular:*
 - Exploración: se desencadena al girar pasivamente la cabeza del niño.
 - Reacción: tras el giro pasivo de la cabeza, los ojos se mantienen por un momento en su posición inicial. Después siguen el giro de la cabeza, para volver a situarse en el centro.
 - Tiempo de permanencia: desde el nacimiento hasta la 4ª semana.
- *El reflejo de talón palmar (reflejo de extensión fásica):*
 - Exploración: se desencadena en niños prematuros hasta las 32 semanas de gestación. Se provoca percutiendo el talón de la mano, abriéndola previamente de forma pasiva

y manteniéndola en flexión dorsal, con el antebrazo en posición vertical. La percusión se dirige hacia el hombro pasando por el codo.

- Reacción: aparece una extensión fásica breve del brazo y una flexión de los dedos. También es análoga a la fase de impulso de la 4ª fase del ciclo de paso.
 - Tiempo de permanencia: 40 semanas de gestación.
- *El reflejo de talón plantar (reflejo de extensión fásica):*
 - Exploración: se provoca estando el niño en decúbito prono, con semiflexión de tobillo y rodillas y con leve rotación externa/abducción de cadera, se percute con el talón en dirección a la cadera. Con el niño en decúbito supino la respuesta es más débil.
 - Reacción: el *reflejo de talón plantar* no es un reflejo propioceptivo, pertenece a los reflejos de extensión fásica, porque su respuesta es una extensión repentina, impulsiva y breve de la pierna. Esta respuesta es análoga a la cuarta fase de los ciclos del paso.
 - Tiempo de permanencia: desde el nacimiento hasta las 4 semanas. En las primeras 6 semanas el reflejo de talón plantar es un signo positivo del desarrollo normal. Si persiste su intensidad neonatal más allá de los 3 meses, se considera un síntoma de desarrollo espástico.

5.2.3. Los reflejos cutáneos

- *El reflejo de presión palmar:*
 - Exploración: se ejerce una ligera presión en la zona de las articulaciones metacarpofalángicas.
 - Respuesta: se produce un cierre de la mano.
 - Tiempo de permanencia: desaparece con el apoyo de las manos desplegadas al final del primer trimestre, es decir, hasta el desarrollo de la función manual, entre el 4º y 6º mes de vida.
- *El reflejo de presión plantar:*
 - Exploración: se ejerce una ligera presión en la cabeza de los metatarsianos, entre el 1º y el 2º dedos del pie.
 - Respuesta: se produce una flexión de los dedos del pie.
 - Tiempo de permanencia: no desaparece hasta que se alcanza la función de apoyo del pie, aproximadamente hasta la puesta en pie alrededor del 9º mes.

- El *reflejo de Galant*: es un importante indicador del desarrollo de los estadios de la ontogénesis postural. Juega un papel significativo en el diagnóstico diferencial. Su ausencia durante las primeras semanas de vida indica (junto con otros síntomas) una amenaza espástica. No obstante, su persistencia con intensidad neonatal más allá del 3^{er} mes (junto con otros síntomas) revela una amenaza discinética.
 - Exploración: se provoca mediante la estimulación simultánea exteroceptiva y propioceptiva sobre la capa superficial de la musculatura larga autóctona. El estímulo, con un objeto puntiagudo no afilado, se realiza en la zona de la musculatura paravertebral desde el ángulo inferior de la escápula hasta la charnela dorsolumbar. El niño tiene que estar en suspensión ventral sobre la mano del explorador. Si hubiera una reclinación cefálica, el explorador tendría que flexionar pasivamente la cabeza antes de aplicar el estímulo.
 - Reacción: aparece una incurvación del tronco y abducción de las extremidades hacia el lado estimulado. Se activa un patrón cuadrúpedo (análogo al de los anfibios).
 - Tiempo de permanencia: la respuesta global y con intensidad neonatal se produce durante las primeras 4 semanas. A partir de la 4^a semana no aparece la reacción de las extremidades. Después del 3^{er} mes su presencia se considera un síntoma patológico.

- El *reflejo cutáneo abdominal (D7-D12)*, evalúa la integridad de los segmentos medulares desde D7 a D12:
 - Exploración: el bebé debe estar colocado en decúbito dorsal. Se provoca una ligera presión desde el lateral hacia el ombligo, es decir, de fuera hacia dentro, en las regiones correspondientes al epigástrico (D7-D9), mesogástrico (D10-D11) e hipogástrico (D12).
 - Reacción: aparece una contracción muscular bajo el estímulo.
 - Tiempo de permanencia: siempre presentes.

- El *reflejo fémoro-abdominal o reflejo abdomino-crural (D12-L1)*, evalúa a integridad del sistema nervioso, particularmente en la transición entre la región torácica baja y la lumbar alta, es decir, los segmentos medulares desde D12 a L1 (96):
 - Exploración: el bebé debe estar en decúbito dorsal relajado. El examinador estimula la región del muslo, utilizando el martillo de reflejos, acariciando la piel en dirección ascendente desde la parte superior del muslo hacia la ingle. La estimulación se realiza cerca de la región inguinal, siguiendo la distribución del dermatoma L1.
 - Reacción: la respuesta normal esperada a la estimulación es una contracción de los músculos abdominales inferiores, resultando en una leve desviación del ombligo hacia

el lado estimulado. Esto indica la integridad de los segmentos medulares D12 y L1, así como de las vías reflejas asociadas.

- Permanencia: siempre presente.

5.2.4.El reflejo de Moro

- *El reflejo de Moro:*
 - Exploración: se desencadena tirando de forma repentina y brusca de la sábana sobre la que se encuentra el bebé en decúbito dorsal.
 - Reacción: la respuesta neonatal es una reacción de “susto”, con apertura brusca de los brazos realizando un movimiento de abrazo. Los codos y las muñecas permanecen en leve flexión, las manos están abiertas. Las piernas se flexionan y se abducen, mientras se hiperextiende la columna vertebral. Por primera vez, el bebé experimenta la rotación externa de las articulaciones de hombros y caderas, aunque no como función de apoyo. Los movimientos angulares amplios de las extremidades y la extensión del órgano axial transfieren una considerable información al SNC. También aparecen reacciones vegetativas, que se manifiestan por la dilatación de las pupilas, la aceleración de la frecuencia cardíaca y los ritmos del ritmo cardíaco.
 - Tiempo de permanencia: está presente desde el nacimiento hasta aproximadamente los 4 o 6 meses de edad.

En la Tabla 3 se detallan los tiempos de latencia de los reflejos primitivos (77), no han sido señalados los tiempos de latencia del reflejo del talón palmar y de la extensión primitiva de los brazos porque la presencia de estos reflejos debe ser considerada desde el periodo neonatal como un signo anormal.

Tabla 3. Reflejos primitivos y sus tiempos de latencia

Reflejos primitivos y sus tiempos de latencia	
Babkin	0-4 semanas
Rooting	0-3 meses
Succión	0-3 meses
Fenómeno de los ojos de muñeca	0-4 semanas
Marcha automática	0-4 semanas
Reflejos extensores: Extensión primitiva del brazo Extensión primitiva de la pierna	0-4 semanas
Suprapúbico	0-4 semanas
Cruzado	0-6 semanas
Talón plantar	0-4 semanas
Talón palmar	
Galant	0-4 meses
Reflejo de prensión de la mano	Hasta el desarrollo de la función prensora y apoyo de la mano
Reflejo de prensión plantar	Hasta el desarrollo de la función de apoyo de los pies
RAF (reflejo acústico facial)	A partir del 10º día, hasta el final de la vida
ROF (reflejo óptico facial)	Empieza después del 3 ^{er} mes

Es importante destacar que la reacción de extensión primitiva de las piernas o de los brazos o el reflejo de Babkin, el reflejo de Galant y los reflejos prensores no pueden considerarse como reflejos segmentarios aislados (77).

La Tabla 4 detallará los reflejos primitivos junto con los posibles síntomas patológicos asociados que podrían manifestarse (77).

Tabla 4. Síntomas patológicos de los reflejos primitivos

Síntomas patológicos de los reflejos primitivos	
Babkin	Después de la 6ª semana
Rooting	Después del 6º mes
Succión	Después de la 6ª semana
Fenómeno de los ojos de muñeca	Después de la 6ª semana
Marcha automática	Después del 3º mes
Reflejos extensores:	
Extensión primitiva del brazo	Desde el nacimiento
Extensión primitiva de la pierna	Después del 3º mes y eventualmente a partir del parto (si no es desencadenable la marcha automática).
Suprapúbico*	(Amenaza de espasticidad)
Cruzado*	Después del 3º mes (amenaza de espasticidad o discinesia)
Talón plantar	Después del 3º mes
Talón palmar	Desde el nacimiento

* No valorable en niño con llanto (el niño flexiona las piernas hacia el cuerpo de forma homóloga).

5.2.5. El reflejo de Rossolimo

- El *reflejo de Rossolimo* (6) siempre es patológico, su presencia es señal espástica.
 - Exploración: Se obtiene con el bebé en decúbito dorsal, sujetando unos de los pies en una mano del examinador se golpea la cara palmar del pulpejo del segundo o tercer dedo del pie.
 - Reacción: la respuesta, cuando aparece, es la extensión de todas las falanges, movimiento similar a cuando un gato saca las uñas.
 - Tiempo de permanencia: su presencia indica lesión en las vías corticoespinales.

5.2.6. Los reflejos osteotendinosos

- El *reflejo bicipital* (C5-C6) (97), es un reflejo osteotendinoso que ayuda a evaluar la integridad del sistema nervioso, específicamente el nivel de la médula espinal cervical 5 y 6 (C5-C6). Este reflejo involucra el músculo bíceps braquial.

- Exploración: el bebé debe estar en una posición relajada, preferiblemente en decúbito dorsal. El examinador coloca un pulgar o un dedo sobre el tendón del bíceps en el codo y luego golpea su propio dedo con un martillo de reflejos.
 - Reacción: la respuesta esperada es la contracción del músculo bíceps, lo que resulta en una ligera flexión del antebrazo. Esto indica que las vías nerviosas específicas funcionan correctamente.
 - Tiempo de permanencia: está presente y puede ser evaluado durante toda la vida de una persona.
- El *reflejo rotuliano o patelar (L2-L4)*, es uno de los reflejos osteotendinosos más comúnmente evaluados en el examen neurológico. Es un indicador clave de la integridad del sistema nervioso, particularmente de los segmentos de la médula espinal L2, L3 y L4.
 - Exploración: el bebé debe estar en posición relajada, preferiblemente en decúbito dorsal con la rodilla en flexión. El examinador coloca un pulgar o un dedo sobre el tendón rotuliano y percute suavemente este tendón con un martillo de reflejos.
 - Reacción: la respuesta es un movimiento de extensión de la rodilla.
 - Tiempo de permanencia: durante toda la vida.

5.3. Las reacciones posturales

Las reacciones posturales son actitudes y movimientos reflejos desencadenados por la modificación de la posición del cuerpo en el espacio. Varían según el nivel de desarrollo alcanzado y transcurren en varias fases. Dichas fases son hitos u objetivos del desarrollo y, cada una de ellas corresponde a un nivel de habilidad motriz y a un estadio ontogenético desde el nacimiento hasta la bipedestación y marcha (6). Las reacciones posturales, que desde hace años cumplen un papel esencial en la valoración y el diagnóstico del desarrollo neuromotor, son respuestas automáticas del SNC que permiten al cuerpo mantener el equilibrio y la postura ante un repentino y determinado cambio de posición. Estas reacciones son fundamentales para el control del movimiento y la estabilidad del cuerpo en el espacio.

Las reacciones posturales son movimientos o posturas automáticas que tienen un contenido cinesiológico específico y reproducible, ofrecen de manera rápida información objetiva sobre el nivel de desarrollo del niño. El control postural es un proceso activo y altamente complejo del SNC, que está presente desde el periodo neonatal.

Para investigar la reactividad postural, se examinan siete reacciones posturales que evolucionan en fases típicas y constantes en el año, no dependen de la motivación, su dinámica es paralela a la ontogénesis postural y delimita patrones motores definibles cinesiológicamente. Permite valorar la función postural del SNC (reactibilidad postural) en un determinado momento. Tras su

evaluación, es factible determinar si son normales, están retrasadas o muestran patrones de respuesta parcial o totalmente patológicos (77). En este estudio de investigación se incluirán las respuestas a las reacciones posturales desde el nacimiento hasta el 6º mes que es el rango de edad que abarca esta tesis.

La Tabla 5 presenta una revisión de las reacciones posturales en la cinesiología del desarrollo, realizada por el profesor Vojta (98).

Tabla 5. Reacciones posturales en la cinesiología del desarrollo revisada por el profesor Vojta

Reacciones posturales	1 ^{er} trimestre	2 ^o trimestre	3 ^{er} trimestre	4 ^o trimestre
Tracción				
Landau				
Suspensión axilar				
Lateral de Vojta				
Collis horizontal				
Vertical de Peiper-Isbert				
Collis vertical				

5.3.1. Reacción de Tracción

La Reacción de Tracción fue modificada por Vojta y es utilizada en el diagnóstico desde hace décadas (77).

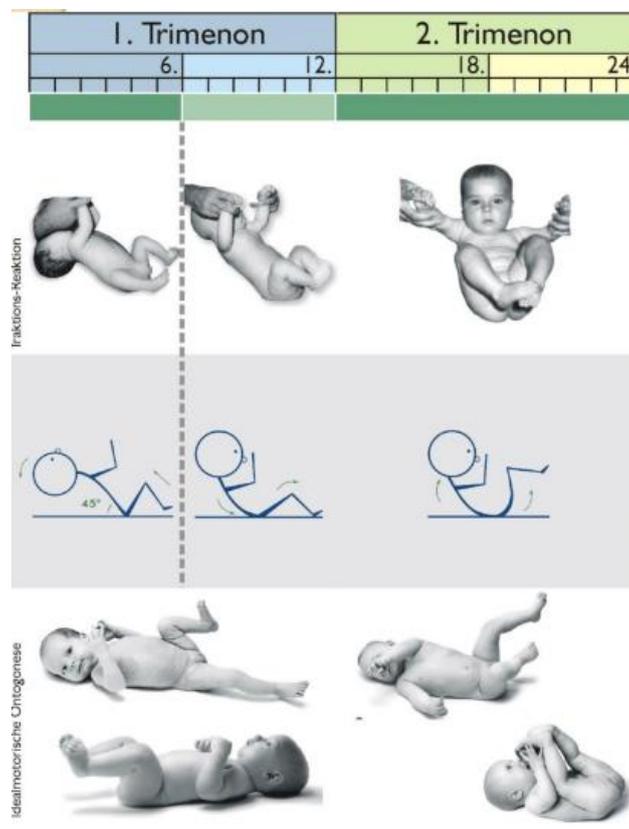
- **Exploración:** la posición inicial implica comenzar desde el decúbito dorsal con la cabeza alineada. Se aplica una tracción gradual al niño, sosteniéndolo con las manos, hasta alcanzar una posición inclinada de aproximadamente 45° sobre la horizontal para flexionar las caderas. Además, se procura siempre aprovechar el reflejo de prensión de la mano, que pertenece a la coordinación global de este reflejo postural. De esta manera, se coloca uno de los dedos del examinador en la palma de la mano del niño, desde su lado ulnar, y se agarra con los otros

dedos la parte distal del antebrazo, sin tocar el dorso de la mano porque el estímulo exteroceptivo del dorso de la mano puede frenar el reflejo de prensión.

- **Reacción postural:** este proceso evoluciona en cuatro fases durante el primer año de vida, y la segunda fase se subdivide en dos subfases, a y b.
 - La *primera fase* abarca desde el nacimiento hasta la 6ª semana. La cabeza cuelga hacia atrás y está ligeramente reclinada. En las caderas y las rodillas las dos primeras semanas hay una fuerte flexión a nivel de las caderas con movimientos de tipo Moro, a partir de la tercera semana permanecen en semiflexión y levemente abducidas.
 - La *segunda fase (a)* comprende desde la 7ª semana hasta el 3^{er} mes, la cabeza queda alineada con el tronco, las caderas y rodillas están en flexión.
 - En la *segunda fase (b)* desde el 4^o mes hasta el final del 6^o mes, aparece una flexión de la cabeza, con flexión de todo el tronco y de las piernas.

En la Tabla 6 se muestra la Reacción postural de Tracción en el primer y segundo trimestre de vida (23,26).

Tabla 6. Reacción de Tracción



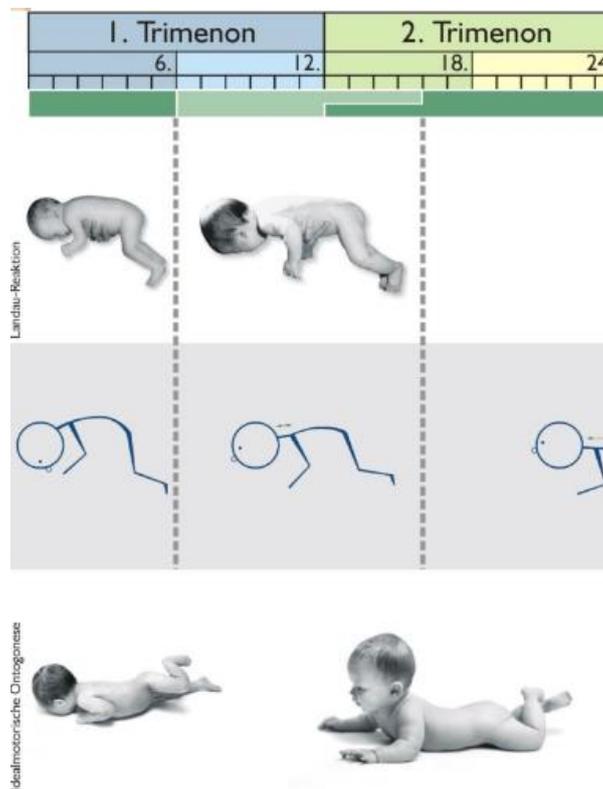
5.3.2. Reacción de Landau

Esta reacción fue descubierta por Landau en 1923 y posteriormente fue modificada y estandarizada por Vojta (23,26,77).

- Exploración: sostener al niño por el abdomen, manteniéndolo sobre la palma de la mano del explorador, en posición horizontal, es decir, en suspensión ventral horizontal.
- Reacción postural: se dividen en tres fases.
 - La *primera fase* va desde el nacimiento hasta la 6ª semana. La cabeza y el tronco están ligeramente flexionados, y los brazos y las piernas en suave flexión.
 - La *segunda fase* va desde la 7ª semana hasta el 4º mes. Se caracteriza por presentar una extensión simétrica del cuello hasta la línea media de los hombros, una ligera flexión del tronco y una flexión suave de brazos y piernas.
 - La *tercera fase* es alcanzada a los 6 meses. A la extensión simétrica del cuello se une la extensión del tronco hasta la charnela toraco-lumbar. Los brazos están relajados en flexión y las piernas en flexión en ángulo recto.

En la Tabla 7 se muestra la Reacción postural de Landau en el primer y segundo trimestre de vida (23,26,77).

Tabla 7. Reacción de Landau



5.3.3. Reacción a la Suspensión Axilar

- **Exploración:** consiste en mantener al niño en suspensión vertical, con la cabeza hacia arriba y la espalda hacia el explorador, sin tocar la sujeción de sus escápulas.
- **Reacción postural:** evoluciona en dos fases, la primera de ellas dividida en dos subfases, a y b.
 - La *primera fase* va desde el nacimiento hasta el final del primer trimestre. Se caracteriza porque las piernas cuelgan en extensión “inerte”.
 - La *segunda fase* comprende desde el 4º mes hasta el final del 7º mes. Aparece una flexión activa de caderas y rodillas hasta los 90º.

En la Tabla 8 se muestra la Reacción postural de Suspensión Axilar en el primer y segundo trimestre de vida (23,26,77).

Tabla 8. Reacción de Suspensión Axilar.

		1. Trimenon		2. Trimenon		3.
		6.	12.	18.	24.	
Axiläre Hängerreaktion						
						
Idealmotorische Ontogenese						
						

5.3.4. Reacción Lateral de Vojta

La Reacción Lateral fue descubierta y modificado por Vojta desde el año 1966 al año 1969 (23,26,77).

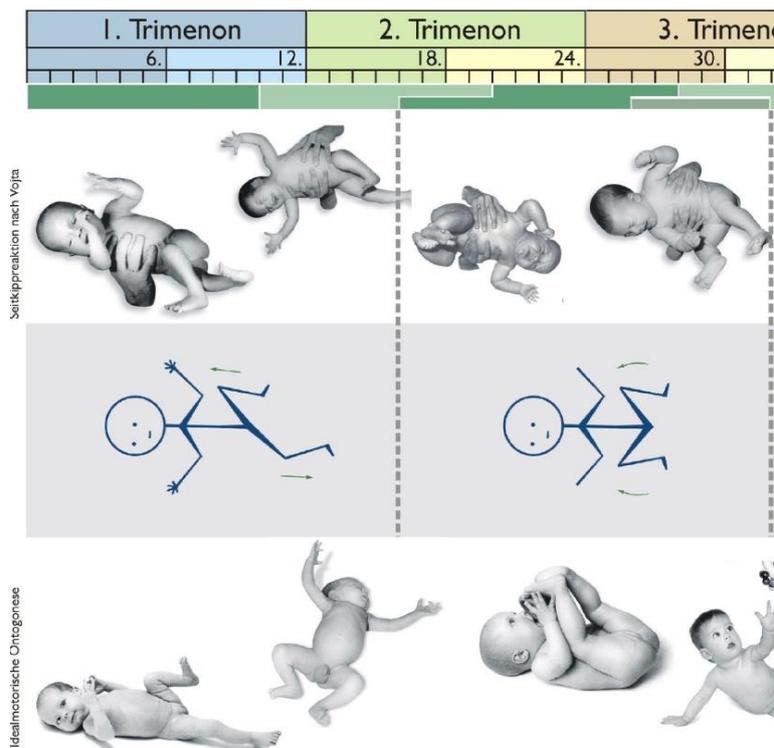
- **Exploración:** desde la posición en la que el lactante es mantenido verticalmente por el tronco, con su espalda frente al evaluador, se imprime un giro repentino del niño hasta la posición

horizontal. Se debe evaluar el giro hacia ambos lados, valorando las extremidades que quedan por arriba.

- **Reacción postural:** evoluciona en tres fases y dos transiciones entre la primera y la segunda y entre esta y la tercera.
 - La *primera fase* abarca desde el nacimiento hasta la 10ª semana de vida. En la extremidad superior que queda por arriba se observa un movimiento con el patrón de respuesta de la reacción de Moro. En la extremidad inferior que queda arriba se observa una flexión de cadera y rodillas con flexión dorsal del tobillo, pronación del pie y separación de los dedos. La pierna de abajo se observa una triple flexión rápida con flexión dorsal del tobillo, supinación y flexión de los dedos.
 - *Primera transición* desde la 11ª semana hasta la semana 20ª. En la extremidad superior cede el movimiento de abrazo del patrón de respuesta de la reacción de Moro permaneciendo solo la abducción. Las extremidades inferiores pierden su posición diferenciada y ambas adoptan progresivamente la flexión.
 - La *segunda fase* abarca desde el 4º mes hasta el final del 7º mes en todas las extremidades se adopta una suave flexión.

En la Tabla 9 se muestra la Reacción postural Lateral de Vojta en el primer y segundo trimestre de vida (23,26).

Tabla 9. Reacción Lateral de Vojta



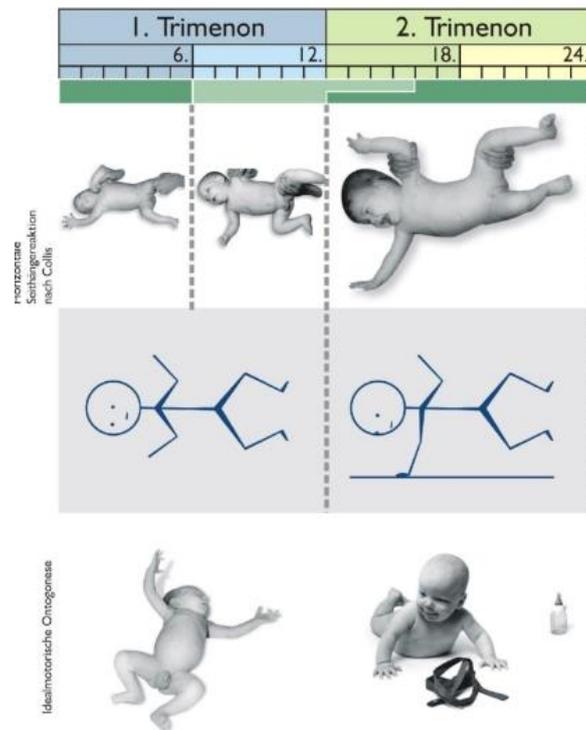
5.3.5. Reacción de Collis Horizontal

La Reacción de Collis Horizontal fue descubierta por E. Collis en 1954 (77), y posteriormente modificada y estandarizada por Vojta (23,26).

- Exploración: consiste en sujetar al niño por el brazo y el muslo del mismo lado. Únicamente se evalúan las extremidades que quedan libres.
- Reacción postural: progresa en tres fases, la primera de ellas dividida en dos subfases, a y b:
 - La *primera fase (a)* va desde el nacimiento hasta la 6ª semana. La extremidad superior que queda por debajo realiza un patrón tipo Moro con la mano abierta; en la extremidad inferior que queda por abajo se observa una flexión relajada.
 - La *primera fase (b)* comprende desde la 7ª semana hasta el 3^{er} mes: en la extremidad superior que queda por debajo aparece una abducción del hombro tipo respuesta a la reacción de Moro con flexión relajada del codo y la mano relajada y cerrada. En el 3^{er} mes el brazo que queda libre queda en abducción de 90° y semiflexión de codo. El miembro inferior que queda por abajo presenta una abducción del muslo y flexión relajada de cadera y rodilla.
 - La *segunda fase* va desde el 4º mes hasta el final del 6º mes. En el 4º mes se inicia la pronación del antebrazo con extensión progresiva del codo. En el 6º mes se apoya la mano en el plano con apertura de la mano desde el 5º dedo. La extremidad inferior que queda por debajo presenta una flexión relajada de cadera, rodilla y tobillo.

En la Tabla 10 se muestra la Reacción postural de Collis Horizontal en el primer y segundo trimestre de vida (23,26).

Tabla 10. Reacción de Collis Horizontal



5.3.6. Reacción Vertical de Peiper-Isbert

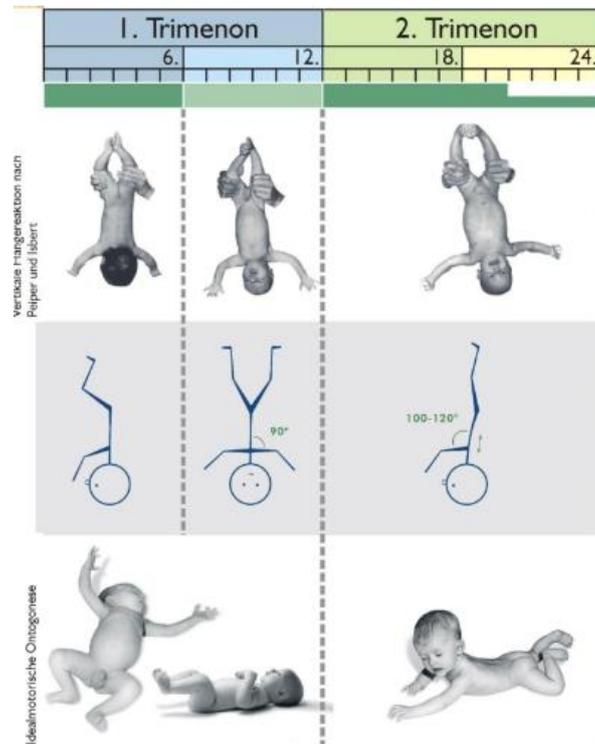
La Reacción Vertical de Peiper-Isbert descubierta por estos dos autores en 1927, fue modificada y estandarizada por Vojta (23,26,77).

- **Exploración:** partiendo desde el decúbito dorsal (durante los 4-5 primeros meses) o desde el decúbito ventral (después del 5º mes), consiste en coger al niño por las rodillas o los muslos y elevarlo del plano rápidamente hacia la vertical con la cabeza hacia abajo.
- **Reacción postural:** avanza en cuatro fases, la primera de ellas se subdivide en dos subfases, a y b:
 - La *primera fase (a)* va desde el nacimiento hasta la 6ª semana. En la cabeza y la columna cervical se observa una extensión axial y simétrica del cuello desde la nuca. En las extremidades superiores aparece la reacción tipo Moro. Las caderas se mantienen en flexión.
 - La *primera fase (b)* comprende desde la 7ª semana hasta el 3º mes. En la cabeza y la columna cervical se observa una extensión axial y simétrica del cuello desde la nuca. Las extremidades superiores se mantienen abducidos 90º en el plano frontal con las manos abiertas.
 - La *segunda fase* va desde el 4º a 5º mes hasta el final del 6º mes. En la cabeza y la columna se aprecia una extensión axial de la columna cervical y dorsal, es decir, la

columna está extendida y alineada en la charnela toracolumbar. Las extremidades superiores se elevan más de 90° con las manos abiertas.

En la Tabla 11 se muestra la Reacción postural Vertical de Peiper-Isbert en el primer y segundo trimestre de vida (23,26).

Tabla 11. Reacción Vertical de Peiper-Isbert



5.3.7. Reacción de Collis Vertical

La Reacción de Collis Vertical fue descubierta por E. Collis en 1954, y posteriormente modificada y estandarizada por Vojta (23,26,77).

- **Exploración:** desde el decúbito dorsal se sujeta al niño por la rodilla o el muslo para llevarlo repentinamente a la vertical, con la cabeza colgando hacia abajo. Sólo se valora la extremidad inferior que queda libre.
- **Reacción postural:** comprende dos fases.
 - La *primera fase*, desde el nacimiento hasta el 6º mes. En la extremidad inferior libre aparece una triple flexión de cadera rodilla y tobillo, también puede aparecer una extensión y después una triple flexión.

En la Tabla 12 se muestra la Reacción postural de Collis Vertical en el primer y segundo trimestre de vida (23,26).

Tabla 12. Reacción de Collis Vertical

I. Trimenon		2. Trimenon	
6.	12.	18.	24.

5.4. Valoración de la displasia de cadera

La displasia del desarrollo de la cadera, que es una causa prominente de discapacidad infantil, se beneficia enormemente de una detección y tratamiento oportunos. Aunque no todos los niños afectados muestran síntomas claros o factores de riesgo conocidos, las maniobras de Barlow y Ortolani emergen como herramientas cruciales, no invasivas y coste-efectivas, para la detección temprana de esta condición durante los exámenes físicos rutinarios en neonatos y lactantes. Estas prácticas permiten la implementación de medidas correctivas a tiempo, lo que mejora significativamente el pronóstico y previene complicaciones a largo plazo. Sin embargo, es notable que la frecuencia de ecografías solicitadas basadas en hallazgos clínicos tiende a ser mayor de lo necesario, señalando un área de práctica que podría beneficiarse de una revisión y ajuste de criterios para optimizar la detección y manejo de la displasia de cadera en la población infantil (99,100).

Pruebas de estabilidad de la cadera (101):

- La maniobra de Barlow: detecta una cadera luxable, se subluxa o luxa una cadera que está reducida.
 - Exploración: el examinador debe sujetar la pelvis del lactante y con la otra mano el muslo, con la cadera en posición vertical, se realiza una presión suave longitudinal hacia atrás de la cadera (se empuja hacia abajo sobre la camilla). Esto se hace para evaluar si la cadera puede ser desplazada de su posición normal en el acetábulo. Una

cadera normal no mostrará signos de luxación bajo esta presión. Si la cadera se luxa con esta maniobra, sugiere inestabilidad y posiblemente displasia del desarrollo de la cadera. Si esta maniobra se realiza con la cadera en mucha aducción puede dar falsos positivos.

- Respuesta: la prueba es positiva cuando notamos un “clunk” o sensación de salida al desplazarse la cabeza femoral del acetábulo (Figura 20). La maniobra es positiva si la cadera puede ser desplazada o luxada. Suele asociarse a una cadera inestable (hiperlaxitud), es frecuente una resolución espontánea en la primera semana de vida en el 60% de los casos.

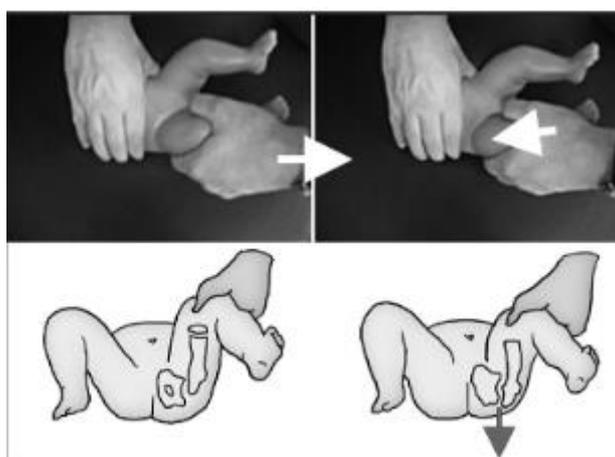


Figura 20. Maniobra de Barlow (101). Se debe sujetar la pelvis y empujar el fémur hacia atrás en sentido longitudinal, con la cadera a 90° de flexión y en abducción y aducción neutra.

- La maniobra de Ortolani: detecta una cadera luxada. Con esta maniobra se persigue reducir la cabeza femoral dentro del acetábulo, es decir, se reduce una cadera que está luxada.
 - Exploración: se realiza una abducción de la cadera, mientras se tracciona en eje ligeramente, y se empuja el trocánter mayor hacia arriba con los dedos.
 - Respuesta: la maniobra es positiva cuando la cabeza femoral entra (resalte o “clunk”) (Figura 21). Es importante insistir que la maniobra es positiva cuando notamos que la cabeza femoral entra, la percepción es propioceptiva. Los “clicks” de la cadera son normales, debidos a fenómenos de vacío, chasquidos ligamentosos o de tendones en la zona. A partir de la 3ª a 4ª semana de vida la maniobra comienza a hacerse negativa a pesar de que la cadera continúa luxada.

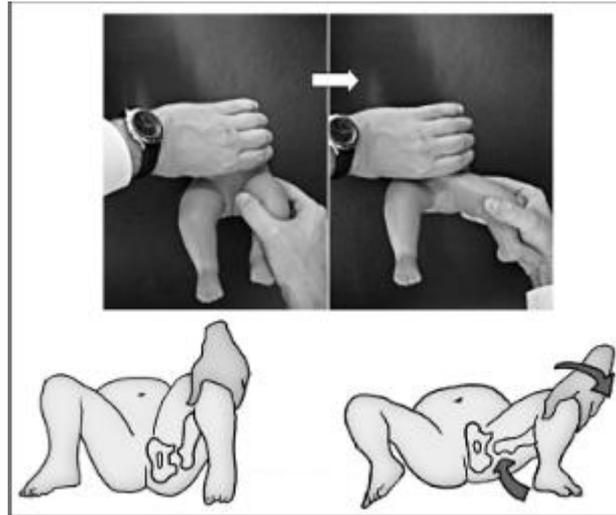


Figura 21. Maniobra de Ortolani. Se debe sujetar la pelvis, y no la otra cadera, para evitar errores (101).

Ambas maniobras, cuando se realizan correctamente, proporcionan información valiosa sobre la estabilidad de las caderas del recién nacido. La combinación de estas maniobras aumenta la sensibilidad del examen físico para detectar la displasia de cadera.

5.5. Valoración de la antetorsión femoral

En el contexto de la valoración de la postura en bebés, el estudio de las deformidades torsionales de las extremidades inferiores, específicamente la antetorsión femoral, es crucial. Estas condiciones representan una causa común de consulta al traumatólogo pediátrico y suelen ser variaciones fisiológicas del desarrollo que, en la mayoría de los casos, se resuelven espontáneamente sin necesidad de tratamiento.

La antetorsión femoral se caracteriza por una rotación interna del fémur, que inicialmente presenta una torsión externa en la vida prenatal y cambia a una torsión interna de 25-40° al nacer, proceso que continúa su evolución hasta aproximadamente los 8 a 10 años. La valoración clínica es fundamental para diferenciar entre las condiciones fisiológicas y patológicas, evitando tratamientos innecesarios (102).

Para verificar si existe una antetorsión femoral en el lactante hay que valorar los grados de rotación interna y externa pasiva de cadera y, ante una excesiva antetorsión femoral, existe una disminución de rotación externa a expensas de un aumento en la rotación interna, es decir, la cantidad de rotación interna está ligeramente elevada cuando se localice el trocánter mayor y en comparación con los valores normativos según la edad. La antetorsión femoral es una de las deformidades de las extremidades inferiores más frecuentes con repercusiones futuras en la marcha (86).

6. La inteligencia artificial en medicina. Transformando el aprendizaje y la práctica clínica

La informática usa la programación para realizar tareas de forma automática siguiendo las indicaciones de un algoritmo. Este algoritmo sigue un conjunto de instrucciones que previamente han sido descritas por un programador. La realización de programas cada vez más sofisticados ha permitido desarrollar un tipo de algoritmos que crean instrucciones de forma autónoma a partir de datos introducidos, lo que supone el inicio de la inteligencia artificial (IA) (103).

La Real Academia Española define la IA como la “disciplina científica que se ocupa de crear programas informáticos que ejecutan operaciones comparables a las que realiza la mente humana, como el aprendizaje o el razonamiento lógico”(104). Estos programas informáticos se desarrollan a partir de algoritmos matemáticos y modelos estadísticos que son capaces de analizar grandes bases de datos para establecer patrones que faciliten las tomas de decisiones.

John McCarthy introdujo el concepto de IA en el año 1956, durante un seminario específico. No obstante, la idea de que las máquinas podrían imitar el pensamiento y comportamiento humanos se había propuesto antes por Alan Turing. Turing ideó la prueba de Turing como un método para distinguir entre humanos y máquinas. Desde ese momento, la capacidad de procesamiento de las computadoras ha avanzado enormemente, permitiéndoles realizar cálculos de manera instantánea y analizar información nueva basándose en datos previos en tiempo real (105).

En las últimas décadas, la medicina y la tecnología han avanzado de manera conjunta, transformando tanto la percepción de la salud como el impulso del desarrollo tecnológico. La IA, compuesta por algoritmos complejos y bien entrenados, permite a las máquinas tomar decisiones específicas basadas en principios generales. Esta capacidad de la IA se aplica en el ámbito médico para mejorar el diagnóstico, el monitoreo y la predicción del pronóstico de los pacientes de manera personalizada. La integración de la IA con la robótica abre el camino hacia dispositivos más avanzados y eficientes, capaces de ofrecer diagnósticos y soluciones con mayor precisión. Así, la IA se está incorporando en nuestra práctica diaria, a través de herramientas y programas que, de manera visible o no, se están convirtiendo en parte esencial de los procedimientos de salud. Es fundamental que los profesionales de la salud se familiaricen con esta tecnología, comprendiendo tanto sus beneficios como sus limitaciones, ya que se convertirá en un componente esencial de su entorno laboral (106).

En la actualidad, la IA está a la orden del día. La capacidad de crecimiento que está teniendo está relacionada con el poder de procesamiento y de almacenamiento de los datos, lo que permite una amplia gama de aplicaciones en la medicina, relacionadas también con habilidades de percepción, toma de decisiones y ejecución. La IA puede ofrecer una gran cantidad de herramientas útiles a los profesionales de la salud, sobre todo, en los últimos años, en los que los cuidados están influenciados por el aumento de la complejidad y la disponibilidad de grandes volúmenes de datos y el agotamiento

físico, mental y emocional de los profesionales sanitarios, causados por el trabajo (que puede dar lugar al denominado síndrome de *burnout* o del trabajador quemado). Por ejemplo, la interpretación de señales de electrocardiograma o imágenes radiográficas, el diagnóstico de enfermedades, la elección de tratamientos adecuados y las interpretaciones para el razonamiento clínico, son algunas de las tareas muy significativas relacionadas con la medicina predictiva y de precisión que puede realizar la IA. Esta tecnología tiene aplicaciones en el diagnóstico y seguimiento de pacientes con una evaluación pronóstica individualizada de los mismos (107).

La teoría de procesamiento de información de Mahoney (108) propone que el ser humano actúa como un procesador de información, reaccionando a estímulos internos y externos, los cuales almacena y utiliza para generar respuestas a situaciones similares. En esta teoría se identifican tres componentes clave en el procesamiento de información: el registro sensitivo (recepción de información), la memoria a corto plazo (almacenamiento temporal) y la memoria a largo plazo (almacenamiento prolongado y organizado). El proceso incluye atención (selección de estímulos), codificación (interpretación de estímulos), almacenamiento (conservación de información) y recuperación (acceso a la información almacenada).

El aprendizaje humano se ve influenciado por la repetición y el refuerzo, facilitando la toma de decisiones basada en experiencias y conocimientos previos, un proceso que puede ser modelado en algoritmos para que las máquinas lo ejecuten rápidamente. A diferencia del aprendizaje de los humanos, que es progresivo y puede durar años, las máquinas pueden adquirir y procesar información de manera más eficiente, sin las limitaciones físicas humanas, aprovechando grandes volúmenes de datos (*big data*) para enriquecer su experiencia.

En esta línea cabe destacar que existen dos enfoques principales para enseñar a las máquinas a aprender (106). Uno es el aprendizaje supervisado, que implica la orientación de un humano que clasifica y etiqueta los datos, mostrando a la máquina qué resultados son correctos o incorrectos, utilizado en medicina para hacer predicciones de un pronóstico. Este método depende de la capacidad del humano para organizar la información de entrada y definir cómo se deben tomar las decisiones, permitiendo a la máquina, después de un periodo de entrenamiento, clasificar nueva información por sí misma. El segundo método se trata del aprendizaje automático no supervisado o *Machine Learning* (ML).

El ML se centra en darle a la máquina la habilidad de aprender de forma independiente a través de la experiencia, utilizando un conjunto de reglas lógicas básicas y un poco de entrenamiento supervisado inicialmente. A diferencia del aprendizaje supervisado, donde las reglas son explicitadas por los humanos, en el aprendizaje automático, la máquina desarrolla sus propias reglas a partir de los ejemplos dados durante el entrenamiento. Una vez que la máquina logra un número suficiente de decisiones correctas se puede integrar con sistemas de *big data* para reforzar su capacidad de toma de decisiones a través de la acumulación de experiencias. Se trata entonces de una disciplina de la

ciencia de la computación y una rama de la inteligencia artificial que tiene por objetivo desarrollar sistemas que aprenden automáticamente, reconocen patrones y predicen comportamientos, a partir de conjuntos de datos.

El objetivo principal del ML (109) es dotar a un sistema informático (el *hardware* y el correspondiente *software*) de la capacidad para reproducir comportamientos humanos en los que éstos, con esfuerzo intelectual, establecen relaciones causales (diagnosticar), aplican patrones complejos (analizar) o toman decisiones (tratar enfermos). Mediante sus soluciones algorítmicas, el ML trata de descubrir de forma automática regularidades o semejanzas, denominados patrones, en los datos, imágenes en el campo de la visión artificial, y utilizar estos patrones para hacer predicciones o tomar decisiones/acciones: diagnosticar, analizar, tratar...

ML tiene como objeto reproducir las citadas capacidades, esto es, a partir de un conjunto de datos o *DataSet*, constituido por múltiples imágenes donde se encuentre la casuística completa de lo que se pretende aprender, se debe encontrar un procedimiento automático (aplicación informática), que no ha de ser programado y que realiza la misma actividad que el ser humano o especialista. Esta aplicación informática implementa los diferentes modelos matemáticos o algoritmos, que han de ser descubiertos y definidos sin intervención humana. Los parámetros de estos modelos (denominados adaptativos pues se “adaptan” a los problemas concretos) se sintonizan utilizando un conjunto de datos de entrenamiento o *TrainingSet*, que en el caso del presente estudio son imágenes. Normalmente, es necesario un experto que utilice este *TrainingSet*, defina y establezca los hechos y su interpretación de forma manual. Con esta información, se procede a realizar lo que se denomina proceso de aprendizaje o entrenamiento.

Una vez finalizada esta fase se dispone de un modelo o procedimiento que, de forma automática, relaciona los datos de entrada (imágenes) con las salidas (interpretaciones o clasificaciones) de forma análoga cómo el profesional realiza predicciones. Posteriormente, para probar la capacidad aprendida, siendo éste un aspecto clave en ML, se utiliza un conjunto de prueba o verificación (*TestSet*), que contiene nuevos datos diferentes a los utilizados durante el entrenamiento y se verifica que su comportamiento deseado es correcto, lo que refleja la denominada capacidad de generalización. Esto conforma el paradigma supervisado en la tarea de aprendizaje.

En este enfoque se encuentran las redes neuronales (RNA), conocidas en inglés como *artificial neural networks* (ANNs), las RNA del tipo Perceptrón Multicapa (MLP-MultiLayer Perceptron), las Máquinas de Soporte Vectorial (SVM-Support Vector Machine) o, de forma más reciente y potente, los modelos más complejos correspondientes a las redes neuronales convolucionales (CNN-Convolutional Neural Networks) (110–112). La estructura de las CNN se basa en un modelo jerárquico que consta de capas de entrada y salida y múltiples capas ocultas. Las entradas son imágenes RGB, datos de audio, etc. De esta forma, las CNN extraen información semántica de alto nivel de los datos de entrada

mediante el apilamiento capa por capa de convolución, agrupación y mapeo de funciones de activación no lineal, y la abstrae capa por capa (112).

Las RNA y las técnicas de aprendizaje profundo, conocidas en inglés como *Deep Learning* (DL), son las herramientas más importantes del ML. Las RNA son un modelo de un algoritmo computacional inspirado en las redes neuronales biológicas que imitan la estructura y funcionamiento cerebral (113). Las RNA se estructuran en unidades llamadas elementos procesadores (PE) análogos a las neuronas biológicas, con entradas (dendritas) que reciben señales, procesan esta información y generan respuestas (axones), conectándose a otras neuronas artificiales de manera similar a las sinapsis cerebrales. Estos PEs se organizan en capas, formando así una red que simula el aprendizaje y funcionamiento neuronal humano. Cada una de las neuronas recibe una o varias entradas y produce una salida, que puede ser la entrada de otras neuronas. Se lleva a cabo un proceso de “entrenamiento” que ajusta las conexiones entre las neuronas para mejorar el rendimiento de la red a fin de desarrollar una tarea concreta, se aplica por ejemplo para precisar patrones de imágenes. Las RNA son una poderosa herramienta que tiene la habilidad para aprender y generalizar, permitiendo reconocer patrones, predecir comportamientos y tomar decisiones. El DL toma los fundamentos teóricos de las redes neuronales clásicas, pero emplea una gran cantidad de neuronas y capas escondidas, junto con nuevos modelos y paradigmas de entrenamiento. El ML se agrega al DL que se centra en el entrenamiento de patrones de RNA utilizando modelos que están compuestos por múltiples capas y que tienen la capacidad de aprender muestras cada vez más abstractas de los datos que se incorporan según se va profundizando en la red (114).

Tal como se muestra en la Figura 22, cada neurona en la red se relaciona a otras neuronas de la red a través de conexiones que, al igual que en el mundo biológico, son conocidas como sinapsis. Cada sinapsis tiene un peso asociado que determina la fuerza de la conexión, y durante el proceso de entrenamiento, estos pesos se ajustan mediante el aprendizaje para mejorar la precisión y el resultado de la salida de la red (115).

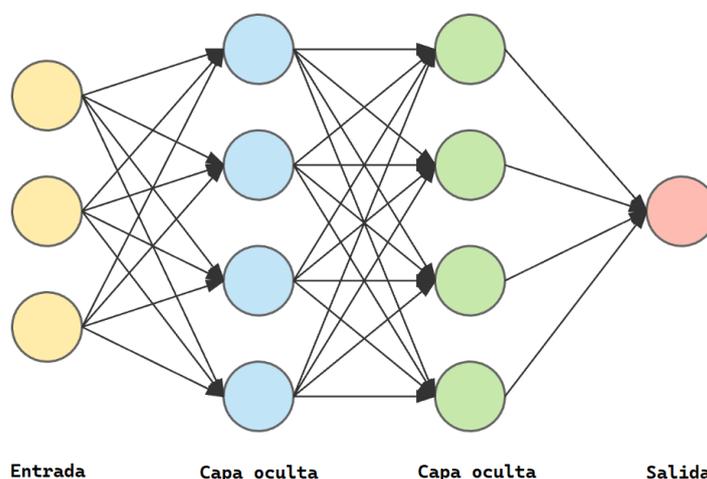


Figura 22. Estructura básica de una red neuronal.

Las RNA, al igual que el cerebro humano, tienen multitud de elementos muy interconectados, donde pueden aparecer millares, o incluso millones, de sinapsis definidas por los pesos. Históricamente, y debido, en esencia, a las limitaciones de las capacidades de cálculo que existían a finales del siglo pasado, no era posible realizar en imagen tareas de aprendizaje con calidad. Las aplicaciones prácticas de ML en RNA incluían una etapa previa de pre-procesamiento, donde los datos de entrada son tratados con el objetivo de simplificar la resolución del problema. Existe el riesgo, sin embargo, de perder información necesaria para realizar tareas perceptivas. Así, aunque se consiguen resultados aceptables en muchos problemas de diferentes ámbitos, hay otros problemas perceptivos que no se han podido plantear hasta el siglo XXI. Una de estas actividades es la que se conoce como segmentación semántica, cuyo significado se puede resumir mediante las preguntas: ¿qué objetos aparecen o elementos aparecen en una imagen?, ¿dónde se encuentran? La segmentación semántica es una tarea crítica en visión por computadora que tiene como objetivo asignar a cada píxel de una imagen una etiqueta correspondiente en función de su contenido semántico. Esta tarea se conoce comúnmente como etiquetado denso porque requiere una clasificación de la imagen a nivel de píxeles (116). De forma más práctica, y dentro del ámbito de preocupación para este trabajo, es interesante en una imagen en color de buena resolución que un procedimiento automático sea capaz de distinguir a un niño, y de forma más específica cuáles son las zonas donde este niño se apoya en un decúbito ventral y dorsal.

Así, en Análisis de Imagen se utilizan de forma extensiva las técnicas de aprendizaje supervisado basadas en RNAs y, más específicamente, en Redes Neuronales Convolucionales, gracias a las prestaciones computacionales que ofrecen actualmente las Unidades de Procesamiento Gráfico (GPU-*Graphical Processing Units*). Esto ha dado lugar, dentro del ML al DL, y se plantea el uso de Redes Neuronales Profundas (RNP-*Deep Neural Networks*) para realizar la segmentación semántica en imágenes para, a continuación, efectuar el análisis y posterior diagnóstico de las posturas de los bebés (117,118).

En resumen, las técnicas de DL son un subcampo de la IA que se centra en el entrenamiento de RNA para aprender y realizar tareas específicas. Estas redes están compuestas por capas múltiples (razón por la que se utiliza el término "profundo") que procesan y aprenden representaciones jerárquicas de los datos.

6.1. Aplicaciones prácticas de la IA en medicina

La IA está revolucionando la medicina, mejorando la eficiencia y precisión en el diagnóstico y tratamiento de pacientes abriendo el camino para mejorar la atención médica. Actualmente, se están desarrollando proyectos que investigan cómo la IA puede aplicarse en diversos aspectos del ámbito sanitario. Estos incluyen el ámbito asistencial, que abarca desde la prevención de enfermedades y

diagnóstico precoz hasta el diagnóstico, tratamiento y seguimiento (119), soporte y monitorización de pacientes (119–121). También se están explorando su utilidad en el campo de la docencia y formación continua de profesionales de la salud, en este sentido, ya que la IA puede crear escenarios virtuales de entrenamiento o el aprendizaje que recrea intervenciones reales con un nivel de realismo que refleja adecuadamente los riesgos involucrados. Por ejemplo, con la simulación de cirugías en el aprendizaje de estudiantes o residentes, también en la evaluación del progreso del estudiante o generando parámetros reales y objetivables para evaluar a los alumnos (122–124). Asimismo, el campo de la investigación se está beneficiando por la IA; por ejemplo, en investigaciones biomédicas o en la mayoría de las subcategorías de la IA aplicados a la medicina que están en continua actualización e investigación. Al mismo tiempo, la IA también puede mejorar la gestión de recursos, al analizar extensas bases de datos históricas, permitiendo predecir las necesidades específicas para aumentar la eficiencia y la productividad. Estos proyectos buscan la integración para optimizar y revolucionar la atención médica, la educación sanitaria, la investigación biomédica y la administración de recursos en salud (125).

Tal como describe Qiu et al. (126), los grandes modelos de IA, o modelos básicos, son modelos que han surgido recientemente con escalas masivas tanto en términos de parámetros como de datos, cuyas magnitudes pueden superar los miles de millones. Una vez entrenados previamente, los grandes modelos demuestran un rendimiento impresionante en diversas tareas posteriores. Un buen ejemplo es ChatGPT, cuya capacidad ha estimulado la imaginación sobre la influencia de gran alcance que pueden tener los grandes modelos de IA y su potencial para transformar diferentes ámbitos de nuestras vidas. En informática sanitaria, la llegada de grandes modelos de IA ha traído nuevos paradigmas para el diseño de metodologías. La escala de datos multimodales en el ámbito biomédico y de la salud ha estado en constante expansión, especialmente desde que la comunidad abrazó la era del DL, que proporciona la base para desarrollar, validar y avanzar grandes modelos de IA para lograr avances en áreas relacionadas con la salud. Este artículo (126) presenta una revisión exhaustiva de los grandes modelos de IA, desde los antecedentes hasta sus aplicaciones. Se identifican siete sectores clave en los que los grandes modelos de IA son aplicables y podrían tener una influencia sustancial: 1) bioinformática; 2) diagnóstico médico; 3) imágenes médicas; 4) informática médica; 5) educación médica; 6) salud pública; y 7) robótica médica. Hay que examinar sus desafíos, seguido de una discusión crítica sobre las posibles direcciones futuras y los peligros de los grandes modelos de IA en la transformación del campo de la informática de la salud. Todo ello con el foco puesto sobre el aprendizaje profundo, que tiene ventajas y desafíos a todos los niveles, pero puede ser de gran utilidad en el ámbito de la salud (127), siempre atendiendo, también a criterios éticos y deontológicos.

En 2021, la Organización Mundial de la Salud (OMS) emitió una guía sobre el uso de la IA en el sector salud (128), subrayando su enorme potencial en la salud pública y medicina. Aunque las preocupaciones éticas asociadas no son nuevas, esta tecnología introduce desafíos específicos. La OMS

subrayó la importancia de que el desarrollo de la IA en salud se realice con meticulosidad, tomando en cuenta la variedad de contextos socioeconómicos y sistemas de salud existentes. Resaltó también la necesidad de educación en competencias digitales, involucramiento comunitario y mayor conocimiento sobre la IA, junto con la urgencia de evitar y corregir sesgos perjudiciales en la IA que comprometan el acceso equitativo a los servicios de salud. Esto es crítico, ya que los sistemas de IA diseñados a partir de datos de países con altos ingresos podrían no ser efectivos o apropiados en entornos de bajos y medianos ingresos. La OMS aspira a que estos principios orienten a gobiernos, desarrolladores, compañías, sociedad civil y organismos internacionales hacia la adopción de prácticas éticas y adecuadas en la aplicación de la IA en la salud (129).

La IA tiene un amplio alcance de aplicación; y en el campo de la medicina sus funciones son muy diversas. La IA puede ayudar a los profesionales sanitarios a agilizar su labor profesional y así poder centrarse mejor en la atención al cuidado de la salud del paciente (107). Aunque la integración de la IA se encuentra en etapas iniciales, en el sector de la salud hay un creciente corpus de investigación que sugiere que la adopción de esta tecnología puede enriquecer significativamente las actividades sanitarias cotidianas, mejorando el diagnóstico, tratamiento y monitoreo de diversas patologías.

6.1.1. La inteligencia artificial como herramienta en el análisis postural

La capacidad de la IA para procesar y vislumbrar datos relacionados con la postura puede acarrear progresos reveladores en diversas áreas.

La ergonomía física ha surgido como una estrategia efectiva para abordar posibles problemas relacionados con las actividades laborales (130). Recientemente, en este campo, varios estudios han explorado el potencial de mejorar los métodos de análisis ergonómico mediante la combinación de inteligencia artificial y sensores portátiles. La revisión sistemática de Donisi et al. (131) busca resumir las investigaciones realizadas utilizando estos enfoques combinados hasta el año 2021. Al integrar información de sensores físicos (como IMU, acelerómetro, giroscopio) o sensores de biopotencial (EMG, EEG, EKG/ECG) con análisis utilizando sistemas de inteligencia artificial (aprendizaje automático o aprendizaje profundo), se abren perspectivas interesantes en términos de diagnóstico, pronóstico y prevención. Las señales capturadas por los sensores portátiles pueden procesarse para desarrollar algoritmos útiles en aplicaciones preventivas, especialmente para abordar trastornos musculoesqueléticos, con un alto grado de precisión. Estas aplicaciones no solo benefician a la ergonomía y la medicina laboral, sino que también contribuyen al entendimiento de los límites del cuerpo humano, facilitando la definición de umbrales de tolerancia y el diseño ergonómico de entornos de trabajo, herramientas y organizaciones. El crecimiento futuro de esta área de investigación se centra en perfeccionar los métodos de detección y procesamiento de señales, ampliar

el estudio a trabajadores con patologías o discapacidades, así como desarrollar sistemas de evaluación de riesgos más precisos y ágiles que los utilizados actualmente en ergonomía.

En el artículo de Ledwoń et al. (38) se destaca que la evaluación temprana del neurodesarrollo es fundamental para identificar posibles trastornos en el desarrollo infantil durante los primeros meses de vida, permitiendo la implementación oportuna de terapias adecuadas que mejoren las perspectivas de una función motora normal. Un elemento crítico en estas evaluaciones es la detección de asimetría postural. Tradicionalmente, los diagnósticos se han apoyado en evaluaciones cualitativas y juicios subjetivos de especialistas. Sin embargo, las tendencias modernas en el diagnóstico, asistido por tecnología, están explorando el uso de la inteligencia artificial para analizar videos de movimientos espontáneos infantiles, enfocándose especialmente en el movimiento de las extremidades. Ledwoń et al. (38) propusieron desarrollar un método automático, basado en técnicas de procesamiento de imágenes, para determinar la asimetría posicional de los bebés a partir de grabaciones de video. Este método permite obtener información cuantitativa sobre la preferencia posicional, una valiosa extensión del diagnóstico básico sin herramientas ni procedimientos adicionales. En combinación con un análisis del movimiento de las extremidades, puede constituir uno de los elementos de un novedoso sistema de diagnóstico infantil asistido por ordenador en el futuro.

Al reducir los tiempos de diagnóstico y mejorar la precisión de estos, la utilización de una herramienta que permita detectar el área de apoyo de un bebé puede tener un impacto significativo no solo en la salud y el bienestar de los lactantes sino también en la reducción de los costes socioeconómicos asociados a las secuelas de trastornos neuromotores. La detección temprana y la intervención oportuna pueden mitigar el impacto a largo plazo de estas condiciones.

En esta investigación se plantea el desarrollo de una herramienta avanzada, basada en IA, más específicamente, en técnicas de aprendizaje profundo para el análisis objetivo del análisis postural de los bebés de la muestra, donde las técnicas de aprendizaje profundo tengan un papel fundamental, con la colaboración entre expertos en ML y profesionales sanitarios especializados en pediatría.

RELEVANCIA CLÍNICA

IV. RELEVANCIA CLÍNICA

La falta de objetividad en la evaluación de la postura en las etapas tempranas del desarrollo motor resalta la necesidad de realizar una tesis como la descrita, sustentada en varias premisas clave que subrayan su relevancia y necesidad tanto en el ámbito clínico como en el de la investigación. Existe una brecha en el conocimiento actual ya que se identifica una carencia significativa en la objetividad dentro de la práctica clínica referente a las áreas de apoyo que un bebé utiliza en su primer año de vida. Esta falta de objetividad en la evaluación de las posturas en decúbito ventral y dorsal de los bebés representa un ámbito poco explorado que requiere una investigación detallada y sistemática.

Hasta la fecha, el análisis del desarrollo motor y la evaluación de la postura en los primeros meses de vida se ha basado principalmente en observaciones clínicas, métodos y escalas de evaluación que dependen en gran medida de la interpretación subjetiva de los profesionales sanitarios (38). Aunque estos métodos han proporcionado revelaciones muy significativas, se enfrentan a limitaciones en términos de consistencia y objetividad.

Identificar las zonas de apoyo habituales en bebés de 0 a 6 meses es crucial para detectar tempranamente asimetrías posturales, dado que este periodo representa la fase de mayor plasticidad neuronal, esencial para el posterior desarrollo neuromotor. Esto resalta la necesidad de realizar evaluaciones precisas y prematuras para detectar cualquier anomalía en el desarrollo motor y postural. Esta ausencia de precisión y objetividad en el análisis de la postura en bebés impulsa la introducción de tecnologías avanzadas y métodos cuantitativos, lo que representa una oportunidad para innovar y mejorar la precisión y fiabilidad de estas evaluaciones. En este contexto, el aprendizaje profundo emerge como una herramienta prometedora, capaz de transformar la manera en que se monitorea y evalúa el desarrollo postural en los bebés, ofreciendo una vía hacia análisis más objetivos y basada en evidencia cuantitativa.

La necesidad de detección temprana de trastornos del desarrollo motor es un hecho que provoca gran interés y preocupación dentro de la comunidad médica y científica, dado su impacto significativo en el bienestar y desarrollo futuro de los niños. Identificar estos trastornos en etapas iniciales permite la implementación de intervenciones, abordajes y terapias tempranas y específicas que pueden mejorar de manera sustancial las perspectivas de vida y desarrollo de los individuos implicados, reduciendo así las posibles limitaciones en su movilidad, habilidades motoras y calidad de vida en general, mejorando significativamente el pronóstico a largo plazo para los niños afectados. Este enfoque preventivo no sólo beneficia de manera directa a los niños y sus familias, sino que también contribuye a la optimización de recursos en los sistemas de salud, enfatizando la importancia de la investigación y el desarrollo de tecnologías avanzadas para el diagnóstico precoz.

La innovación tecnológica destaca en el campo de la salud pediátrica y representa un avance innovador, permitiendo análisis más detallados y automatizados de la postura que no eran posibles

antes. La posibilidad de desarrollar aplicaciones y dispositivos que utilicen el aprendizaje profundo para el monitoreo continuo y en tiempo real de la postura de los bebés en entornos domésticos y clínicos. La automatización del análisis de postura puede hacer que las evaluaciones sean más accesibles a una población más amplia, reduciendo la carga sobre los sistemas de salud y permitiendo un seguimiento más eficiente. Este estudio no solo avanza en el campo específico del análisis de la postura infantil, sino que también contribuye a la literatura sobre aplicaciones de aprendizaje profundo en la salud, demostrando la versatilidad y el potencial de estas tecnologías.

La IA puede jugar un papel crucial en el análisis postural en bebés, ofreciendo una herramienta avanzada para la detección temprana de retrasos en el neurodesarrollo. La IA permite contar con parámetros objetivables que facilitan la identificación de estos retrasos. Los sistemas de visión por computadora basados en aprendizaje profundo pueden capturar y analizar detalladamente los movimientos y posturas de los bebés. Estas tecnologías utilizan redes neuronales convolucionales para la segmentación semántica y la medición de patrones posturales, proporcionando métricas objetivas y precisas. Este análisis avanzado puede proporcionar a los profesionales sanitarios una herramienta con gran valor predictivo, esencial para la prevención en la detección temprana de retrasos motores o alteraciones de la coordinación central. Detectar y abordar estos problemas en los primeros meses de vida del lactante es de vital importancia para mitigar o reducir significativamente el progreso o aparición de un retraso en el desarrollo motor. Por ello, la investigación y desarrollo de tecnologías basadas en IA para la detección temprana tiene una enorme trascendencia en el ámbito de la salud infantil.

1. La importancia del diagnóstico temprano y la intervención precoz

La evaluación del desarrollo motor de bebés y niños es fundamental para aquellos que corren riesgo de sufrir un retraso en el desarrollo o cuyo desarrollo motor funcional vaya más lento; de esta manera, puede ser monitoreado y recibir terapia para mejorar su desarrollo futuro (132). La detección temprana de trastornos del desarrollo de diversas etiologías, que generalmente se diagnostican durante la infancia, es un desafío importante para los médicos y científicos de todas las disciplinas. Con el paso de los años, este campo se ha vuelto cada vez más complejo y ha incorporado nuevas perspectivas de desarrollo, clínicas y técnicas (133).

La importancia del diagnóstico precoz para determinar la integridad neurológica y el riesgo potencial de un desarrollo inadecuado, así como para emprender una posible intervención temprana fue investigado por Gajewska et al. (134) en su estudio titulado “La evaluación motora cualitativa permite predecir el grado de alteraciones motoras”. En él emplea evaluaciones motoras cuantitativas y cualitativas para observar y verificar la correcta realización de actividades motoras específicas en bebés. La evaluación cuantitativa consiste en la observación del desarrollo motor y proporciona

información sobre si un niño realiza una actividad motora o movimiento esperado en un período de vida determinado. La evaluación cualitativa del rendimiento motor verifica si una actividad específica se realiza correctamente. Dicho estudio tiene como objetivo demostrar la fiabilidad de la evaluación del desempeño motor para bebés a la edad de 6 meses y la evaluación de elementos cualitativos desde el tercer al sexto mes de vida. En el estudio, 173 bebés (76 femeninos y 97 masculinos) fueron evaluados por un neurólogo y un fisioterapeuta a los 6 y 9 meses, con un diagnóstico definitivo a los 16 meses, considerando también factores de riesgo que podían afectar el rendimiento motor. Los resultados mostraron alta conformidad entre las evaluaciones, indicando que los bebés con retrasos en el desarrollo o PC a los 6 meses no habían alcanzado aún las características cualitativas típicas del tercer mes de vida, ni un rendimiento adecuado para el sexto mes. La baja puntuación en el test de Apgar y la presencia de una hemorragia intraventricular afectaron al desarrollo motor a los 6 meses de edad. La ficha de evaluación del desarrollo motor del autor aplicada a la edad de 6 meses demostró ser una herramienta sensible con un buen valor predictivo para identificar problemas de desarrollo motor de manera temprana.

Como tal, la Academia Estadounidense de Pediatría (AAP) recomienda una vigilancia continua del desarrollo en todas las visitas de supervisión médica y una evaluación del desarrollo utilizando herramientas basadas en la evidencia. Sin embargo, la adopción de la detección del desarrollo en el ámbito de la Atención Primaria ha sido un desafío debido a una variedad de cuestiones que incluyen el tiempo y el coste de la administración, la falta de una herramienta de detección estándar y la preocupación sobre la efectividad de las herramientas disponibles (135). La AAP (136) recomienda la vigilancia y detección precoz del desarrollo para identificar a los niños con retrasos o discapacidades en el desarrollo, ayudar a garantizar intervenciones oportunas y mejorar los resultados.

Es importante destacar que la vigilancia del desarrollo es un proceso longitudinal que implica suscitar inquietudes, cumplimentar una historia clínica de desarrollo basada en el logro de hitos, examinar al niño y aplicar el juicio clínico durante las visitas de supervisión de salud. La evaluación del desarrollo implica el uso de herramientas de detección validadas en edades específicas que generalmente son realizadas por especialistas del desarrollo infantil, para evaluar y diagnosticar retrasos o discapacidades considerados en riesgo a través de un proceso de vigilancia y detección. La detección temprana del deterioro en el desarrollo neurológico, incluida la PC, sigue siendo un reto, tanto para los médicos asistenciales, como para los investigadores. La opinión general es que la identificación de los primeros síntomas (hasta los 3 meses de edad) de deterioro del desarrollo neurológico, incluida la PC, en bebés prematuros es extremadamente desafiante (137). Una revisión de los resultados de los estudios sobre el valor pronóstico de las herramientas de diagnóstico para el reconocimiento y pronóstico de deterioro del desarrollo neurológico en recién nacidos y lactantes menores de 6 meses indicó que la mayoría de las herramientas o escalas utilizadas para evaluar el desarrollo psicomotor de los lactantes prematuros aún carecen de claridad (46).

En este punto cabe recordar también que el diagnóstico temprano comienza con un historial médico e implica el uso de neuroimagen, evaluaciones neurológicas y motoras estandarizadas que indican hallazgos anormales congruentes indicativos de PC. Los médicos deben comprender la importancia de derivar rápidamente a una intervención temprana de diagnóstico específico para optimizar la plasticidad motora y cognitiva del bebé, prevenir complicaciones secundarias y mejorar el bienestar del cuidador (46).

Los autores Kniaziew-Gomoluch et al. (138) realizaron un año más tarde, en 2023, una revisión de los resultados de los estudios sobre el valor pronóstico de las herramientas de diagnóstico para el reconocimiento y pronóstico de deterioro del desarrollo neurológico en recién nacidos y lactantes menores de 6 meses. Ellos señalaron que la mayoría de las herramientas o escalas empleadas para evaluar el desarrollo psicomotor de los lactantes prematuros aún no están visiblemente definidas (46). Estos hallazgos mostraron que las herramientas con mayor validez predictiva para bebés de hasta 5 meses de edad (edad corregida) son: la neuroimagen con el uso de imágenes por resonancia magnética (MRI, sensibilidad 86–89%); la evaluación de movimientos generales de Prechtl (GMA, sensibilidad 98%), y el examen neurológico infantil de Hammersmith (HINE, sensibilidad 90%).

Actualmente se acepta que el enfoque clínico más basado en evidencia para la predicción del deterioro motor en bebés prematuros es la evaluación clínica basada en el análisis de la calidad de los movimientos generales (137,139). La presencia de este tipo de movimientos en el desarrollo motor de un niño son fuertes predictores de desarrollo psicomotor neurológicamente normal (140,141). Aunque un análisis de la calidad de los movimientos generales permite con alta confiabilidad, sensibilidad y especificidad predecir el progreso de un deterioro neurológico, incluida la PC, se basa en una evaluación visual subjetiva (140–143).

El diagnóstico de PC a menudo se retrasa hasta que el niño tiene más de 2 años. La identificación inicial de un problema de desarrollo durante la primera infancia es difícil, ya que los métodos de pruebas clínicas actuales no son muy específicos o sensibles y algunos síntomas neurológicos tempranos pueden ser transitorios y resolverse espontáneamente (144). Por otro lado, la intervención temprana se considera esencial para aprovechar la plasticidad del sistema nervioso del bebé para un desarrollo óptimo, es decir, la identificación temprana de bebés con retraso en el desarrollo motor, como los bebés con PC, permite una intervención terapéutica temprana por parte de los fisioterapeutas. Se cree que la intervención temprana produce mejores resultados debido a una mayor plasticidad neuronal en los bebés más pequeños (145). Por lo tanto, existe la necesidad de identificar un método cuantificable que evalúe los mecanismos del desarrollo del control postural en niños con problemas tempranos de control postural para por ejemplo conseguir la sedestación, describa e identifique los tipos de problemas a abordar en la intervención temprana y ayude a determinar la eficacia de la intervención temprana (146). El control postural insuficiente y la inestabilidad del tronco son preocupaciones graves en los niños con PC (147).

La postura infantil y el desarrollo de patrones motores normalmente se analizan mediante escalas de evaluación clínica. Últimamente, este enfoque se combina con el uso de sistemas basados en sensores, como sistemas de medición ópticos, inerciales y electromagnéticos, así como con novedosos dispositivos de evaluación, como *CareToy*, que es un dispositivo modular para la evaluación y rehabilitación y/o intervención temprana de bebés prematuros o con alto riesgo de PC, así como para medir o monitorear el comportamiento motor de bebés con daño cerebral, o describir un protocolo de intervención temprana en bebés con lesiones cerebrales congénitas.

Este dispositivo está compuesto por colchones de presión, unidades de medición magnéticas e inerciales y juguetes sensorizados. Dado que dicha combinación de sistemas de sensores integrados es nueva en el campo de la evaluación y rehabilitación del comportamiento infantil respaldada por sensores, se desarrollaron y presentaron métodos específicos para el análisis de datos. Estos comprenden la rotación del tronco, el movimiento del brazo, la orientación del antebrazo y el análisis del movimiento de la cabeza, junto con el juego con juguetes y la evaluación de la estabilidad de la postura del tronco. Los métodos se probaron con datos de estudios de casos, evaluando la idoneidad de los algoritmos desarrollados para el análisis de la postura y la actividad infantil, independientemente de las respuestas conductuales. Los resultados obtenidos demuestran la idoneidad de los métodos propuestos para su uso exitoso en estudios de diferentes subcampos de patrones motores. El análisis postural es esencial para evaluar los efectos de la intervención en la postura y el movimiento del bebé.

Se pueden utilizar sensores para registrar la postura del bebé durante las sesiones de entrenamiento (Figura 23 y 24), lo que proporciona información sobre el progreso del desarrollo motor y la eficacia de la intervención en este grupo específico de bebés. Esto representa un paso importante en el camino hacia una evaluación del desarrollo motor infantil objetiva, precisa y respaldada por sensores (56,148–155).

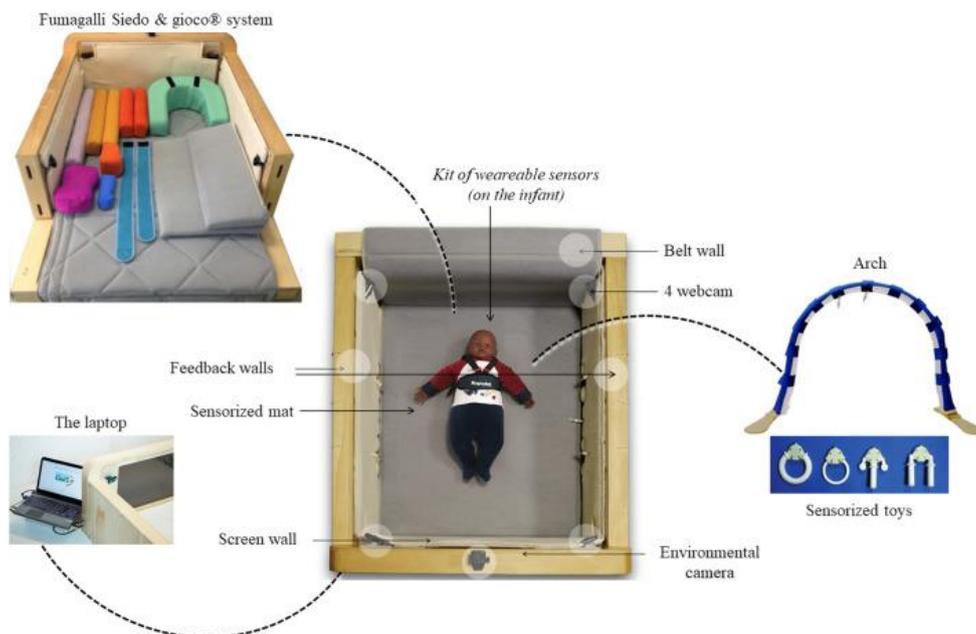


Figura 23. Descripción general de la plataforma *CareToy-R* y sus componentes (155).

Además, en la Figura 23 se muestra un ejemplo representativo de la colocación de un acelerómetro de tres ejes durante el estudio con las bandas personalizadas utilizadas como alojamiento para los sensores aplicados en el tronco y las muñecas (155).



Figura 24. Ejemplo representativo de la colocación de un acelerómetro (155).

Por otra parte, Rihar et al. (156) en 2014 también evaluaron la postura del tronco y el movimiento del brazo en bebés de 0 a 6 meses mediante el uso de un colchón de presión y unidades de medición magnética (IMUs) e inerciales, con el objetivo de valorar el desarrollo motor y la detección temprana de trastornos neurológicos. La relevancia del análisis postural radica en comprender el desarrollo motor y detectar posibles anomalías. Los resultados de la evaluación confirman que el conjunto completo de sensores, que incluye un colchón de presión y dos IMU por brazo, son fiables.

Los errores de los parámetros del patrón motor estaban por debajo del 10%. Aunque el uso de IMU únicamente en el antebrazo no proporciona la mejor precisión cinemática posible, la simplicidad de uso y la precisión aún aceptable fueron convincentes para su uso práctico. Las mediciones demostraron la alta movilidad y utilidad del sistema. Los resultados del estudio confirmaron la idoneidad del sistema de medición multisensor propuesto, lo que indicaba su gran potencial para una evaluación precisa de la postura del tronco y el movimiento del brazo del bebé. Así, utilizando estas herramientas, los investigadores pueden registrar y analizar la postura y los movimientos del bebé en diferentes situaciones, lo que proporciona información valiosa para comprender su desarrollo.

La evaluación temprana del rendimiento motor debería permitir no sólo la detección de alteraciones sino también crear un punto de partida para la terapia (84). Desafortunadamente, todavía falta un método comúnmente reconocido que debería combinar estos dos aspectos.

2. La relevancia de definir el desarrollo motor típico y el desarrollo motor atípico

Definir claramente un desarrollo motor típico y un desarrollo motor atípico es fundamental para establecer las variables del estudio, ya que proporciona un marco de referencia preciso para evaluar y comparar el progreso de los niños. Al tener criterios bien definidos se puede identificar de manera más efectiva cualquier desviación del desarrollo esperado, lo que permite detectar precozmente posibles problemas. Esto no sólo facilita el diseño de intervenciones adecuadas y oportunas para los niños con retrasos del desarrollo motor, sino que también mejora la comprensión de los hitos y la variabilidad de ese desarrollo, contribuyendo a un seguimiento más preciso y personalizado del crecimiento y la evolución motora de cada niño.

El desarrollo motor en la infancia temprana es un campo de estudio crucial que brinda información sobre el desarrollo neurológico y el progreso de los bebés. Dos investigaciones recientes abordan este tema desde diferentes perspectivas para comprender mejor las variaciones en los patrones de movimiento tanto en bebés con desarrollo típico, como atípico. El primer estudio (157) explora las diferencias en los movimientos de las piernas en decúbito dorsal entre bebés con desarrollo típico y aquellos con riesgo de retraso en el desarrollo. Por otro lado, el segundo estudio (158) se centra en las características del movimiento del centro de presión como predictor de las etapas normales del desarrollo utilizando herramientas cuantitativas y cualitativas para evaluar la actividad motora. Ambos estudios son fundamentales para identificar posibles intervenciones tempranas y mejorar las estrategias de diagnóstico y tratamiento en el campo del desarrollo infantil.

Existen otros estudios que, en conjunto, ofrecen una comprensión completa de cómo el desarrollo motor temprano y las conductas exploratorias están interconectados y cómo influyen en el crecimiento cognitivo y motor durante los primeros años de vida. El desarrollo motor temprano y su

influencia en el comportamiento exploratorio y cognitivo de los bebés ha sido objeto de diversos estudios recientes. Babik et al. (159) realizaron en 2022 un estudio que relacionó el desempeño de las conductas utilizadas para explorarse a uno mismo, con las conductas utilizadas para explorar objetos; y luego relacionó ambos tipos de conductas exploratorias con medidas motoras, lingüísticas y cognitivas, longitudinalmente desde los 3 hasta los 24 meses de edad, mediante un análisis secundario de un conjunto de datos existente. Los participantes fueron 52 niños (23 nacidos a término, 29 prematuros).

Los resultados que publicaron documentaban retrasos para los bebés prematuros en comparación con los bebés nacidos a término en cada evaluación. Los resultados actuales relacionaron el desempeño entre las evaluaciones a lo largo de los primeros 2 años de vida. Se demostró que las trayectorias de desarrollo de las conductas que los niños utilizaban para la autoexploración estaban estrechamente relacionadas con las trayectorias de las conductas que empleaban para explorar objetos. Por consiguiente, las trayectorias de las conductas de exploración del yo y de objetos se relacionaron significativamente con las trayectorias del desarrollo motor, lingüístico y cognitivo de los niños. Específicamente, se observaron relaciones significativas con el desarrollo global para el control cefálico en la autoexploración, el posicionamiento de la cabeza y las manos en la línea media, la apertura de las manos, así como para la sujeción bimanual orientada a objetos, la boca, la mirada, la manipulación y la transferencia de objetos. Estos resultados demostraron la continuidad entre las conductas exploratorias tempranas que los bebés realizan sólo con su cuerpo, las conductas exploratorias con objetos y su desarrollo global. Los hallazgos identificaron conductas específicas de autoexploración y de exploración de objetos que pueden servir como indicadores tempranos de retraso en el desarrollo y podrían ser objeto de intervenciones para mejorar los resultados motores, lingüísticos y cognitivos de los bebés con riesgo de retraso en el desarrollo.

3. La necesidad de ofrecer un dispositivo objetivo de análisis postural y motor

Por otro lado, Kniaziew-Gomoluch et al. (160) en 2022 realizaron una revisión de la literatura que indicó que el mayor valor pronóstico para predecir el deterioro motor en bebés de alto riesgo es la ausencia de movimientos de ajetreo (*fidgety*), que es uno de los periodos para los movimientos generales, a los 3 meses de edad posttérmino. El propósito del estudio fue caracterizar una nueva prueba posturométrica (PT) basada en un análisis de movimiento del centro de presión (CoP), en términos de diseño y validez de constructo, para la detección de alteraciones del control postural en bebés prematuros. Se realizaron comparativas entre lactantes prematuros que presentaron MF normales (18 participantes) y lactantes con MF ausentes (19 participantes), los cuales consistieron en el análisis de la trayectoria de la CoP y el área de la CoP en posición supina y prona utilizando la plataforma de fuerza. El nuevo PT se realizó simultáneamente con los GMA grabados utilizando una plataforma de fuerza.

Los análisis estadísticos revelaron diferencias significativas entre los grupos de bebés que presentaron un periodo *fidgety* ausentes y *fidgety* normales para casi todos los parámetros de CoP que describen el balanceo espontáneo en posición supina. Con base en estos resultados preliminares, se puede concluir que la aplicación de PT basada en el análisis de la trayectoria, el área y la velocidad de la CoP en posición supina ha demostrado ser válida para la detección de alteraciones del control postural en bebés.

La evaluación del desarrollo de bebés y niños pequeños por examinadores depende de su experiencia y puede ser subjetiva. Este riesgo se reduciría usando mediciones numéricas precisas obtenidas mediante tecnología informática. Pyzio-Kowalik et al. (54) investigaron de qué manera podían optimizar el diagnóstico clínico del desarrollo psicomotor en niños a través del uso de un podoscopio apoyado por tecnología informática. El objetivo del estudio fue evaluar digitalmente la incidencia y gravedad de la asimetría postural en bebés con trastorno de la coordinación central mediante el uso de un podoscopio asistido por computadora (que denominaron PodoBaby) de CQ Elektronik System.

En el estudio participó una muestra de 120 bebés con edades comprendidas entre 3 meses (± 1 semana) y 6 meses (± 1 semana), de los cuales 60 fueron diagnosticados con un trastorno de la coordinación central por un neurólogo mediante el método de Vojta y la mitad restante bebés sanos. También se definieron las relaciones entre el método de Vojta, como herramienta de diagnóstico clínico subjetiva para evaluar el desempeño funcional de bebés con trastorno de la coordinación central, y los resultados de asimetría postural registrados con el podoscopio. Cada bebé fue colocado en el podoscopio y fotografiado debajo en dos posiciones: primero en decúbito dorsal y después en decúbito ventral. Se utilizó un índice de simetría para calcular la asimetría corporal, es decir, la diferencia porcentual de postura corporal anormal al favorecer un lado del cuerpo sobre el otro. Los resultados confirmaron que la asimetría postural evaluada por PodoBaby coincidía con el diagnóstico clínico anterior utilizando el método de Vojta. También se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la asimetría postural entre los lactantes sanos y los lactantes con alteraciones de la coordinación central. Además, se demostraron relaciones significativas en la magnitud y dirección de la asimetría en las posiciones en decúbito ventral y dorsal. El enfoque de Pyzio-Kowalik et al. (54) busca contribuir a la identificación de métodos más objetivos para evaluar la asimetría postural en la infancia, con el fin de avanzar en el diagnóstico neurológico y mejorar la capacidad de monitorear los resultados terapéuticos. La investigación se centró en aplicar estos métodos computarizados para determinar la presencia y severidad de la asimetría postural en bebés con trastornos de coordinación central, comparándolos con bebés que no presentan estas condiciones.

Esta tesis doctoral surge de la necesidad de sistematizar de manera objetiva y automática el análisis de la postura en bebés, utilizando como herramienta la inteligencia artificial debido al rápido procesamiento que permite. La sistemática empleada en el campo de la valoración del recién nacido

agilizaría las valoraciones del desarrollo en los bebés, así como la prevención y detección de retrasos en el desarrollo motor y postural. Por ello, es importante la investigación sobre la postura en lactantes para evaluar el desarrollo motor de los bebés, así como para identificar posibles problemas que puedan requerir una intervención temprana.

Con el avance de las nuevas tecnologías se hace imprescindible adoptar herramientas de evaluación que permitan una valoración objetiva y eficiente del control postural, el cual, como se ha explicado, está estrechamente vinculado al desarrollo motor. Actualmente, el término de IA está de plena actualidad y su potencial expansión se centra en que permite una amplia gama de aplicaciones en el área de la medicina.

En las últimas décadas, la atención médica ha estado marcada por varios sucesos importantes: el aumento de la complejidad, los crecientes volúmenes de datos y el agotamiento de los profesionales de la salud. Las múltiples aplicaciones de la IA podrían ayudar en la resolución de estos problemas generando nuevos conocimientos, aumentando la capacidad computacional y reduciendo la carga de trabajo de los profesionales sanitarios (161).

El aprendizaje automático en pediatría y neonatología ya ha sido aplicado e investigado para mejorar la atención y el pronóstico de los pacientes, por ejemplo. En un estudio realizado por Matsushita et al. (162) se utilizó el aprendizaje automático en la identificación de distintos fenotipos en 215 bebés con extremadamente bajo peso al nacer, dado que la heterogeneidad de los pacientes es una causa de fracaso en los ensayos clínicos, demostrando que los algoritmos de aprendizaje automático pueden encontrar patrones dentro de un grupo heterogéneo, esto significa que no todos los bebés prematuros deben ser tratados de la misma manera. Otro ejemplo lo conforma Achenie LEK et al. (163) que utilizó las técnicas de aprendizaje profundo para la detección de autismo en niños pequeños; o Le et al. (164) utilizando un algoritmo basado en aprendizaje automático para predecir la sepsis grave pediátrica. Malerbi et al. (165) realizaron un comentario sobre el artículo de Matsushita et al. (161) en el que mostraban su conformidad sobre el enorme potencial de los sistemas de inteligencia artificial/aprendizaje profundo (AI/DL) para mejorar la atención sanitaria; no obstante Malerbi et al. considera que es importante la regulación legal de AI/DL, que involucran un diseño, validación, implementación y monitoreo posterior a la comercialización del sistema, mientras se toman medidas para evitar conjuntos de datos sesgados, por ello es necesaria más investigación sobre su seguridad y eficacia.

Para la estratificación del riesgo, las políticas regulatorias podrían inspirarse, por ejemplo, en la legislación existente sobre protección de datos. La regulación debe equilibrar las garantías de seguridad y el apoyo a las innovaciones y debe involucrar a todas las partes interesadas, garantizar adecuadamente la seguridad, eficacia y equidad de los sistemas implementados es un verdadero reto, por ello existe la propuesta de creación de la nueva especialidad médica de IA clínica que ayudaría a clarificar todos estos dilemas. La colaboración entre desarrolladores, expertos en ética, médicos,

pacientes y agencias reguladoras es esencial para la rápida adopción y la implementación exitosa de AI/DL en la salud, con un ingente potencial para optimizar la atención médica, acrecentar el acceso, disminuir el coste y fomentar la equidad. Las sociedades científicas y médicas deberían participar activamente en la formulación de mejores prácticas y en la validación prospectiva de los sistemas de IA.

Entre las herramientas de análisis de la postura se encuentran las técnicas de DL, que es uno de los campos más activos en el ámbito de la IA. Más concretamente, estas técnicas DL se centran en el entrenamiento de CNN para aprender y, posteriormente, realizar tareas específicas, como puede ser la segmentación semántica. Dentro del ámbito del procesamiento de imagen, este concepto se refiere a la capacidad de definir diferentes zonas en las imágenes (segmentar) de forma que estas tienen un significado o semántica (un niño, los apoyos, etc.). Estas redes están compuestas por múltiples capas que se van montando, creando profundidad (de ahí el término) que procesan, utilizando representaciones jerárquicas de los datos (166).

Se ha demostrado entonces que la identificación oportuna de disfunciones en el desarrollo neuromotor de los recién nacidos posibilita la realización de un diagnóstico clínico, temprano y preciso, que consigue, al mismo tiempo, una implementación precoz de estrategias de intervención que promuevan la plasticidad neuronal, estructural y funcional. Esto es clave, ya que las intervenciones tempranas son decisivas en el abordaje de retrasos o anomalías posturales o motoras; en especial en aquellos bebés que presenten factores de riesgo neurológico identificables en el nacimiento. La evaluación del análisis postural en bebés es un componente esencial para vigilar el desarrollo motor correspondiente a su edad y para detectar precozmente posibles problemas potenciales. La detección temprana facilita intervenciones oportunas que pueden tener un impacto significativo en la salud y calidad de vida del niño a largo plazo, así se pueden reducir las probabilidades de que se desarrollen condiciones que afecten el desempeño funcional de los niños, lo que permite mejorar el pronóstico funcional en aquellos casos donde el diagnóstico es tardío. Gracias al trabajo realizado, a la IA y a las redes neuronales, se puede “entrenar” a la máquina para, conociendo la postura normal, determinar la que no lo es.

Esto es clave en un campo, como el sanitario, donde la incorporación de tecnologías avanzadas es una constante. La gran evolución de maquinaria y aparatajes de última generación ha revolucionado múltiples aspectos de la prevención, la evaluación y el tratamiento. Se ve claro que los progresos tecnológicos, especialmente en el campo de la inteligencia artificial y el aprendizaje profundo, ofrecen nuevas herramientas para un análisis postural objetivo y eficiente. Las técnicas de aprendizaje profundo, como las redes neuronales convolucionales que hemos aplicado en el presente estudio, permiten la segmentación semántica en imágenes, proporcionando una valoración precisa y minuciosa del desarrollo postural y motor en bebés. Este método ofrece la posibilidad de identificar de manera precoz posibles retrasos y anormalidades, lo cual facilita la implementación de las pertinentes

intervenciones o abordajes terapéuticos. Analizando la postura de bebés de 0 a 6 meses en decúbito ventral y dorsal utilizando técnicas de aprendizaje profundo para determinar las áreas de apoyo durante los primeros dos trimestres de vida se consigue un beneficio palpable en el futuro diagnóstico y tratamiento en lactantes con alteraciones en su desarrollo motor.

Con este enfoque basado en segmentación semántica con DL, se pretende definir un procedimiento sistemático de valoración para la detección temprana de alteraciones en el desarrollo postural y motor. Para ello, se pretende desarrollar un sistema de procesamiento de imágenes en tiempo real, extraídas de videos del movimiento de los bebés, utilizando primero las técnicas de IA como las CNN para, posteriormente, considerar otras soluciones, como las técnicas de razonamiento automático. El fin último es desarrollar sistemas de ayuda en el análisis de la postura de los bebés.

El DL juega un papel vital en el campo de la visión artificial y dentro de él, en el análisis de imagen con aplicaciones en múltiples áreas. El DL tiene como objeto reproducir capacidades como la citada, segmentación semántica, o adicionalmente la clasificación de imagen. Para ello, se parte de un conjunto de datos o *DataSet*, constituido por múltiples imágenes, donde se encuentre la casuística completa de lo que se pretende aprender por la red neuronal. Esta se puede pensar como un procedimiento de cálculo distribuido que implementa los diferentes modelos matemáticos, que han de ser descubiertos y definidos sin intervención humana, pero que consiguen realizar la misma actividad que el ser humano o especialista. Los parámetros de estos modelos, denominados adaptativos pues se “adaptan” a los problemas concretos, se sintonizan, en lo que se define como etapa de aprendizaje utilizando un conjunto de datos de entrenamiento o *TrainingSet*.

En el caso de este estudio, el *TrainingSet* son pares de imagen e imagen interpretada. Normalmente es necesario un experto que utilice este *TrainingSet*, defina y establezca los hechos y su interpretación de forma manual. Con esta información se procede a realizar lo que se denomina proceso de aprendizaje o entrenamiento. Asimismo, se debe definir un proceso de validación que garantice el funcionamiento sobre cualquier otra imagen diferente a la utilizada en la fase de aprendizaje, esto es, conseguir que la red neuronal tenga capacidad de generalización (167).

Considerando esta evolución de las nuevas tecnologías de la IA, se plantea la necesidad de implementar un sistema de evaluación que nos permita valorar de manera objetiva y eficaz la postura en bebés para conocer el desarrollo motor de los recién nacidos, así como para identificar posibles problemas que puedan requerir una intervención temprana. La coordinación central es de vital importancia para paliar o reducir considerablemente el progreso o aparición de un retraso en el desarrollo motor, de ahí la enorme trascendencia de investigar en la detección temprana; en los primeros meses de vida del lactante. Por ello, contar con parámetros objetivables que permitan determinar retrasos en el neurodesarrollo proporcionaría a los profesionales sanitarios una herramienta con gran valor predictivo.

La confluencia de estos avances tecnológicos con la salud pediátrica ha abierto nuevas vías para el análisis detallado de la postura en bebés, un componente crítico para el seguimiento de su desarrollo neuromotor. La evaluación precisa de la postura en las primeras etapas de vida es esencial para la identificación temprana de posibles trastornos del desarrollo, permitiendo intervenciones oportunas que puedan marcar una diferencia significativa en la trayectoria del crecimiento de un niño. Este trabajo tiene como objetivo destacar los avances en métodos de análisis postural y su impacto en la comprensión y mejora del desarrollo motor infantil. Al hacer una inmersión en estas investigaciones relacionadas se pretende arrojar luz sobre las prácticas innovadoras y las soluciones tecnológicas que están redefiniendo la forma en que se monitorea el bienestar y la salud de los más pequeños.

En resumen, el fin de esta tesis se basa en la necesidad de estudiar de manera detallada la postura en bebés en los primeros meses de vida y paliar las limitaciones actuales en la práctica clínica mediante la introducción de herramientas innovadoras que permitan una comprensión más objetiva, cuantificable y precisa del desarrollo neuromotor infantil. Se trata de un proyecto completamente definido en el ámbito de la inteligencia artificial y su aplicación en el ámbito de la salud, algo plenamente de actualidad, mediante técnicas de aprendizaje profundo en la sistemática de análisis de la postura en bebés los dos primeros trimestres de vida. Una pequeña gran revolución.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

V. HIPÓTESIS

Hipótesis del estudio: Un algoritmo de aprendizaje automático podría detectar el área de apoyo en bebés con su desarrollo motor típico gracias a un entrenamiento previo.

VI. OBJETIVOS

El **objetivo principal** es conocer o determinar parámetros objetivables de valoración de la postura en lactantes de 0 a 6 meses mediante la IA.

Los **objetivos secundarios**:

- Determinar el progreso de los bebés con desarrollo motor típico.
- Conocer los apoyos empleados por los bebés sanos y con un desarrollo motor típico.
-
-
-

METODOLOGÍA

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se analizaron las variables sociodemográficas de los bebés y de sus madres, los datos fueron recogidos en un fichero Excel. Los resultados se expresaron como media \pm desviación estándar para las variables cuantitativas y como número y porcentaje para las variables cualitativas. Una vez realizado el análisis descriptivo de las variables, se realizó un análisis de correlación entre las mismas para determinar si existe algún dato predictivo del desarrollo motor del niño. Se utilizó el paquete estadístico SPSS v28 *software* (IBM Corporation, Armonk, NY, USA).

Para describir el progreso de los entrenamientos de las diferentes propuestas de red neuronal se utilizaron las gráficas de precisión (*accuracy*) y de pérdida (*loss*) de la red que están integradas en el propio entorno de Matlab. Finalizado el entrenamiento o aprendizaje, se evaluó la similaridad (*similarity*) entre la segmentación de las imágenes del *Ground-Truth* y la segmentación predicha resultante del modelo entrenado. Sobre las zonas de los apoyos del bebé en el cristal de la plataforma, se utilizaron las métricas de evaluación más extendidas del campo de *computer vision* y en MIS (*Medical Image Segmentation*), como son *Dice coefficient* y *Jaccard index* (IoU - *Intersection over Union*), así como otras más extendidas en la labor predictiva médica como precisión, *recall* (*sensitivity*), *accuracy* (*rand index*).

RESULTADOS

VIII. RESULTADOS

Para el reclutamiento de la muestra se seleccionaron un total de 26 lactantes, entrevistados, valorados y grabados desde el mes de enero de 2019 hasta septiembre de 2021. De cada bebé se obtuvieron un total de 2000 fotogramas (*frames*) de los movimientos, en los vídeos, suficientes para apreciar de forma completa los apoyos de los bebés y la caracterización de su comportamiento.

1. Resultados descriptivos demográficos de la historia clínica

La muestra estuvo formada por 26 bebés sin prematuridad. El 57,7% de los bebés fueron de sexo masculino. La edad cronológica media de la muestra fue de $3,16 \pm 1,52$ meses. La muestra tuvo un peso medio de $3,14 \pm 0,35$ kg y la talla media fue de $50,18 \pm 1,27$ cm. La edad gestacional media fue de $39,73 \pm 1,11$ semanas, estando muy próxima a la edad gestacional ideal de 40 semanas, oscilando entre las 38 y las 42 semanas. La edad media de la madre fue de $34,23 \pm 3,03$ años.

El porcentaje de bebés por edades fue el siguiente: 2 bebés (8%) eran menores de un mes, 4 bebés (15%) se encontraban entre 1 y 2 meses, 5 bebés (19%) tenían entre 2 y 3 meses, 6 bebés (23%) entre 3 y 4 meses, 6 bebés (23%) entre 4 y 5 meses y 3 bebés (12%) entre 5 y 6 meses. En el total de la muestra los bebés menores de 3 meses fueron de un 42%.

La puntuación de Apgar en el primer minuto fue de 9 para el 96,2% de la muestra, recibiendo una puntuación de 7 el resto de los bebés; y a los 5 minutos esta puntuación fue de 10 en el 92,3% de los bebés, recibiendo el resto una puntuación de 9.

El 80,8% de las madres eran primíparas y se trataba de su primer hijo. En el resto de las madres de la muestra se trataba de su segundo embarazo. En todas ellas, el embarazo fue intrauterino.

El parto fue normal sin complicaciones en el 65,4% de la muestra. Hubo 5 de los bebés (19,2%) que nacieron con ayuda de ventosas y 3 de ellos (11,5%) a los que hubo que practicar una cesárea de urgencia. Tan solo 1 niño (3,8%) nació a través de una cesárea programada. El líquido amniótico fue normal en el 85,4% de los partos.

El 46,2% de los bebés recibía lactancia materna, mientras que el 34,6 tenían lactancia artificial. El resto utilizaban la lactancia mixta. Todos los bebés, menos 1 (3,8%), succionaban bien y tan sólo 5 bebés (19,2%) habían sufrido episodios de atragantamiento.

El 23,1% de los bebés presentaban algún tipo de trastorno digestivo. Ninguno mostró tener estreñimiento. Se encontró reflujo fisiológico en 10 bebés de la muestra (38,5%) y acumulación de gases. El 80,8% de los bebés tenían un tránsito normal.

De los bebés de la muestra, 11 (42,3%) habían tenido cólico del lactante y, en su mayoría habían recibido tratamiento a través de probióticos (36,4%) o probióticos combinado con fisioterapia (45,5%).

Ninguno de los bebés había padecido bronquiolitis o conjuntivitis, ni tampoco tomaba medicación en el momento de la exploración. El 84,6% de la muestra señaló que había dormido bien la noche anterior y todos menos 1 había comido bien el día de la exploración. El 57,7% de la muestra señalaron utilizar el porteo.

La Tabla 14 muestra los resultados estadísticos descriptivos.

Tabla 14. Resultados estadísticos descriptivos.

Estadísticos descriptivos				
Resultados cuantitativos				
n=26	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Edad madre	27,00	38,00	34,2308	3,03721
Semanas embarazo – Edad gestacional	38	42	39,73	1,116
Edad cronológica	,23	5,76	3,1669	1,52088
Peso	2,520	3,700	3,14885	,354472
Talla	46,70	54,00	50,1808	1,27343
Resultados cualitativos				
n=26	Frecuencia		Porcentaje	
Sexo				
Masculino		15		57,7
Femenino		11		42,3
Apgar 1				
7		1		3,8
9		25		96,2
Apgar 2				
9		2		7,7
10		24		92,3
Número de embarazos				
1		21		80,8
2		5		19,2
Paridad				
Primípara		21		80,8
Secundípara		5		19,2
Tipo de parto				
Vaginal sin complicaciones		17		65,4
Ventosa		5		19,2
Cesárea programada		1		3,8
Cesárea de urgencia		3		11,5

Tabla 14. Resultados estadísticos descriptivos (continuación).

n=26	Frecuencia	Porcentaje
Líquido amniótico		
Normal	22	84,6
Meconio	4	15,4
Tipo de lactancia		
Materna	12	46,2
Mixta	5	19,2
Artificial	9	34,6
Succiona bien		
No	1	3,8
Si	25	96,2
Atragantamiento		
No	21	80,8
Si	5	19,2
Trastornos digestivos		
No	20	76,9
Si	6	23,1
Estreñimiento		
No	26	100
Reflujo		
No	16	61,5
Fisiológico	10	38,5
Acumulación de gases		
No	16	61,5
Si	10	38,5
Tránsito normal		
No	5	19,2
Si	21	80,8
Cólicos del lactante		
No	15	57,7
Si	11	42,3
Tratamiento		
No	1	9,1
Probiótico	4	36,4
Fisioterapia	1	9,1
Probiótico + Fisioterapia	5	45,5
Bronquiolitis		
No	26	100
Medicación		
No	26	100
Conjuntivitis		
No	26	100
Ha dormido bien		
No	4	15,4
Si	22	84,6
Ha comido bien		
No	1	3,8
Si	25	96,2
Porteo		
No	11	42,3
Si	15	57,7

2. Resultados de la valoración cinesiología

En la valoración funcional del niño (Tabla 15), se observó que, en decúbito dorsal o decúbito supino, el 61,5% eran capaces de mantener la cabeza en la línea media, el 38,5% tenían una alineación simétrica, el 92,3% presentaban captura foveal y el 96,2% presentaban un buen control del tono muscular.

Tabla 15. Valoración funcional en decúbito dorsal.

Decúbito supino (n=26)	Frecuencia	Porcentaje
Cabeza en línea media		
No	10	38,5
Si	16	61,5
Asimetrías		
No	10	38,5
Hacia la derecha	8	30,8
Hacia la izquierda	8	30,8
Captura foveal		
No	2	7,7
Si	24	92,3
Control del tono		
No	1	3,8
Si	25	96,2

En el decúbito ventral o decúbito prono (Tabla 16) se observó que el mismo porcentaje de bebés presentaba simetría postural. Sin embargo, se comprobó que había un porcentaje mayor de bebés con asimetría postural hacia la derecha, cambiando del 30,8% que había en el supino al 57,7% en prono. En cuanto al control del tono muscular, el porcentaje fue ligeramente inferior al supino con un 92,3% de los bebés de la muestra.

Tabla 16. Valoración funcional en decúbito ventral.

Decúbito prono (n=26)	Frecuencia	Porcentaje
Asimetrías		
No	10	38,5
Hacia la derecha	15	57,7
Hacia la izquierda	1	3,8
Control del tono		
No	2	7,7
Si	24	92,3

En relación con las alteraciones de la simetría, en decúbito supino hay 8 bebés (31%) mayores de 3 meses con asimetrías, 5 hacia la izquierda y 3 hacia la derecha. En prono hay 10 bebés (38%), de los que 9 son hacia la derecha y 1 hacia la izquierda.

En la Tabla 17 se muestran los resultados obtenidos al valorar los reflejos primitivos de los bebés de la muestra. En cada una se muestran los porcentajes en presencia o no del reflejo, ya que depende de la edad del niño. El único reflejo que se encontraba presente en todos los bebés fue el de prensión plantar en ambos pies, lo cual era de esperar ya que la edad a la que se integra es a partir de los 7 meses y en nuestra muestra ningún niño había alcanzado esta edad.

Al analizar reflejo por reflejo, se encontraron casos en los que los bebés no cumplían con los criterios de normalidad. 1 de los bebés no tenía el reflejo acústico facial después de un mes, y en el caso de los reflejos de Galant y la marcha automática se comprobó que 1 niño en cada uno de los reflejos no lo había integrado a la edad que le correspondía. Sin embargo, hay que señalar que ningún niño presentó más de un reflejo primitivo anormal.

Tabla 17. Valoración de los reflejos primitivos.

Reflejos primitivos (n=26)	Frecuencia	Porcentaje
Rossolimo		
Ausente	23	88,5
Presente	3	11,5
Búsqueda		
Ausente	14	53,8
Presente	12	46,2
Succión		
Ausente	10	38,5
Presente	16	61,5
Rooting		
Ausente	12	46,2
Presente	14	53,8
Babkin		
Ausente	24	92,3
Presente	2	7,7
Suprapúbico extensor		
Ausente	13	50,0
Presente	13	50,0
Extensor cruzado derecho		
Ausente	18	69,2
Presente	8	30,8
Extensor cruzado izquierdo		
Ausente	15	57,7
Presente	11	42,3
Galant		
Ausente	16	61,5
Presente	10	38,5
Marcha automática		
Ausente	14	53,8
Presente	12	46,2
Extensión primitiva tónica derecha		
Ausente	14	53,8
Presente	12	46,2
Extensión primitiva tónica izquierda		
Ausente	14	53,8
Presente	12	46,2
Prensión palmar derecha		
Ausente	4	15,4
Presente	22	84,6
Prensión palmar izquierda		
Ausente	4	15,4
Presente	22	84,6
Prensión plantar derecha		
Presente	26	100

Tabla 17. Valoración de los reflejos primitivos (continuación).

Reflejos primitivos (n=26)	Frecuencia	Porcentaje
Prensión plantar izquierda		
Presente	26	100
Reflejo de moro		
Ausente	10	38,5
Presente	16	61,5
Fenómeno ojos de muñeca		
Ausente	22	84,6
Presente	4	15,4
Acústico facial		
Ausente	2	7,7
Presente	24	92,3
Óptico facial		
Ausente	3	11,5
Presente	23	88,5
Talón palmar derecho		
Ausente	22	84,6
Presente	4	15,4
Talón palmar izquierdo		
Ausente	24	92,3
Presente	2	7,7
Talón plantar derecho		
Ausente	9	34,6
Presente	17	65,4
Talón plantar izquierdo		
Ausente	9	34,6
Presente	17	65,4

En cuanto a los ROT (reflejos osteotendinosos) se comprobó que todos estaban presentes en la totalidad de la muestra, a excepción del reflejo cutáneo abdominal, que solo se encontró presente en el 88,5% de la muestra.

Tabla 18. Valoración de los reflejos osteotendinosos.

ROT (n=26)	Frecuencia	Porcentaje
Bicipital derecho		
Presente	26	100
Bicipital izquierdo		
Presente	26	100
Rotuliano derecho		
Presente	26	100
Rotuliano izquierdo		
Presente	26	100
Femoro abdominal derecho		
Presente	26	100
Femoro abdominal izquierdo		
Presente	26	100
Cutáneo abdominal		
Ausente	3	11,5
Presente	23	88,5

En la evaluación de alteraciones ortopédicas las pruebas mostraron normalidad en todos los sujetos, a excepción de la antetorsión femoral izquierda que se encontró en 3 sujetos de la muestra (11,5%).

Tabla 19. Evaluación ortopédica.

Evaluación ortopédica (n=26)	Frecuencia	Porcentaje
Barlow		
Normal	26	100
Ortolani		
Normal	26	100
Antetorsión femoral derecha		
Normal	26	100
Antetorsión femoral izquierda		
Patológico	3	11,5
Normal	23	88,5

Todas las reacciones posturales evaluadas fueron normales excepto en uno de los bebés que presentó anormal la reacción de suspensión horizontal de Collis hacia el lado derecho.

Tabla 20. Valoración de las reacciones posturales.

Reacciones posturales (n=26)	Frecuencia	Porcentaje
Reacción tracción		
Normal	26	100
Reacción Landau		
Normal	26	100
Reacción suspensión axilar		
Normal	26	100
Reacción lateral Vojta derecha		
Normal	26	100
Reacción lateral Vojta izquierda		
Normal	26	100
Reacción horizontal Collis derecha		
Patológica	1	3,8
Normal	25	96,2
Reacción horizontal Collis izquierda		
Normal	26	100
Reacción Peiper-Isbert derecha		
Normal	26	100
Reacción Peiper-Isbert izquierda		
Normal	26	100
Reacción vertical Collis derecha		
Normal	26	100
Reacción vertical Collis izquierda		
Normal	26	100

En cuanto a los patrones de movimiento (Tabla 21), observados durante la valoración, se comprobó que el 53,8% de los bebés continuaban inestables en decúbito supino, mientras que, en prono, este porcentaje aumentaba al 76,9% de bebés que estaban inestables. Este porcentaje se corresponde con los bebés que aún mantenían un apoyo esternal y no habían alcanzado el apoyo sobre la zona umbilical.

Respecto a los patrones posturales alcanzados en supino, se comprobó que la mayoría de los bebés (65,4%) se encontraban en fase holocinética o distónica. Tan solo 9 bebés mostraron patrones ontogenéticos más desarrollados. En el decúbito prono, fueron 4 los bebés que habían conseguido patrones que implicaban el apoyo de codos o asimétrico sobre un solo codo. El resto de los bebés se encontraban en fases de apoyo de antebrazos o muñecas.

DISCUSIÓN

IX. DISCUSIÓN

Dada la importancia del control postural, la evaluación de la postura en bebés se convierte en un aspecto crucial dentro de la valoración del desarrollo motor. En esta evaluación, los profesionales sanitarios con formación en pediatría pueden identificar tempranamente posibles retrasos o anomalías en el desarrollo motor que podrían limitar la capacidad del niño para explorar su entorno de manera efectiva, eficaz y precoz. Esto, a su vez, podría tener implicaciones en otros ámbitos del desarrollo, como el cognitivo y el social. La detección temprana y precisa de la postura permite intervenir oportunamente con abordajes precoces que pueden mejorar no solo el desarrollo motor del bebé, sino también su interacción global con el entorno. Es crucial para garantizar que todos los niños dispongan de las mejores oportunidades para alcanzar su máximo potencial de desarrollo.

El enfoque de esta tesis tiene importantes implicaciones clínicas, ya que permite una evaluación objetiva y cuantitativa del desarrollo motor en bebés, lo que puede ayudar a identificar posibles problemas de desarrollo temprano y facilitar intervenciones más oportunas y precisas; todo ello gracias a la predicción de una IA previamente entrenada.

Nuestro estudio se ha enfocado en investigar sobre el desarrollo motor y postural de los bebés, especialmente, desde un enfoque hacia las áreas de apoyo que adquieren bebés de 0 a 6 meses sin patología. Revisando la literatura, la investigación de la postura en bebés se ha estudiado relacionando la postura con otros aspectos del desarrollo infantil, como la posición que tienen los bebés al dormir (49,50), principalmente comparando el desarrollo motor en bebés que duermen en posición ventral vs. dorsal (50) llegando a la conclusión de que los bebés que duermen en decúbito dorsal pueden presentar retrasos motores tempranos cuando ese tiempo está asociado a menos tiempo en decúbito ventral mientras están despiertos. Otro tema de investigación relacionado con la postura en edades tempranas es la preocupación por el síndrome de la muerte súbita del lactante (SMSL) (51–53), concluyendo que la posición de decúbito dorsal previene el SMSL.

También se ha estudiado la postura infantil desde el posicionamiento de los bebés y el trabajo respiratorio (60–62), la regulación cardiorrespiratoria y la posición en decúbito ventral y dorsal durante el sueño del recién nacido (180); y derivadas de esas investigación aparecen las recomendaciones de pasar tiempo en decúbito ventral cuando el bebé está despierto y su relación con las deformidades craneales como la plagiocefalia posicional (63,64). Con más especificidad, hay estudios del análisis de la postura infantil y el desarrollo de patrones motores mediante escalas de evaluación clínica, en concreto hay mayor volumen de publicaciones que estudian la posición en bebés prematuros (67).

El presente estudio centra la investigación en la postura de los bebés, sin relacionarlo con otros aspectos externos que puedan ser consecuencia o estar derivados de ella. Considerando que la postura es un indicador claro y directo del desarrollo motor, mediante su análisis detallado, se puede obtener una comprensión profunda de los mecanismos que influyen en el desarrollo infantil. Sin embargo,

aunque este estudio está centrado en el desarrollo motor, el análisis postural que se realiza podría ayudar a objetivar aspectos clave como los señalados anteriormente.

Esta investigación no sólo contribuirá al conocimiento científico, sino que también tendrá un impacto práctico en la identificación y manejo de problemas posturales desde una edad temprana. Con una metodología robusta y un enfoque longitudinal, se pretende establecer una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones en el campo de las profesiones sanitarias dedicadas al ámbito infantil, como la pediatría, rehabilitación pediátrica o la fisioterapia en el ámbito infantil.

1. La muestra del estudio

En el presente estudio de investigación, el rango de edad de los bebés es de 0 a 6 meses de edad, porque en la mayoría de los casos, a partir del tercer trimestre el lactante empieza a establecer la diferenciación de la función muscular para el volteo determinante para el futuro desarrollo motor y postural, lo que provocaría diferencias significativas entre los lactantes evaluados. El volteo se establece a partir del patrón global de la coordinación mano-mano que madura al final de 5º mes, la condición previa es que esté superada la fase de *split-brain*, lo que se muestra cuando el brazo pasa la línea media del cuerpo, y significa que puede activarse un hemisferio a través del campo visual del otro lado. Esta base postural es un requisito para que se pueda configurar de forma ideal los nuevos cambios posturales que darán lugar a los patrones de locomoción humana (26). Más allá de los 6 meses, aparecen patrones de diferenciación muscular que dificultarían el análisis de la postura en un periodo concreto de tiempo y se considera que, si el bebé sano adquiere compensaciones posturales, antes de los 6 meses se podrían tratar de manera más eficaz y eficiente ya que el bebé no ha desarrollado aún por su edad cronológica, patrones motores de desplazamiento autónomo como son la reptación o el gateo. Por todo esto, el rango de edad que hemos considerado para los bebés que conforman la muestra de nuestro estudio es de 0 a 6 meses porque estudiar a los bebés dentro de este rango de edad permite observar un periodo crítico de desarrollo motor y postural, minimizando las diferencias significativas que podrían surgir después de los 6 meses debido a la aparición de patrones de diferenciación muscular y locomoción autónoma.

Asimismo, toda la muestra se establece entre los 0 y 6 meses de edad porque según Hadders-Algra et al. (181) los 6 meses son un periodo crucial, debido a la variabilidad que presentan los niños durante su desarrollo, es normal que se consiga el control de la sinergia estabilizadora en torno a los 6 meses de edad. Por ello, estos primeros meses de vida son clave en el desarrollo del control postural y la siguiente consecución de los diversos hitos del desarrollo motor. En concreto, el primer nivel de control postural que alcanza un niño, que se ocupa de la generación de ajustes específicos de dirección, se consigue cuando el niño es capaz de voltear (181), algo que suele ocurrir en torno al medio año de vida.

En el total de la muestra los bebés menores de 3 meses fueron de un 42%. La mayoría de los bebés de la muestra fueron seleccionados en torno a los 3 meses de edad, esto fue determinado debido a que muchos autores como Hadders-Algra et al. (182), describen que la edad de 3 meses representa un hito crucial en el desarrollo motor y postural infantil ya que en este período se observa un cambio significativo en la actividad postural. A los 3 meses, los bebés pasan por un período transitorio donde escasos patrones posturales participan en la dinámica postural. Este es el inicio del desarrollo postural que comienza con un repertorio de ajustes en direcciones específicas, indicando que el nivel básico de control postural tiene un origen innato. Este período es una fase de variabilidad primaria, caracterizada por una actividad postural altamente variable y mínimamente adaptada a las limitaciones ambientales. De este modo, entender este período es fundamental para comprender cómo evolucionan y se estructuran los ajustes posturales más complejos que se desarrollan posteriormente.

De igual modo, la importancia de la edad de 3 meses se destaca en el artículo "*Motor Performance in the Third, Not the Second Month, Predicts Further Motor Development*" (183) al demostrar que el rendimiento motor en este momento es un predictor más sólido del desarrollo motor futuro en comparación con el rendimiento a los 2 meses. Por este motivo, en nuestra muestra, los bebés entre 1 y 2 meses representan menos porcentaje que los bebés que se encontraban entre 2 y 3 meses. Gajewska et al. (183), autor del estudio anteriormente mencionado, investigó en detalle el desarrollo de los bebés alrededor de los 3 meses de edad y sugiere que los avances y las habilidades motoras que emergen a los 3 meses tienen un impacto significativo en el desarrollo motor posterior. Esto subraya la relevancia de evaluar y fomentar el desarrollo motor en este período crítico, motivo por el cual se ha considerado esta edad al seleccionar la muestra evaluada.

Posteriormente, este mismo autor, es decir, Gajewska et al. (184) refuerza la importancia de la edad de 3 meses, mostrando que la posición de la pelvis en los bebés durante este mes puede predecir su desarrollo motor futuro. Este hallazgo sugiere que las posturas tempranas juegan un papel crucial en el desarrollo motor posterior. Por ejemplo, la posición adecuada de la escápula y la pelvis a los 3 meses en decúbito ventral es crucial para lograr un soporte adecuado en las extremidades superiores a los 6 meses, lo que influye en positivo en el desarrollo de las curvaturas fisiológicas y adecuadas de la columna vertebral. Más tarde, en 2021, este mismo autor (65) examinó cómo los elementos motores observados a los 3 meses de edad pueden influir en el rendimiento motor a los 6 meses. Se centra en la relación entre las habilidades motoras tempranas y el desarrollo posterior de habilidades motoras a una edad más avanzada, por ejemplo, en decúbito dorsal, el patrón motor más destacable es el giro de la posición de decúbito dorsal a decúbito ventral alrededor del 6º mes de vida, que influye positivamente en el desarrollo de las curvaturas fisiológicas y adecuadas de la columna vertebral. Otra de las conclusiones del estudio fue que, en decúbito ventral, la posición de la escápula y la pelvis en el 3^{er} mes de vida tuvo el mayor impacto para lograr un soporte adecuado en las

extremidades superiores en el 6º mes de vida. Por otro lado, la posición de la pelvis y las extremidades inferiores en el 3º mes de vida en decúbito dorsal influyó en todas las características observadas en decúbito ventral a la edad de 6 meses.

Gajewska et al. (84) también analizó cómo la valoración cualitativa adecuada del desarrollo motor a los 3 meses de edad, influía en la consecución de hitos motores posteriores, como la posición de gateo en el 7º mes de vida. El análisis se basó en valoración fisioterapéutica y neurológica y se realizó en el 3º, 7º y 9º mes de vida en niños, quienes se clasificaron según alcanzaran o no la posición de gateo al 7º mes. Los niños que no alcanzaron la posición de gateo en el 7º mes no mostraron elementos distales del rendimiento motor a la edad de 3 meses y, por lo tanto, lograron una suma más baja en la evaluación cualitativa. Esto corrobora aún más que la posición adecuada de la pelvis a la edad de 3 meses es muy importante para alcanzar la posición adecuada de gateo al 7º mes. No alcanzar la posición de gateo en el 7º mes retrasa el desarrollo motor adicional. Además, hay diferencias en torno al decúbito dorsal y al decúbito ventral, siendo el decúbito dorsal en el 3º mes más relacionado con lograr la posición de gateo que la evaluación en el decúbito ventral. Por ello, en nuestro estudio es importante valorar y diferenciar ambos decúbitos, el dorsal del ventral, para asegurar un adecuado desarrollo motor, postural y cognitivo integral.

Otro caso que subraya la importancia de los 3 meses y por ello la selección de nuestra muestra, es el estudio de Libertus et al. (185) al mostrar que el entrenamiento motor en este período afecta la exploración de objetos 12 meses después. Sus resultados sugieren que las experiencias de alcance activo a los 3 meses pueden iniciar una cascada de eventos que influyen en el desarrollo posterior, destacando que los bebés que experimentaron alcance activo mostraron una mayor exploración de objetos y habilidades de atención a los 15 meses de edad. Esto proporciona evidencia de los efectos a largo plazo de las habilidades motoras tempranas y su influencia en el desarrollo cognitivo y motor subsiguiente.

El desarrollo motor cuantitativo y cualitativo a partir del 3º mes de vida es un punto de partida en la evaluación y detección de retrasos del desarrollo motor como destaca Gajewska et al. (186) en 2022, quien destaca su papel en la consecución de hitos y como señal de alerta temprana en niños con riesgo de PC. En el estudio de Gajewska et al. (186) todos los niños fueron evaluados a los 3 meses de edad mediante una evaluación tanto cuantitativa como cualitativa, hecho similar a nuestro estudio, en el que se realizó una valoración cualitativa de los hitos del desarrollo alcanzados y una valoración cuantitativa con datos objetivos de las zonas de apoyo en decúbito ventral y dorsal a través de técnicas de ML. Los resultados mostraron que los niños que lograban la cuadrupedia y un apoyo simétrico a los 3 meses de edad presentaban un desarrollo adecuado a los 4 meses y medio, incluyendo la capacidad de arrastrarse y adoptar una posición de gateo. La evaluación cualitativa correcta a los 3 meses se correlacionó fuertemente con un desarrollo cuantitativo correcto en los meses siguientes (4 y medio, 7 y 12 meses). En contraste, una evaluación cualitativa muy baja a los 3 meses indicaba una alta

probabilidad de diagnóstico de PC a los 18 meses. Estos hallazgos resaltan de nuevo la importancia de la edad de 3 meses como un período crítico para la detección temprana y la intervención en el desarrollo motor infantil.

Por otro lado, nuestra muestra incluye bebés sin patología, dicha elección tiene varias justificaciones importantes y ventajas metodológicas. En primer lugar, centrarse en bebés sin patología permite obtener una comprensión más clara y controlada de las variables y mecanismos básicos en una población que no está influenciada por circunstancias clínicas preexistentes. Esto puede ayudar a establecer una línea de base más precisa sobre cómo las variables investigadas se aplican en condiciones normotípicas, proporcionando un punto de referencia esencial para futuras investigaciones. Asimismo, incluir a bebés sin patología simplifica el diseño del estudio y la interpretación de los resultados con el fin de aumentar la claridad y la precisión de los hallazgos, facilitando la identificación de patrones y tendencias que podrían ser más difíciles de discernir en una muestra más heterogénea. Por ello, se ha realizado lo mismo, en cuanto a trabajar con bebés sanos, que han hecho otros autores (38,156,158).

Establecer una comprensión sólida de los hallazgos y relaciones en esta muestra sin patología puede ser un primer paso estratégico en una línea de investigación más amplia con el objetivo de expandir su enfoque e incluir a niños con diversas patologías, comparando y contrastando los resultados para obtener una visión más completa y holística de los fenómenos estudiados.

2. Interpretación de los resultados descriptivos demográficos de la historia clínica

En los resultados descriptivos de la historia clínica pasada a las familias se determinaron una serie de variables o parámetros cruciales para comprender el desarrollo motor infantil. Los parámetros más destacables fueron los que se detallan a continuación.

2.1. La puntuación de Apgar

La puntuación de Apgar es una herramienta común para la evaluación del estado de salud en el período neonatal inmediato. Esta medida evalúa el estado de bienestar neonatal en función de la frecuencia cardíaca, la respiración, el color, el tono muscular y la irritabilidad refleja después del parto. Se evalúa de manera ubicua en todos los recién nacidos en todo el mundo y, por lo tanto, puede considerarse una fuente invaluable, si no óptima, de información sobre el estado neonatal inmediatamente después del nacimiento.

Nuestros resultados han mostrado que todos los bebés evaluados tuvieron una puntuación de Apgar adecuada, sin riesgo de sufrir alteraciones neurológicas. Esto habla sobre el desarrollo normotípico de nuestra muestra y de que contamos con bebés sin patología, ya que como varios

estudios han demostrado, una puntuación de Apgar baja se ve afectada por anoxia, infección, prematuridad, sedación materna o traumatismo (187–190) y está asociada con un mayor riesgo de sufrir varios trastornos neurológicos y psiquiátricos, incluida la PC y la discapacidad intelectual (191).

2.2. La lactancia y la succión

En nuestro estudio, la mayoría de los bebés recibían lactancia materna. Estos datos son importantes porque como destaca Mesquita Lopes (192) en su tesis, la lactancia materna exclusiva demostró tener un efecto protector que disminuía el riesgo de desarrollar hábitos de succión no nutritivos. Estos hallazgos subrayan la importancia de monitorear los hábitos de succión en los primeros años de vida y sugieren un posible beneficio protector de la lactancia materna exclusiva frente a la adopción de hábitos de succión no nutritivos que podrían llevar a problemas de maloclusión más adelante. Se identificó que los hábitos de succión no nutritivos, como el uso del chupete y la succión digital (succión del dedo), estaban significativamente relacionados con varias formas de maloclusión. En particular, la succión digital mostró una fuerte correlación con la presencia de mordida abierta anterior y otras alteraciones en la dimensión vertical, mientras que el uso del chupete se asoció con desviaciones en la línea media y problemas en las dimensiones transversales de la mandíbula. En cuanto a la lactancia, el estudio encontró que no había una relación significativa entre la lactancia materna exclusiva o el uso del biberón y el desarrollo de maloclusiones. Estas maloclusiones podrían afectar a la postura por tanto, su ausencia o presencia es una forma de conocer si hay un factor de riesgo para alteraciones o anomalías posturales.

Además, la mayoría de los bebés menos de 1 año succionaban bien. Por otro lado, pocos bebés habían sufrido episodios de atragantamiento. Esto es importante, ya que como investigó Renault (193), los trastornos de la succión-deglución pueden deberse a malformaciones, anomalías neurológicas o a retrasos en la maduración. La evaluación clínica es fundamental, por eso se ha tenido en cuenta en la historia clínica estos aspectos y hemos preguntado a las familias sobre ello, ya que la identificación de los trastornos de la succión-deglución del recién nacido y del lactante debe ser precoz para evitar complicaciones respiratorias y nutricionales.

2.3. Los trastornos digestivos

En cuanto a trastornos digestivos, sólo se encontró algún caso de reflujo gastroesofágico pero la mayoría tenían tránsito normal. Estos datos son importantes, pues en la práctica pediátrica, los trastornos funcionales y de la motilidad gastrointestinal son las quejas más comunes ante el gastroenterólogo pediátrico (194).

Uno de los problemas más comunes es el reflujo gastroesofágico que es muy significativo, como demuestra la investigación de Heine et al. (195) que analiza la relación entre el reflujo

gastroesofágico patológico y el llanto persistente, utilizando la monitorización de pH esofágico y un cuestionario de síntomas de reflujo. Su estudio mostró un mayor porcentaje de niños con reflujo patológico que el nuestro. A pesar de que destaca que hasta los 3 meses los niños tienen riesgo de padecerlo, ningún niño de nuestra muestra lo presentó. En nuestra investigación, ningún bebé tuvo reflujo gastroesofágico patológico, lo que es positivo pues según el estudio de Heine et al. (195), el 17.9% de los bebés tenían reflujo gastroesofágico patológico y dificultades de alimentación. El estudio concluye que la investigación y el tratamiento del reflujo gastroesofágico en lactantes con llanto persistente deberían enfocarse en aquellos lactantes con regurgitaciones frecuentes o dificultades en la alimentación, ya que la ausencia de estos problemas generalmente descarta la presencia de reflujo patológico, como sucede en nuestra muestra. Además, a pesar de que Heine et al. (195) determina que los menores de 3 meses tienen mayor riesgo de reflujo gastroesofágico patológico, los bebés de nuestro estudio menores de 3 meses no tuvieron reflujo gastroesofágico patológico.

2.4. El cólico del lactante

En relación con este elemento, casi la mitad de los bebés de nuestra muestra, habían sufrido cólico del lactante. En la literatura científica aparece que el cólico del lactante es un cuadro asociado a la inmadurez del bebé y caracterizado por la presencia de llanto inconsolable, dolor, gases, distensión abdominal y meteorismo, pero que no debe considerarse una enfermedad, cuya prevención es la estrategia sociosanitaria más potente (23). Según el estudio de Pérez-Moreno et al. (196) el cólico del lactante, es un evento fisiológico frecuente en niños sanos menores de 3 meses, como la edad que comprenden 11 de los bebés de la muestra de nuestro estudio; y a pesar de su historia natural benigna, en ocasiones requiere de un abordaje terapéutico. La mayoría de los bebés de nuestro estudio habían recibido tratamiento a través de probióticos o probióticos combinado con fisioterapia.

Los probióticos son una interesante opción terapéutica y preventiva de los cólicos del lactante, debido a la posible asociación entre las perturbaciones del microbiota intestinal y los trastornos gastrointestinales funcionales infantiles. Se han propuesto numerosas líneas terapéuticas, aunque su patogénesis sigue siendo desconocida y multifactorial. El microbiota intestinal juega un papel importante en los cólicos del lactante. Como determina Pärty et al. (197) hasta el momento, no se puede recomendar ninguna cepa, combinación de cepas o simbióticos para el tratamiento del síndrome del intestino irritable, el dolor abdominal funcional o el estreñimiento funcional en niños. Sin embargo, se puede considerar *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 para el tratamiento de los cólicos infantiles amamantados, mientras que los datos sobre otras cepas probióticas, mezclas de probióticos o simbióticos son limitados en los cólicos infantiles. La cepa probiótica *L. reuteri* DSM 17938, cuando se administra una vez al día a 10^8 ufc/día (significa que se administran 100 millones de unidades formadoras de colonias de la cepa probiótica *L. reuteri* DSM 17938 cada día), parece tener la mayor

evidencia científica hasta la fecha en el tratamiento del cólico del lactante, sin efectos secundarios significativos (196).

Además, en el artículo "*Comparison of common interventions for the treatment of infantile colic: a systematic review of reviews and guidelines*" (198) se evalúa la eficacia de cuatro tratamientos (terapia manual, probióticos, inhibidores de la bomba de protones y simeticona) sobre los síntomas del cólico infantil. Dichos tratamientos fueron elegidos por los padres de los bebés de la muestra de nuestro estudio que padecieron estas molestias. El objetivo de dicho artículo fue evaluar la eficacia de estos tratamientos en reducir el tiempo de llanto del bebé, mejorar el sueño y observar eventos adversos. Los resultados mostraron que los probióticos fueron los más efectivos para reducir el tiempo de llanto en bebés amamantados (reducción de 25 a 65 minutos en 24 horas), seguidos por la terapia manual, que demostró evidencia moderada a baja de efectividad en la reducción del tiempo de llanto (reducción de 33 a 76 minutos en 24 horas).

Las conclusiones indican que los probióticos presentaron la evidencia más sólida para tratar el cólico en bebés amamantados, seguidos por la terapia manual. Ambos tratamientos presentaron un bajo riesgo de eventos adversos graves. Las conclusiones de ese artículo resaltan la acertada decisión de las familias de los bebés incluidos en nuestra muestra de estudio, en la que la mayoría de ellos habían recibido tratamiento a través de probióticos o probióticos combinado con fisioterapia.

2.5. La bronquiolitis

Ninguno de los bebés estudiados había padecido bronquiolitis o conjuntivitis, ni tampoco tomaba medicación en el momento de la exploración. Realizamos esta pregunta en la historia clínica porque saber si un bebé ha tenido bronquiolitis es crucial ya que puede indicar una mayor susceptibilidad a futuros problemas respiratorios, como sibilancias o asma. Este antecedente permite a los profesionales sanitarios estar alerta ante complicaciones, evaluar el desarrollo pulmonar a lo largo del tiempo, y planificar cuidados preventivos adecuados. Además, conocer un episodio previo de bronquiolitis ayuda en la interpretación de síntomas respiratorios actuales y en la toma de decisiones sobre intervenciones preventivas, como vacunaciones durante periodos de riesgo; la presencia de enfermedades o periodos de hospitalización puede interferir con el desarrollo motor y, por tanto, podría también generar alteraciones posturales.

Es importante conocer si un bebé ha sufrido bronquiolitis porque es la principal causa de hospitalización en niños menores de un año, con epidemias anuales. Desde el inicio de la pandemia de enfermedad por coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19), ha habido un cambio en la transmisión de otros virus respiratorios. Durante 2020 y 2021, la temporada epidémica comenzó de enero a febrero y alcanzó su punto máximo en junio. La pandemia de COVID-19 modifica significativamente la estacionalidad de la bronquiolitis. En nuestro país, el flujo y distribución de la enfermedad no son

6. En futuras líneas de investigación

En futuras líneas de investigación se incluye la definición de medidas objetivables en patrones posturales, lo cual permitirá la incorporación de otras soluciones del campo de la IA para clasificar imágenes de bebés sanos. Entre estas medidas objetivables se podrán considerar el número de apoyos, el área del apoyo y su relación con el peso y la altura del bebé, la localización de los apoyos respecto al cuerpo y la relación entre las diferentes localizaciones de los apoyos. Como se ha señalado, con posterioridad se podrán realizar las mediciones necesarias y determinar sus relaciones morfológicas de forma automatizada para una correcta valoración y análisis postural y cinesiológico.

Asimismo, en futuras líneas de investigación se puede desarrollar un prototipo de análisis postural de bebés. Esta fase se caracteriza por la construcción de un dispositivo, de fácil instalación en un centro de fisioterapia especializado en pediatría, con el que poner en práctica los resultados obtenidos en las fases anteriores. La colaboración con el Centro de Fisioterapia Pediátrica y Neurológica Velázquez fue esencial para evaluar las prestaciones del prototipo desarrollado. Además, se puede plantear realizar unos parámetros dentro de los cuales se permita determinar el grado de desviación del desarrollo motor ideal de cada lactante, y establecer unos límites dentro de los cuales el niño debe ser derivado al profesional sanitario adecuado para una evaluación neurológica a partir de su comportamiento postural y motor. De esta forma, se puede conocer el grado de desviación de la normalidad, pudiendo sospechar de alguna anomalía y permitiendo que el profesional sanitario pueda realizar un juicio clínico o diagnóstico si es necesario, disminuyendo el tiempo que tarda en ser detectado con las ventajas cruciales que ello conlleva. Lo que se pretende implementando el modelo de aprendizaje profundo en todo este proceso es facilitar la toma de decisiones.

Como consecuencia, una de las posibles direcciones para investigaciones futuras derivadas de este estudio sería profundizar en la detección de anomalías en el desarrollo de los bebés en los primeros trimestres de vida, de esta manera se podría centrar en el desarrollo de modelos basados en esta segmentación que permitan describir patrones que indiquen un distanciamiento de la normalidad en el estudio cinesiológico. Esta herramienta no sólo busca facilitar el diagnóstico y la toma de decisiones clínicas sino, en un futuro, conseguir una detección temprana de alteraciones de la coordinación central o identificar anomalías de manera temprana y precisa, para realizar un abordaje temprano del recién nacido de riesgo y optimizar los tratamientos e intervenciones oportunas, mejorando así los resultados a largo plazo en la salud postural y motora en bebés con desarrollo atípico o patológico, así como la calidad de vida de los niños y, por ende, de sus familiares.

CONCLUSIONES

X. CONCLUSIONES

Se han identificado parámetros objetivables para evaluar la postura, lo que permite determinar los puntos de apoyo con alta precisión y un bajo margen de error, estableciendo criterios medibles que ayudan a evaluar cómo se posiciona el cuerpo del lactante, permitiendo así identificar con exactitud el área de apoyo de los bebés.

Asimismo, se ha determinado el progreso de los bebés con desarrollo motor típico utilizando técnicas de aprendizaje profundo. Se ha utilizado inteligencia artificial avanzada para analizar, observar y seguir el desarrollo motor de los bebés con desarrollo típico.

Además, se han identificado las áreas de apoyo empleadas por los bebés sanos con un desarrollo motor típico, de esta forma, se ha reconocido y registrado cómo y dónde se apoyan los bebés con un desarrollo normotípico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Shumway-Cook A, Woollacott M. Motor control. Translating research into clinical practice. 3.^a ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
2. Mosby. Diccionario médico de Mosby. 11.^a. Barcelona: Elsevier; 2014.
3. Kandell E, Schwartz J, Jessell T. Principios de neurociencia. Madrid, España: McGraw Hill; 2001.
4. Seidler RD, Bernard JA, Burutolu TB, Fling BW, Gordon MT, Gwin JT, et al. Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neurosci Biobehav Rev.* abril de 2010;34(5):721-33.
5. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing.* septiembre de 2006;35 Suppl 2:ii7-11.
6. Seco J. Sistema nervioso. Métodos, fisioterapia clínica y afecciones para fisioterapeutas. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2020.
7. Cano de la Cuerda R, Collado Vázquez S. Neurorrehabilitación. Métodos Específicos de Valoración y Tratamiento. 1.^a. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana; 2012.
8. Trew M, Everett T. Fundamentos del movimiento humano. Barcelona: Masson; 2006.
9. Shumway-Cook A, Woollacott MH. Control Motor. De la investigación a la práctica clínica. 5.^a Edición. Wolters Kluwer; 2019.
10. van Balen LC, Boxum AG, Dijkstra LJ, Hamer EG, Hielkema T, Reinders-Messelink HA, et al. Are postural adjustments during reaching related to walking development in typically developing infants and infants at risk of cerebral palsy? *Infant Behav Dev.* 1 de febrero de 2018;50:107-15.
11. Valentini NC, Pereira KRG, Chiquetti EMDS, Formiga CKMR, Linhares MBM. Motor trajectories of preterm and full-term infants in the first year of life. *Pediatr Int Off J Jpn Pediatr Soc.* octubre de 2019;61(10):967-77.
12. Fritzsche B. The Senses: A Comprehensive Reference. 2.^a edition. University of Iowa, Iowa City, United States: Elsevier; 2021.
13. Massion J. Postural control systems in developmental perspective. *Neurosci Biobehav Rev.* julio de 1998;22(4):465-72.

14. Duarte M, Freitas SMSF. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Rev Bras Fisioter Sao Carlos Sao Paulo Braz.* 2010;14(3):183-92.
15. Lobo MA, Kokkoni E, de Campos AC, Galloway JC. Not just playing around: infants' behaviors with objects reflect ability, constraints, and object properties. *Infant Behav Dev.* agosto de 2014;37(3):334-51.
16. Lima-Alvarez CD de, Tudella E, van der Kamp J, Savelsbergh GJP. Early development of head movements between birth and 4 months of age: a longitudinal study. *J Mot Behav.* 2014;46(6):415-22.
17. Adolph KE, Hoch JE. The Importance of Motor Skills for Development. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser.* 2020;95:136-44.
18. Dusing SC. Postural variability and sensorimotor development in infancy. *Dev Med Child Neurol.* marzo de 2016;58 Suppl 4:17-21.
19. Sánchez-González MC, Palomo-Carrión R, De-Hita-Cantalejo C, Romero-Galisteo RP, Gutiérrez-Sánchez E, Pinero-Pinto E. Visual system and motor development in children: a systematic review. *Acta Ophthalmol (Copenh).* noviembre de 2022;100(7):e1356-69.
20. Adolph KE, Franchak JM. The development of motor behavior. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci.* enero de 2017;8(1-2).
21. Real Academia Española. Postura. En: «Diccionario esencial de la lengua española» [Internet]. 23ª. Madrid, España; 2014 [citado 24 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.rae.es/drae2001/postura>
22. Hadders-Algra M, Heineman KR. Perfil del Desarrollo Motor del Bebé. *Infant Motor Profile (IMP).* Madrid, España: Editorial Médica Panamericana; 2023.
23. Rego Fernández F, Torró Ferrero G. Fisioterapia en Neonatología. La importancia del abordaje temprano en el recién nacido de riesgo. Primera. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana; 2021.
24. Kandel ER, Koester J, Mack S, Siegelbaum S, editores. *Principles of neural science.* Sixth edition. New York: McGraw Hill; 2021. 1646 p.
25. Lobo MA, Harbourne RT, Dusing SC, McCoy SW. Grounding Early Intervention: Physical Therapy Cannot Just Be About Motor Skills Anymore. *Phys Ther.* enero de 2013;93(1):94-103.

26. Václav V, Schweizer E. El descubrimiento de la motricidad ideal. Primera edición. Madrid: Editorial Morata S.L.; 2011. 279 p.
27. Bauer J. Das Gedächtnis des Körpers: Wie Beziehungen und Lebensstile unsere Gene steuern. Piper Taschenbuch; 2004. 272 páginas.
28. Chiang YC, Lin DC, Lee CY, Lee MC. Effects of parenting role and parent–child interaction on infant motor development in Taiwan Birth Cohort Study. *Early Hum Dev.* 1 de abril de 2015;91(4):259-64.
29. Calvo Arenillas JI. Et Itineratur. Universidad de Salamanca. En Salamanca; 2019.
30. Hadders-Algra M, Brogren Carlberg E. Development of postural control. *Postural control: A key issue in developmental disorders.* Mac Keith Press. 2008;22-79.
31. Hadders-Algra. Early human motor development: from variation to the ability to vary and adapt. *Neurosci Biobehav Rev* 90. :411-27.
32. Dusing SC, Kyvelidou A, Mercer VS, Stergiou N. Infants born preterm exhibit different patterns of center-of-pressure movement than infants born at full term. *Phys Ther.* diciembre de 2009;89(12):1354-62.
33. Campbell S. Measurement in Developmental Therapy: Past, Present, and Future. En 2020. p. 1-13.
34. Glascoe FP. Using parents' concerns to detect and address developmental and behavioral problems. *J Soc Pediatr Nurses JSPN.* 1999;4(1):24-35.
35. Williams J, Holmes CA. Improving the early detection of children with subtle developmental problems. *J Child Health Care Prof Work Child Hosp Community.* marzo de 2004;8(1):34-46.
36. Fernández Rego FJ, Torró Ferrero G. Fisioterapia en Atención Temprana. Una intervención dirigida al niño, la familia y el entorno. Primera. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana; 2024.
37. Levitt S, Addison A. Treatment of Cerebral Palsy and Motor Delay. 6ª edición. Wiley; 2018.
38. Ledwoń D, Danch-Wierzchowska M, Doroniewicz I, Kieszczyńska K, Affanasowicz A, Latos D, et al. Automated postural asymmetry assessment in infants neurodevelopmental evaluation using novel video-based features. *Comput Methods Programs Biomed.* mayo de 2023;233:107455.

39. Bosserman J, Kelkar S, LeBlond KD, Cassidy J, McCarty DB. Postural Control Measurements to Predict Future Motor Impairment in Preterm Infants: A Systematic Review. *Diagn Basel Switz*. 18 de noviembre de 2023;13(22):3473.
40. Airaksinen M, Taylor E, Gallen A, Ilén E, Saari A, Sankilampi U, et al. Charting infants' motor development at home using a wearable system: validation and comparison to physical growth charts. *EBioMedicine*. junio de 2023;92:104591.
41. Airaksinen M, Räsänen O, Ilén E, Häyrynen T, Kivi A, Marchi V, et al. Automatic Posture and Movement Tracking of Infants with Wearable Movement Sensors. *Sci Rep*. 13 de enero de 2020;10(1):169.
42. Hadders-Algra M. Early human brain development: Starring the subplate. *Neurosci Biobehav Rev*. septiembre de 2018;92:276-90.
43. Morgan C, Darrah J, Gordon AM, Harbourne R, Spittle A, Johnson R, et al. Effectiveness of motor interventions in infants with cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol*. septiembre de 2016;58(9):900-9.
44. Hadders-Algra M, Boxum AG, Hielkema T, Hamer EG. Effect of early intervention in infants at very high risk of cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol*. marzo de 2017;59(3):246-58.
45. Spittle A, Orton J, Anderson PJ, Boyd R, Doyle LW. Early developmental intervention programmes provided post hospital discharge to prevent motor and cognitive impairment in preterm infants. *Cochrane Database Syst Rev*. 24 de noviembre de 2015;2015(11):CD005495.
46. Novak I, Morgan C, Adde L, Blackman J, Boyd RN, Brunstrom-Hernandez J, et al. Early, Accurate Diagnosis and Early Intervention in Cerebral Palsy: Advances in Diagnosis and Treatment. *JAMA Pediatr*. 01 de 2017;171(9):897-907.
47. Albuquerque PL de, Lemos A, Guerra MQ de F, Eickmann SH. Accuracy of the Alberta Infant Motor Scale (AIMS) to detect developmental delay of gross motor skills in preterm infants: a systematic review. *Dev Neurorehabilitation*. febrero de 2015;18(1):15-21.
48. Fuentefria R do N, Silveira RC, Procianoy RS. Motor development of preterm infants assessed by the Alberta Infant Motor Scale: systematic review article. *J Pediatr (Rio J)*. 2017;93(4):328-42.
49. Pin T, Eldridge B, Galea MP. A review of the effects of sleep position, play position, and equipment use on motor development in infants. *Dev Med Child Neurol*. 2007;49(11):858-67.

50. Majnemer A, Barr RG. Association between sleep position and early motor development. *J Pediatr.* noviembre de 2006;149(5):623-9.
51. Dwyer T, Ponsonby AL. Sudden infant death syndrome and prone sleeping position. *Ann Epidemiol.* abril de 2009;19(4):245-9.
52. Moon RY, TASK FORCE ON SUDDEN INFANT DEATH SYNDROME. SIDS and Other Sleep-Related Infant Deaths: Evidence Base for 2016 Updated Recommendations for a Safe Infant Sleeping Environment. *Pediatrics.* noviembre de 2016;138(5):e20162940.
53. Jullien S. Sudden infant death syndrome prevention. *BMC Pediatr.* 8 de septiembre de 2021;21(Suppl 1):320.
54. Pyzio-Kowalik M, Wójtowicz D, Skrzek A. Assessing postural asymmetry with a podoscope in infants with Central Coordination Disturbance. *Res Dev Disabil.* 1 de mayo de 2013;34(5):1832-42.
55. Philippi H, Faldum A, Jung T, Bergmann H, Bauer K, Gross D, et al. Patterns of postural asymmetry in infants: a standardized video-based analysis. *Eur J Pediatr.* marzo de 2006;165(3):158-64.
56. Rihar A, Sgandurra G, Beani E, Cecchi F, Pašič J, Cioni G, et al. CareToy: Stimulation and Assessment of Preterm Infant's Activity Using a Novel Sensorized System. *Ann Biomed Eng.* 1 de diciembre de 2016;44(12):3593-605.
57. Jung MW, Landenberger M, Jung T, Lindenthal T, Philippi H. Vojta therapy and neurodevelopmental treatment in children with infantile postural asymmetry: a randomised controlled trial. *J Phys Ther Sci.* febrero de 2017;29(2):301-6.
58. Philippi H, Faldum A, Bergmann H, Jung T, Pabst B, Schleupen A. Idiopathic infantile asymmetry, proposal of a measurement scale. *Early Hum Dev.* noviembre de 2004;80(2):79-90.
59. Ellwood J, Ford M, Nicholson A. The association between infantile postural asymmetry and unsettled behaviour in babies. *Eur J Pediatr.* diciembre de 2017;176(12):1645-52.
60. Bhandari AP, Nnate DA, Vasanthan L, Konstantinidis M, Thompson J. Positioning for acute respiratory distress in hospitalised infants and children. *Cochrane Database Syst Rev.* 6 de junio de 2022;6(6):CD003645.

61. Louis D, Belen K, Farooqui M, Idiong N, Amer R, Hussain A, et al. Prone versus Supine Position for Lung Ultrasound in Neonates with Respiratory Distress. *Am J Perinatol*. enero de 2021;38(2):176-81.
62. Dimitriou G, Tsintoni A, Vervenioti A, Papakonstantinou D, Dassios T. Effect of prone and supine positioning on the diaphragmatic work of breathing in convalescent preterm infants. *Pediatr Pulmonol*. octubre de 2021;56(10):3258-64.
63. Hewitt L, Stanley RM, Okely AD. Correlates of tummy time in infants aged 0-12 months old: A systematic review. *Infant Behav Dev*. 2017;49:310-21.
64. Linz C, Kunz F, Böhm H, Schweitzer T. Positional Skull Deformities. *Dtsch Arzteblatt Int*. 7 de agosto de 2017;114(31-32):535-42.
65. Gajewska E, Moczko J, Kroll P, Naczka M, Naczka A, Sobieska M. How motor elements at 3 months influence motor performance at the age of 6 months. *Medicine (Baltimore)*. 22 de octubre de 2021;100(42):e27381.
66. Surowińska J, Sobieska M, Gajewska E. Qualitative assessment in the third month of life allows for a better prognosis of the achievement of motor milestones versus assessment of pathological reflexes- prospective studies on Polish children. *Front Public Health*. 2023;11:1253137.
67. Spittle AJ, Doyle LW, Boyd RN. A systematic review of the clinimetric properties of neuromotor assessments for preterm infants during the first year of life. *Dev Med Child Neurol*. abril de 2008;50(4):254-66.
68. Prosser LA, Aguirre MO, Zhao S, Bogen DK, Pierce SR, Nilan KA, et al. Infants at risk for physical disability may be identified by measures of postural control in supine. *Pediatr Res*. 1 de abril de 2022;91(5):1215-21.
69. Piaget J. *La construcción de la realidad en el niño*. 1ª. Buenos Aires: Ediciones Guadalupe; 1978.
70. Sá CDSC de, Boffino CC, Ramos RT, Tanaka C. Development of postural control and maturation of sensory systems in children of different ages a cross-sectional study. *Braz J Phys Ther*. febrero de 2018;22(1):70-6.
71. Kyvelidou A, Koss K, Wickstrom J, Needelman H, Fisher WW, DeVeney S. Postural control may drive the development of other domains in infancy. *Clin Biomech Bristol Avon*. febrero de 2021;82:105273.

72. LeBarton ES, Landa RJ. Infant motor skill predicts later expressive language and autism spectrum disorder diagnosis. *Infant Behav Dev.* 1 de febrero de 2019;54:37-47.
73. Levitt S. Tratamiento de la parálisis cerebral y del retraso motor. 5ª edición. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana; 2013.
74. Volpe J. *Volpe's Neurology of the Newborn*. 7th ed. Philadelphia: Elsevier; 2024.
75. Bayona-Prieto J, Leon-Sarmiento F, Bayona E. Neurología. En: *Neurorehabilitación*. 7ª edición. Medellín; 2009.
76. Martinez-Ferre A, Martinez S. The Development of the Thalamic Motor Learning Area Is Regulated by Fgf8 Expression. *J Neurosci.* 10 de octubre de 2009;29(42):13389.
77. Václav V. Alteraciones motoras cerebrales infantiles. Diagnóstico y tratamiento precoz. Tercera edición. Madrid: Ediciones Morata S.L.; 370 p.
78. Prof. Václav Vojta [Internet]. [citado 23 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.vojta.com/es/principio-vojta/profvvojta>
79. Sánchez de Muniaín, Pérez-López J, Brito de la Nuez A. Trastornos motores del desarrollo y atención temprana. En: *Manual de atención temprana*. Madrid, España: Ediciones Pirámide; 2004. p. 259-74.
80. Duncan K, Goodworth A, Da Costa CSN, Winger M, Saavedra S. Parent handling of typical infants varies segmentally across development of postural control. *Exp Brain Res.* 2018;236(3):645-54.
81. Vojta V, Peters A. *El Principio Vojta. Juegos musculares en la locomoción refleja y en la ontogénesis motora*. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 1995. 212 p.
82. Robson P. Prewalking locomotor movements and their use in predicting standing and walking. *Child Care Health Dev.* 1984;10(5):317-30.
83. Jeng SF, Yau KI, Liao HF, Chen LC, Chen PS. Prognostic factors for walking attainment in very low-birthweight preterm infants. *Early Hum Dev.* septiembre de 2000;59(3):159-73.
84. Gajewska E, Moczko J, Naczka M, Naczka A, Steinborn B, Winczewska-Wiktor A, et al. Crawl Position Depends on Specific Earlier Motor Skills. *J Clin Med.* 29 de noviembre de 2021;10(23):5605.

85. Garcés-Vieira M, Suárez-Escudero J. Neuroplasticidad: aspectos bioquímicos y neurofisiológicos. *Rev CES Med.* 2014;28:119-32.
86. Macías L, Fagoaga J. *Fisioterapia en Pediatría. 2ª.* Madrid, España: Editorial Médica Panamericana; 2018.
87. Elliot L. *Was geht da drinnen vor.* Berlin Verlag; 2001.
88. Gajewska E, Sobieska M, Moczko J, Kuklińska A, Laudańska-Krzemińska I, Osiński W. Independent reaching of the sitting position depends on the motor performance in the 3rd month of life. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2015;19(2):201-8.
89. Rochat P. Object manipulation and exploration in 2- to 5-month-old infants. *Dev Psychol.* 1989;25(6):871-84.
90. Bertenthal B, Von Hofsten C. Eye, head and trunk control: the foundation for manual development. *Neurosci Biobehav Rev.* julio de 1998;22(4):515-20.
91. Kobesova A, Kolar P. Developmental kinesiology: three levels of motor control in the assessment and treatment of the motor system. *J Bodyw Mov Ther.* enero de 2014;18(1):23-33.
92. Zafeiriou DI. Primitive reflexes and postural reactions in the neurodevelopmental examination. *Pediatr Neurol.* julio de 2004;31(1):1-8.
93. Banaszek G. Vojta's method as the early neurodevelopmental diagnosis and therapy concept. *Vol. 67.* 2010. 67–76 p.
94. Sadowska L. Vaclav Vojta's neurokinesiological concept for the diagnosis and therapy of children with disturbances of motor development. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2001;3(4):519-26.
95. Gajewska E, Samborski W. [Application of Vojta's method for early detection of developmental disturbances in very low birthweight infants with regard to Apgar score and asymmetric body positions]. *Ann Acad Med Stetin.* 2006;52 Suppl 2:101-4.
96. Ropper AH, Samuels MA, Klein JP. *Adams and Victor's Principles of Neurology.* 12th ed. Nueva York, EE.UU.: McGraw-Hill Education; 2023.
97. Bisbe Gutiérrez M, Santoyo Medina C, Segarra i Vidal VT. *Fisioterapia en Neurología. Procedimientos para restablecer la capacidad funcional. Primera.* Madrid, España: Editorial Médica Panamericana; 2018.

98. Cano de la Cuerda, R, Martínez Pidrola, RM, Miangolarra, JC. Control y Aprendizaje motor. Fundamentos, desarrollo y reeducación del movimiento humano. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana; 2017.
99. Escribano García C, Bachiller Carnicero L, Marín Urueña SI, Del Mar Montejo Vicente M, Izquierdo Caballero R, Morales Luengo F, et al. Developmental dysplasia of the hip: Beyond the screening. Physical exam is our pending subject. *An Pediatr.* octubre de 2021;95(4):240-5.
100. Zhang S, Doudoulakis KJ, Khurwal A, Sarraf KM. Developmental dysplasia of the hip. *Br J Hosp Med Lond Engl* 2005. 2 de julio de 2020;81(7):1-8.
101. Ruiz Sanz J, del Castillo Codes MD, Delgado Martínez AD. Ortopedia Infantil Práctica para Pediatras. 1ª. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana; 2017.
102. Baar A. Problemas rotacionales de las extremidades inferiores en niños y adolescentes. *Rev Médica Clínica Las Condes.* mayo de 2021;32(3):286-94.
103. Tecnología e Ingeniería 2º Bachillerato [Internet]. 1ª. 2023 [citado 22 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.mheducation.es/tecnologia-e-ingenieria-2-bachillerato-9788448639860-spain-group>
104. Real Academia Española. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. [citado 24 de abril de 2024]. inteligencia | Diccionario de la lengua española. Disponible en: <https://dle.rae.es/inteligencia>
105. Mintz Y, Brodie R. Introduction to artificial intelligence in medicine. *Minim Invasive Ther Allied Technol.* 4 de marzo de 2019;28(2):73-81.
106. Avila-Tomás JF, Mayer-Pujadas MA, Quesada-Varela VJ. [Artificial intelligence and its applications in medicine I: introductory background to AI and robotics]. *Aten Primaria.* diciembre de 2020;52(10):778-84.
107. Otero P. Will artificial intelligence shift the paradigm in pediatrics? *Arch Argent Pediatr.* 1 de diciembre de 2023;121(6):e202310090.
108. Mahoney MJ. Psicoterapia constructiva. Ediciones Paidós. Madrid; 2005.
109. Bishop CM. Pattern recognition and machine learning. New York: Springer; 2006. 738 p. (Information science and statistics).

110. Curto B, Moreno V, García-Esteban JA, Blanco FJ, González I, Vivar A, et al. Accurate Prediction of Sensory Attributes of Cheese Using Near-Infrared Spectroscopy Based on Artificial Neural Network. *Sensors*. enero de 2020;20(12):3566.
111. CUDA Toolkit. NVIDIA High Performance Computing (GPUs). NVIDIA. 2020; Disponible en: <https://developer.nvidia.com/cuda-zone>
112. Han L, Yu C, Xiao K, Zhao X. A New Method of Mixed Gas Identification Based on a Convolutional Neural Network for Time Series Classification. *Sensors*. 26 de abril de 2019;19(9):1960.
113. Goodfellow I, Bengio Y, Courville A. *Deep Learning*. 1º. Cambridge, Mass: The MIT Press; 2016. 800 p.
114. Sarmiento-Ramos JL. Aplicaciones de las redes neuronales y el deep learning a la ingeniería biomédica. *Rev UIS Ing*. 2020;19(4):1-18.
115. OpenWebinars.net [Internet]. 2023 [citado 5 de junio de 2024]. Qué son las redes neuronales y sus aplicaciones. Disponible en: <https://openwebinars.net/blog/que-son-las-redes-neuronales-y-sus-aplicaciones/>
116. Guo Y, Nie G, Gao W, Liao M. 2D Semantic Segmentation: Recent Developments and Future Directions. *Future Internet*. junio de 2023;15(6):205.
117. Li Z, Liu F, Yang W, Peng S, Zhou J. A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis, Applications, and Prospects. *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst*. diciembre de 2022;33(12):6999-7019.
118. Gibson E, Li W, Sudre C, Fidon L, Shakir DI, Wang G, et al. NiftyNet: a deep-learning platform for medical imaging. *Comput Methods Programs Biomed*. mayo de 2018;158:113-22.
119. Liang Q, Xu X, Ding S, Wu J, Huang M. Prediction of successful weaning from renal replacement therapy in critically ill patients based on machine learning. *Ren Fail*. 31 de diciembre de 2024;46(1):2319329.
120. Mendis L, Palaniswami M, Keenan E, Brownfoot F. Rapid detection of fetal compromise using input length invariant deep learning on fetal heart rate signals. *Sci Rep*. 1 de junio de 2024;14(1):12615.

121. Wang F, Pang R, Shi S, Zhang Y. Construction and validation of a clinical risk model based on machine learning for screening characteristic factors of lymphovascular space invasion in endometrial cancer. *Sci Rep.* 1 de junio de 2024;14(1):12624.
122. Beqari J, Seymour NE. Application of technology to educational needs in surgery. *J Surg Oncol.* agosto de 2021;124(2):181-92.
123. Winkler-Schwartz A, Bissonnette V, Mirchi N, Ponnudurai N, Yilmaz R, Ledwos N, et al. Artificial Intelligence in Medical Education: Best Practices Using Machine Learning to Assess Surgical Expertise in Virtual Reality Simulation. *J Surg Educ.* 2019;76(6):1681-90.
124. Sheikh AY, Fann JI. Artificial Intelligence: Can Information be Transformed into Intelligence in Surgical Education? *Thorac Surg Clin.* agosto de 2019;29(3):339-50.
125. Ávila-Tomás JF, Mayer-Pujadas MA, Quesada-Varela VJ. La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina II: importancia actual y aplicaciones prácticas. *Aten Primaria.* enero de 2021;53(1):81-8.
126. Qiu J, Li L, Sun J, Peng J, Shi P, Zhang R, et al. Large AI Models in Health Informatics: Applications, Challenges, and the Future. *IEEE J Biomed Health Inform.* diciembre de 2023;27(12):6074-87.
127. Ravi D, Wong C, Deligianni F, Berthelot M, Andreu-Perez J, Lo B, et al. Deep Learning for Health Informatics. *IEEE J Biomed Health Inform.* enero de 2017;21(1):4-21.
128. Ethics and governance of artificial intelligence for health [Internet]. Switzerland: World Health Organization; 2021 [citado 1 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240029200>
129. Vidal-Alaball J, Panadés Zafra R, Escalé-Besa A, Martínez-Millana A. The artificial intelligence revolution in primary care: Challenges, dilemmas and opportunities. *Aten Primaria.* febrero de 2024;56(2):102820.
130. Prisco G, Romano M, Esposito F, Cesarelli M, Santone A, Donisi L, et al. Capability of Machine Learning Algorithms to Classify Safe and Unsafe Postures during Weight Lifting Tasks Using Inertial Sensors. *Diagn Basel Switz.* 8 de marzo de 2024;14(6):576.
131. Donisi L, Cesarelli G, Pisani N, Ponsiglione AM, Ricciardi C, Capodaglio E. Wearable Sensors and Artificial Intelligence for Physical Ergonomics: A Systematic Review of Literature. *Diagn Basel Switz.* 5 de diciembre de 2022;12(12):3048.

132. Chandler LS, Terhorst L, Rogers JC, Holm MB. Movement Assessment of Children (MAC): validity, reliability, stability and sensitivity to change in typically developing children. *Child Care Health Dev.* julio de 2016;42(4):513-20.
133. Silva N, Zhang D, Kulvicius T, Gail A, Barreiros C, Lindstaedt S, et al. The future of General Movement Assessment: The role of computer vision and machine learning – A scoping review. *Res Dev Disabil.* marzo de 2021;110:103854.
134. Gajewska E, Sobieska M, Moczko J. Qualitative motor assessment allows to predict the degree of motor disturbances. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2014;18(17):2507-17.
135. Wilkinson CL, Wilkinson MJ, Lucarelli J, Fogler J, Becker RE, Huntington N. Quantitative evaluation of content and age concordance across developmental milestone checklists. *J Dev Behav Pediatr JDBP.* septiembre de 2019;40(7):511-8.
136. Zubler JM, Wiggins LD, Macias MM, Whitaker TM, Shaw JS, Squires JK, et al. Evidence-Informed Milestones for Developmental Surveillance Tools. *Pediatrics.* 1 de marzo de 2022;149(3):e2021052138.
137. Bosanquet M, Copeland L, Ware R, Boyd R. A systematic review of tests to predict cerebral palsy in young children. *Dev Med Child Neurol.* mayo de 2013;55(5):418-26.
138. Kniaziew-Gomoluch K, Szopa A, Łosień T, Siwiec J, Kidoń Z, Domagalska-Szopa M. Reliability and Repeatability of a Postural Control Test for Preterm Infants. *Int J Environ Res Public Health.* 19 de enero de 2023;20(3):1868.
139. Caesar R, Colditz PB, Cioni G, Boyd RN. Clinical tools used in young infants born very preterm to predict motor and cognitive delay (not cerebral palsy): a systematic review. *Dev Med Child Neurol.* abril de 2021;63(4):387-95.
140. Einspieler C, Prechtl HFR. Prechtl's assessment of general movements: a diagnostic tool for the functional assessment of the young nervous system. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev.* 2005;11(1):61-7.
141. Prechtl HF, Einspieler C, Cioni G, Bos AF, Ferrari F, Sontheimer D. An early marker for neurological deficits after perinatal brain lesions. *Lancet Lond Engl.* 10 de mayo de 1997;349(9062):1361-3.

142. Pires C da S, Marba STM, Caldas JP de S, Stopiglia M de CS. Predictive value of the general movements assessment in preterm infants: a meta-analysis. *Rev Paul Pediatr.* 8 de mayo de 2020;38:e2018286.
143. Robinson H, Hart D, Vollmer B. Predictive validity of a qualitative and quantitative Prechtl's General Movements Assessment at term age: Comparison between preterm infants and term infants with HIE. *Early Hum Dev.* octubre de 2021;161:105449.
144. Campbell SK. Decision making in pediatric neurologic physical therapy. [citado 8 de mayo de 2024]; Disponible en: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282268660529408>
145. Deffeyes JE, Kochi N, Harbourne RT, Kyvelidou A, Stuberger WA, Stergiou N. Nonlinear detrended fluctuation analysis of sitting center-of-pressure data as an early measure of motor development pathology in infants. *Nonlinear Dyn Psychol Life Sci.* octubre de 2009;13(4):351-68.
146. Kyvelidou A, Harbourne RT, Shostrom VK, Stergiou N. Reliability of center of pressure measures for assessing the development of sitting postural control in infants with or at risk of cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil.* octubre de 2010;91(10):1593-601.
147. Bertonecelli CM, Bertonecelli D, Bagui SS, Bagui SC, Costantini S, Solla F. Identifying Postural Instability in Children with Cerebral Palsy Using a Predictive Model: A Longitudinal Multicenter Study. *Diagnostics.* 20 de junio de 2023;13(12):2126.
148. Rihar A, Mihelj M, Pašič J, Sgandurra G, Cecchi F, Cioni G, et al. Infant posture and movement analysis using a sensor-supported gym with toys. *Med Biol Eng Comput.* febrero de 2019;57(2):427-39.
149. Sgandurra G, Bartalena L, Cecchi F, Cioni G, Giampietri M, Greisen G, et al. A pilot study on early home-based intervention through an intelligent baby gym (CareToy) in preterm infants. *Res Dev Disabil.* 2016;53-54:32-42.
150. Sgandurra G, Lorentzen J, Inguaggiato E, Bartalena L, Beani E, Cecchi F, et al. A randomized clinical trial in preterm infants on the effects of a home-based early intervention with the «CareToy System». *PLoS One.* 2017;12(3):e0173521.
151. Sgandurra G, Beani E, Giampietri M, Rizzi R, Cioni G, CareToy-R Consortium. Early intervention at home in infants with congenital brain lesion with CareToy revised: a RCT protocol. *BMC Pediatr.* 5 de septiembre de 2018;18(1):295.

152. Sgandurra G, Beani E, Inguaggiato E, Lorentzen J, Nielsen JB, Cioni G. Effects on Parental Stress of Early Home-Based CareToy Intervention in Low-Risk Preterm Infants. *Neural Plast.* 2019;2019:7517351.
153. Beani E, Menici V, Cecchi A, Cioni ML, Giampietri M, Rizzi R, et al. Feasibility Analysis of CareToy-Revised Early Intervention in Infants at High Risk for Cerebral Palsy. *Front Neurol.* 2020;11:601137.
154. Sgandurra G, Bartalena L, Cioni G, Greisen G, Herskind A, Inguaggiato E, et al. Home-based, early intervention with mechatronic toys for preterm infants at risk of neurodevelopmental disorders (CARETOY): a RCT protocol. *BMC Pediatr.* 15 de octubre de 2014;14:268.
155. Franchi De' Cavalieri M, Filogna S, Martini G, Beani E, Maselli M, Cianchetti M, et al. Wearable accelerometers for measuring and monitoring the motor behaviour of infants with brain damage during CareToy-Revised training. *J Neuroengineering Rehabil.* 6 de mayo de 2023;20(1):62.
156. Rihar A, Mihelj M, Pašič J, Kolar J, Munih M. Infant trunk posture and arm movement assessment using pressure mattress, inertial and magnetic measurement units (IMUs). *J Neuroengineering Rehabil.* 6 de septiembre de 2014;11:133.
157. Deng W, Vanderbilt DL, Smith BA. Differences in Spontaneous Leg Movement Patterns Between Infants With Typical Development and Infants at Risk for Developmental Delay: Cross-sectional Observation Prior to Sitting Onset. *J Mot Learn Dev.* 1 de junio de 2018;6(1):101-13.
158. Wang J, Siddicky SF, Johnson T, Kapil N, Majmudar B, Mannen EM. Supine lying center of pressure movement characteristics as a predictor of normal developmental stages in early infancy. *Technol Health Care Off J Eur Soc Eng Med.* 2022;30(1):43-9.
159. Babik I, Galloway JC, Lobo MA. Early exploration of one's own body, exploration of objects, and motor, language, and cognitive development relate dynamically across the first two years of life. *Dev Psychol.* febrero de 2022;58(2):222-35.
160. Kniaziew-Gomoluch K, Szopa A, Kidoń Z, Siwiec A, Domagalska-Szopa M. Design and Construct Validity of a Postural Control Test for Pre-Term Infants. *Diagn Basel Switz.* 29 de diciembre de 2022;13(1):96.
161. Matsushita FY, Krebs VLJ, de Carvalho WB. Artificial intelligence and machine learning in pediatrics and neonatology healthcare. *Rev Assoc Médica Bras.* 68(6):745-50.

162. Matsushita FY, Krebs VLJ, de Carvalho WB. Identifying clinical phenotypes in extremely low birth weight infants-an unsupervised machine learning approach. *Eur J Pediatr.* marzo de 2022;181(3):1085-97.
163. Achenie LEK, Scarpa A, Factor RS, Wang T, Robins DL, McCrickard DS. A Machine Learning Strategy for Autism Screening in Toddlers. *J Dev Behav Pediatr JDBP.* junio de 2019;40(5):369-76.
164. Le S, Hoffman J, Barton C, Fitzgerald JC, Allen A, Pellegrini E, et al. Pediatric Severe Sepsis Prediction Using Machine Learning. *Front Pediatr.* 11 de octubre de 2019;7:413.
165. Malerbi FK, Krakauer M, Schaan B. Comment on “Artificial intelligence and machine learning in pediatrics and neonatology healthcare”. *Rev Assoc Médica Bras.* 68(11):1496-7.
166. Paisitkriangkrai S, Sherrah J, Janney P, Hengel A. Effective semantic pixel labelling with convolutional networks and Conditional Random Fields. En 2015. p. 36-43.
167. Wang H, Wu X, Huang Z, Xing EP. High-Frequency Component Helps Explain the Generalization of Convolutional Neural Networks. En: 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) [Internet]. 2020 [citado 27 de febrero de 2024]. p. 8681-91. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9156428>
168. MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico [Internet]. [citado 19 de junio de 2024]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>
169. App Store [Internet]. 2023 [citado 25 de abril de 2024]. Artstudio Pro: Drawing App. Disponible en: <https://apps.apple.com/es/app/artstudio-pro-drawing-app/id1244142051>
170. Orth H. El niño en la terapia Vojta. Manual para acompañar a padres y terapeutas. Primera edición. Madrid: Ediciones Morata S.L.; 219 p.
171. Saponara S, Elhanashi A, Gagliardi A. Real-time video fire/smoke detection based on CNN in antifire surveillance systems. *J Real-Time Image Process.* 1 de junio de 2021;18(3):889-900.
172. Zheng Q, Shellikeri S, Huang H, Hwang M, Sze RW. Deep Learning Measurement of Leg Length Discrepancy in Children Based on Radiographs. *Radiology.* julio de 2020;296(1):152-8.
173. Russakovsky O, Deng J, Su H, Krause J, Satheesh S, Ma S, et al. ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. *Int J Comput Vis.* 1 de diciembre de 2015;115(3):211-52.

174. Han L, Yu C, Xiao K, Zhao X. A New Method of Mixed Gas Identification Based on a Convolutional Neural Network for Time Series Classification. *Sensors* [Internet]. mayo de 2019 [citado 19 de junio de 2024];19(9). Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6539079/>
175. Ayyar TM. A practical experiment for comparing LeNet, AlexNet, VGG and ResNet models with their advantages... [Internet]. Medium. 2020 [citado 19 de junio de 2024]. Disponible en: <https://tejasmohanayyar.medium.com/a-practical-experiment-for-comparing-lenet-alexnet-vgg-and-resnet-models-with-their-advantages-d932fb7c7d17>
176. Benbahria Z, Sebari I, Hajji H, SmiEj MF. Intelligent mapping of irrigated areas from Landsat 8 images using transfer learning. *Int J Eng Geosci*. 1 de febrero de 2021;6(1):40-50.
177. Long J, Shelhamer E, Darrell T. Fully convolutional networks for semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. IEEE; 2015: 3431–40.
178. Brostow GJ, Fauqueur J, Cipolla R. Semantic object classes in video: A high-definition ground truth database. *Pattern Recognit Lett*. 15 de enero de 2009;30(2):88-97.
179. Badrinarayanan V, Handa A, Cipolla R. SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Robust Semantic Pixel-Wise Labelling. *ArXiv* [Internet]. 27 de mayo de 2015 [citado 19 de junio de 2024]; Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/SegNet%3A-A-Deep-Convolutional-Encoder-Decoder-for-Badrinarayanan-Handa/6f9f143ec602aac743e07d092165b708fa8f1473>
180. Lucchini M, Fifer WP, Perez A, Signorini MG. Influence of sleep state and position on cardio-respiratory regulation in newborn babies. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc IEEE Eng Med Biol Soc Annu Int Conf*. 2015;2015:302-5.
181. Hadders-Algra M. Typical and atypical development of reaching and postural control in infancy. *Dev Med Child Neurol*. noviembre de 2013;55 Suppl 4:5-8.
182. Hadders-Algra M. Development of postural control during the first 18 months of life. *Neural Plast*. 2005;12(2-3):99-108; discussion 263-272.
183. Gajewska E, Barańska E, Sobieska M, Moczko J. Motor Performance in the Third, Not the Second Month, Predicts Further Motor Development. *J Mot Behav*. 4 de mayo de 2015;47(3):246-55.

184. Gajewska E, Sobieska M, Moczko J. Position of pelvis in the 3rd month of life predicts further motor development. *Hum Mov Sci.* junio de 2018;59:37-45.
185. Libertus K, Joh AS, Needham AW. Motor training at 3 months affects object exploration 12 months later. *Dev Sci.* 2016;19(6):1058-66.
186. Gajewska E, Naczki M, Naczki A, Sobieska M. Dynamics of changes in motor development depending on the quality in the 3rd month of life. *Front Public Health.* 2022;10:939195.
187. Hogan L, Ingemarsson I, Thorngren-Jerneck K, Herbst A. How often is a low 5-min Apgar score in term newborns due to asphyxia? *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* febrero de 2007;130(2):169-75.
188. Iliodromiti S, Mackay DF, Smith GCS, Pell JP, Nelson SM. Apgar score and the risk of cause-specific infant mortality: a population-based cohort study. *Lancet Lond Engl.* 15 de noviembre de 2014;384(9956):1749-55.
189. American Academy of Pediatrics Committee on Fetus and Newborn, American College of Obstetricians and Gynecologists Committee on Obstetric Practice. The Apgar Score. *Pediatrics.* octubre de 2015;136(4):819-22.
190. Lai S, Flatley C, Kumar S. Perinatal risk factors for low and moderate five-minute Apgar scores at term. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* marzo de 2017;210:251-6.
191. Modabbernia A, Sandin S, Gross R, Leonard H, Gissler M, Parner ET, et al. Apgar score and risk of autism. *Eur J Epidemiol.* 2019;34(2):105.
192. Lopes GM. La relación entre los diferentes tipos de lactancia materna, los hábitos de succión no nutritiva y la oclusión en un grupo de niños de 3 a 6 años de edad [Internet] [Ph.D. Thesis]. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). Universitat de Barcelona; 2017 [citado 15 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/461946>
193. Renault F. Trastornos de la succión-deglución del recién nacido y el lactante. *EMC - Pediatría.* 1 de febrero de 2012;47(1):1-7.
194. Arbizu R, Freiberg B, Rodriguez L. Lower Gastrointestinal Functional and Motility Disorders in Children. *Pediatr Clin North Am.* diciembre de 2021;68(6):1255-71.

195. Heine RG, Jordan B, Lubitz L, Meehan M, Catto-Smith AG. Clinical predictors of pathological gastro-oesophageal reflux in infants with persistent distress. *J Paediatr Child Health*. marzo de 2006;42(3):134-9.
196. Pérez-Moreno J, Taboada Castro L, Tolín Hernani M, Sánchez Sánchez C, Álvarez-Calatayud G. [Probiotics for the treatment of infant colic: a clinical case]. *Nutr Hosp*. 7 de febrero de 2015;31 Suppl 1:78-82.
197. Pärtty A, Rautava S, Kalliomäki M. Probiotics on Pediatric Functional Gastrointestinal Disorders. *Nutrients*. 29 de noviembre de 2018;10(12):1836.
198. Ellwood J, Draper-Rodi J, Carnes D. Comparison of common interventions for the treatment of infantile colic: a systematic review of reviews and guidelines. *BMJ Open*. 25 de febrero de 2020;10(2):e035405.
199. Molina Gutiérrez MÁ, Martínez Paz P, Montero Alonso M, Concheiro Guisan A, Villares Porto-Domínguez AI, Casero González M, et al. [Influencia de la pandemia de la COVID-19 en la distribución de la bronquiolitis aguda en España.]. *Rev Esp Salud Publica*. 25 de octubre de 2023;97:e202310089.
200. Horrillo-García C, Sánchez García L, Cintora-Sanz AM, González-León MJ, Chaya-Romero C, Quesada-Cubo V, et al. Bronchiolitis trends in out-of-hospital urgent care services in the Community of Madrid: Observational study, 2016-2023. *An Pediatr*. enero de 2024;100(1):3-12.
201. Leung AKC, Hon KL, Wong AHC, Wong AS. Bacterial Conjunctivitis in Childhood: Etiology, Clinical Manifestations, Diagnosis, and Management. *Recent Pat Inflamm Allergy Drug Discov*. 2018;12(2):120-7.
202. El porteo ergonómico | Pediatría integral [Internet]. 2015 [citado 18 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.pediatriaintegral.es/publicacion-2014-12/el-porteo-ergonomico/>
203. Hunziker UA, Barr RG. Increased carrying reduces infant crying: a randomized controlled trial. *Pediatrics*. mayo de 1986;77(5):641-8.
204. Pinzón Bernal MY, Salamanca Duque LM. Evaluación neuropediátrica funcional: Fundamentos y métodos de aplicación. Primera. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana; 2021.
205. Ranta J, Airaksinen M, Kirjavainen T, Vanhatalo S, Stevenson NJ. An Open Source Classifier for Bed Mattress Signal in Infant Sleep Monitoring. *Front Neurosci*. 2020;14:602852.

206. Airaksinen M, Vaaras E, Haataja L, Räsänen O, Vanhatalo S. Automatic assessment of infant carrying and holding using at-home wearable recordings. *Sci Rep.* 28 de febrero de 2024;14(1):4852.
207. Airaksinen M, Vanhatalo S, Räsänen O. Comparison of End-to-End Neural Network Architectures and Data Augmentation Methods for Automatic Infant Motility Assessment Using Wearable Sensors. *Sensors.* 6 de abril de 2023;23(7):3773.
208. Chen H, Xue M, Mei Z, Bambang Oetomo S, Chen W. A Review of Wearable Sensor Systems for Monitoring Body Movements of Neonates. *Sensors.* 14 de diciembre de 2016;16(12):2134.
209. Boonzaaijer M, van Wesel F, Nuysink J, Volman MJM, Jongmans MJ. A home-video method to assess infant gross motor development: parent perspectives on feasibility. *BMC Pediatr.* 29 de octubre de 2019;19(1):392.
210. Reich S, Zhang D, Kulvicius T, Bölte S, Nielsen-Saines K, Pokorny FB, et al. Novel AI driven approach to classify infant motor functions. *Sci Rep.* 10 de mayo de 2021;11(1):9888.
211. Letzkus L, Pulido JV, Adeyemo A, Baek S, Zanelli S. Machine learning approaches to evaluate infants' general movements in the writhing stage-a pilot study. *Sci Rep.* 24 de febrero de 2024;14(1):4522.
212. Antink CH, Ferreira JCM, Paul M, Lyra S, Heimann K, Karthik S, et al. Fast body part segmentation and tracking of neonatal video data using deep learning. *Med Biol Eng Comput.* 2020;58(12):3049-61.

ANEXOS

XII. ANEXOS

Anexo 1: Comité de Ética



El Comité de Ética de la Investigación de la Universidad de Salamanca, en su reunión ordinaria celebrada el 6 de julio de 2022, ha considerado las circunstancias que concurren en el proyecto de investigación titulado *"ANÁLISIS DE LA POSTURA EN BEBÉS DE 0 A 6 MESES EN DECÚBITO VENTRAL Y DORSAL A TRAVÉS DE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE PROFUNDO"*, que tiene como investigador/a principal a el/la Dr/a. Inés Llamas Ramos

A la vista de la documentación presentada, este Comité ha acordado **informar favorablemente** el proyecto de investigación con nº de registro 840, ya que cumple los requisitos éticos requeridos para su ejecución.

Y para que así conste lo firmo en Salamanca a 7 de julio de 2022

MUÑOZ DE LA
PASCUA LUIS JOSE -
DNI 31238752Z

Firmado digitalmente por MUÑOZ
DE LA PASCUA LUIS JOSE - DNI
31238752Z
Fecha: 2022.07.11 11:58:19 +02'00'

Firmado por CALVO ANDRES JOSE
JULIAN - 07793011J el día
11/07/2022 con un certificado
emitido por AC FNMT Usuarios

Fdo.: Luis Muñoz de la Pascua
Secretario del CBE

Fdo.: José Julián Calvo Andrés
Presidente del CBE

Anexo 2: Póster informativo del estudio de investigación



DOCTORADO PROGRAMA SALUD, DISCAPACIDAD, DEPENDENCIA Y BIENESTAR
DPTO. DE ENFERMERÍA Y FISIOTERAPIA
FACULTAD DE ENFERMERÍA Y FISIOTERAPIA.
Campus Miguel de Unamuno, Calle Donantes de Sangre, s/n, 37007. Salamanca.

ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

SI DESEA EVALUAR EL DESARROLLO MOTOR Y LA POSTURA DE SU BEBÉ
(DE ENTRE 0 Y 6 MESES) Y DESEA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

INFÓRMESE EN EL TELF. **669 40 27 62** o email **posturabebes@usal.es**



LUGAR: Centro de Fisioterapia Pediátrica y Neurológica Velázquez Iglesias
Calle del Licenciado Vidriera, n 35. CP 37006. SALAMANCA.

Anexo 3: Hoja informativa y de Protección de Datos Personales



**DOCTORADO SALUD, DISCAPACIDAD,
DEPENDENCIA Y BIENESTAR
D.T.O. DE ENFERMERÍA Y FISIOTERAPIA. FACULTAD DE
ENFERMERÍA Y FISIOTERAPIA**
Campus Miguel de Unamuno, Calle Donantes de Sangre, s/n, 37007 Salamanca

HOJA DE INFORMACIÓN A LOS PADRES O REPRESENTANTES LEGALES EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN MENORES O PERSONAS LEGALMENTE INCAPACITADAS.

“ESTUDIO DE LA POSTURA EN BEBÉS DE 0 A 6 MESES EN DECÚBITO SUPINO Y PRONO”

Estimado/a.....

Se le ha invitado a participar en un estudio de investigación porque su hijo/a se encuentra dentro de los grupos de bebés de 0 a 6 meses. Por favor, tómese el tiempo que necesite para leer la siguiente información y consultar lo que desee. Pregúntele al investigador de este estudio si hay algo que no le queda claro o si desea obtener más información.

El objetivo del estudio es determinar indicadores o parámetros objetivables de la postura que nos permitan diferenciar lo normal de lo patológico, para ello, se realizará una observación y valoración de una muestra determinada de lactantes de 0 a 6 meses para validar una herramienta de valoración objetiva.

Este estudio de investigación ha sido aprobado por el Comité de Bioética de la Investigación de la Universidad de Salamanca.

Mediante este documento, solicitamos su permiso para recoger información y toma de imágenes de su hijo/a sobre su valoración cinesiológica.

La citada investigación tendrá una duración aproximada de una hora y se realizará en la Facultad de Enfermería y Fisioterapia.

Usted puede decidir libremente si desea o no que su hijo/a forme parte en este estudio, la participación es totalmente voluntaria. Si decide participar, sigue teniendo la posibilidad de retirarse en cualquier momento y sin tener que dar explicaciones, y sin penalización alguna. Su decisión de retirarse no le afectará para nada. Cabe la posibilidad de que Ud. no se beneficie directamente de su participación en este estudio, pero estará colaborando en el desarrollo de nuevos sistemas de valoración de lactantes que ayudarán de forma muy importante en el diagnóstico y valoración precoz de lactantes en el periodo neonatal.

Toda la información sobre sus resultados durante este estudio se tratará de manera estrictamente confidencial y anónima. Los datos recogidos estarán identificados mediante un código y sólo el equipo investigador podrá relacionar dichos datos con el participante. El equipo investigador asume la responsabilidad en la protección de datos de carácter personal.

Si los resultados del estudio fueran susceptibles de publicación en revistas científicas, en ningún momento se proporcionarán datos personales de los participantes en esta investigación. Sus datos personales estarán protegidos de acuerdo a lo establecido en el artículo 5 de la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, así como del Reglamento (UE) 679/2016 General de Protección de Datos.

Podrá ejercer su derecho a acceder, rectificar o cancelar sus datos contactando con el investigador de este estudio, cuyos datos se especifican al final de este documento.

Le solicitamos que no comente las características de los procedimientos o los objetivos de esta valoración hasta que haya concluido toda la investigación.

Al final del estudio, si usted lo solicita, el equipo investigador le informará sobre los procedimientos, diseños, hipótesis, y/o los resultados globales de la investigación si están disponibles, de conformidad con el artículo 27 de la Ley 14/2007 de Investigación Biomédica.

Si tiene alguna duda respecto al estudio, no dude en dirigirse a los investigadores.

Agradeciendo su colaboración y participación, reciba un cordial saludo.

Datos de contacto del investigador principal

Dra. Inés Llamas Ramos. Dpto. De Enfermería y Fisioterapia.

Facultad de Enfermería y Fisioterapia. Universidad de Salamanca. Campus Miguel de Unamuno, Calle Donantes de Sangre, s/n, 37007 Salamanca.

Teléfono: 923294500 (Ext 1955). Email: inesllamas@usal.es

Anexo 4: Autorización del paciente para la toma y utilización de imágenes y vídeo



**DOCTORADO SALUD, DISCAPACIDAD,
DEPENDENCIA Y BIENESTAR
D.T.O. DE ENFERMERÍA Y FISIOTERAPIA. FACULTAD DE
ENFERMERÍA Y FISIOTERAPIA**
Campus Miguel de Unamuno, Calle Donantes de Sangre, s/n, 37007 Salamanca

AUTORIZACIÓN DE PACIENTE PARA TOMA Y UTILIZACIÓN DE SU IMAGEN EN FOTOGRAFÍA O VÍDEO CIENTÍFICO

D./Dña....., con DNI/ pasaporte nº....., mayor de edad, en calidad de paciente o, en caso de ser el paciente menor de edad o incapacitado, como padre/madre o representante legal del paciente....., tras haber sido informado, **doy mi consentimiento** para la obtención de mi imagen o, en su caso, la de mi representado, al **Programa de Doctorado de Salud, discapacidad, dependencia y bienestar de la Universidad de Salamanca** y a su utilización con fines **investigadores**. El tratamiento de las imágenes se hará con las medidas de seguridad adecuadas en cumplimiento de la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, así como del Reglamento (UE) 679/2016 General de Protección de Datos. Conozco y se me ha informado del derecho que asiste a todo enfermo de la confidencialidad de toda la información relacionada con su proceso, reconocido en la Ley General de Sanidad (Artículo 10.3, Ley 14/1986 de 25 de abril) y en la Ley de Autonomía del Paciente y de Información y Documentación Clínica (Caps. 1 y 3, Ley 41/ 2002 de 14 de noviembre).
Conozco mi derecho de acceso, rectificación y cancelación de mis datos, así como de revocar este consentimiento en cualquier momento sin necesidad de explicar la causa.
Y para que conste firmo el presente original

Salamanca, a _____ de _____ de _____

Fdo.: paciente / representante y/o tutor

De conformidad con lo establecido en la Ley Orgánica 3/2018 de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, así como del Reglamento (UE) 679/2016 General de Protección de Datos, le informamos que los datos personales que Vd. nos facilite, en base a su consentimiento, serán incorporados a las bases de datos del Programa de Doctorado de Salud, discapacidad, dependencia y bienestar de la Universidad de Salamanca, como responsable del tratamiento, y tratados automatizadamente o no con la finalidad de participar como paciente en la realización del plan de investigación "Estudio de la postura en bebés de 0 a 6 meses en decúbito supino y prono".

El titular autoriza expresamente a que sus datos sean utilizados con fines docentes, exclusivamente durante la vigencia del plan de investigación "Estudio de la postura en bebés de 0 a 6 meses en decúbito supino y prono" en el que están participando el investigador principal y doctorando de dicho proyecto.

Sus datos no serán cedidos, salvo obligación legal, y serán conservados durante el tiempo necesario para cumplir las finalidades del Estudio mientras esté vigente. Vd. podrá en cualquier momento ejercer los derechos de acceso, rectificación, supresión, oposición, limitación del tratamiento y portabilidad en los términos establecidos en la normativa señalada, dirigiéndose al Departamento de Enfermería y Fisioterapia, Facultad de Enfermería y Fisioterapia; con domicilio en Campus Miguel de Unamuno, Calle Donantes de Sangre, s/n, 37007 Salamanca. Asimismo, podrá formular en cualquier momento reclamación ante la autoridad de control.

Fecha:

Firma:

Firmado (NOMBRE / APELLIDOS)

DNI:

NOTA: En caso de que el paciente sea un menor el consentimiento será firmado por el padre y la madre o por el representante legal del mismo, indicando en este consentimiento los datos de los mismos y del menor.

Anexo 5: Historia clínica



DOCTORADO SALUD, DISCAPACIDAD, DEPENDENCIA Y BIENESTAR
DTO. DE ENFERMERÍA Y FISIOTERAPIA. FACULTAD DE ENFERMERÍA Y FISIOTERAPIA
Campus Miguel de Unamuno, Calle Donantes de Sangre, s/n, 37007 Salamanca

HISTORIA CLÍNICA

Fecha de valoración: / /

Nº de identificación (orden de valoración):

Lugar de recogida: Clínica de Fisioterapia Pediátrica y Neurológica. Velázquez. Fisiopediátrico.

DATOS DE CONTACTO DEL PADRE/MADRE O REPRESENTANTE LEGAL:

Nombre y apellidos: _____

Dirección: _____

Teléfonos: Fijo:

Móvil:

Correo electrónico: _____

DATOS PERSONALES DE LA MADRE

Nombre y apellidos: _____

Fecha de nacimiento: / /

Edad:

Número de embarazos: 1 2 3 >3

Antecedentes familiares relevantes: _____

Tipo de embarazo: Intrauterino Gemelar Ectópico (extrauterino)

De riesgo _____

Semanas de embarazo: _____

Observaciones embarazo (Ej. complicaciones):

Paridad: Primípara Secundípara Múltipara (>2)

Tipo de partos:

- Vaginal sin complicaciones
- Vaginal con complicaciones
- Vaginal instrumental:
- Ventosa Fórceps Espátulas Otros: _____
- Cesárea programada
- Cesárea de urgencia

Líquido amniótico:

- Normal
- Amarillento
- Meconio
- Rojo

Observaciones parto (Ej. complicaciones): _____

DATOS PERSONALES DEL LACTANTE

Nombre y apellidos: _____

Fecha de nacimiento: / /

Sexo: Masculino Femenino

Edad gestacional (semanas de embarazo): _____

Semanas de prematuridad: _____

Edad cronológica: _____

Edad corregida: _____

APGAR: /

Peso: _____

Talla: _____

Tipo de lactancia:

- Lactancia materna en exclusividad pecho. Lactancia materna pecho /biberón.
- Lactancia artificial. Lactancia mixta.

Succiona bien: Sí No

Atragantamiento: Sí No

Trastornos digestivos: Sí No

En caso afirmativo, citar: _____

Estreñimiento: Sí No

Reflujo: Sí No

Reflujo fisiológico (regurgitación) Reflujo Gastro- Esofágico (RGE)

Acumula gases: Sí No

Tránsito normal: Sí No

Cólicos del lactante: Sí No

Si ha sufrido cólicos del lactante:

Ha necesitado tratamiento médico (fármacos). Citar: _____

Ha necesitado tratamiento fisioterápico. Citar: _____

Se ha resuelto sin tratamiento.

Observaciones cólicos del lactante: _____

Trastornos respiratorios:

Bronquiolitis: Sí No

Otros procesos respiratorios: _____

En el momento actual:

Tiempo transcurrido desde la última vacuna: _____

Nota: Para realizar la valoración es necesario que hayan transcurrido al menos dos días desde la última vacuna.

¿Ha sufrido recientemente algún proceso patológico? Sí No

¿Por qué motivo? _____

¿En el momento actual está tomando alguna medicación? Sí No

¿Por qué motivo? _____

¿Ha sufrido recientemente alguna conjuntivitis? Sí No

Observaciones: _____

¿Hoy ha dormido bien? Sí No

Si la respuesta es no, ¿por qué motivo? _____

Se ha despertado: Hace < 1 h Hace 1 h Hace > 1 h

¿Hoy ha comido bien? Sí No

Si la respuesta es no, ¿por qué motivo? _____

Ha acabado de comer: Hace < 1 h Hace 1 h Hace > 1 h

Utilizan el porteo ergonómico: Sí No

ANTECEDENTES Y/O DATOS RELEVANTES:

Anexo 6: Valoración cinesiológica del desarrollo motor y postural



DOCTORADO SALUD, DISCAPACIDAD, DEPENDENCIA Y BIENESTAR
DTO. DE ENFERMERÍA Y FISIOTERAPIA. FACULTAD DE ENFERMERÍA Y FISIOTERAPIA
Campus Miguel de Unamuno, Calle Donantes de Sangre, s/n, 37007 Salamanca

VALORACIÓN CINESIOLÓGICA **CÓDIGO:** **EDAD:**

Exploración						
Postura en decúbito supino				Postura en decúbito prono		Reflejos patológicos
Cabeza en línea media	Asimetrías	Captura foveal	Control del tono	Asimetrías	Control del tono	Rossilimo
<input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí. Lado de la incurvación:	<input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí. Lado de la incurvación:	<input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente
Valoración de neuronas espejo:						
Observación de la postura:						

Mecanismos de desencadenamiento automático							
Reflejo de búsqueda		Reflejo de succión		Reflejo de rooting		Reflejo de Babkin	
<input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente							
Observaciones:							

1



DOCTORADO SALUD, DISCAPACIDAD, DEPENDENCIA Y BIENESTAR
DTO. DE ENFERMERÍA Y FISIOTERAPIA. FACULTAD DE ENFERMERÍA Y FISIOTERAPIA
Campus Miguel de Unamuno, Calle Donantes de Sangre, s/n, 37007 Salamanca

Reflejos primitivos							
Reflejos tónicos							
Reflejo extensor suprapúbico	Reflejo extensor cruzado		Reflejo de Galant		Marcha automática neonatal (automatismo de la marcha)		
<input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente	Derecha <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente	Izquierda <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente	<input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente	<input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente	<input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente		
Extensión primitiva tónica de la pierna			Reflejo de prensión palmar		Reflejo de prensión plantar		
Derecha <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente	Izquierda <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente		Derecha <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente	Izquierda <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente	Derecha <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente	Izquierda <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente	
Reflejo de Moro <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente		Fenómeno de los ojos de muñeca (reflejo tónico -vestibular) <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente		Reflejo acústico-facial (RAF) <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente		Reflejo óptico-facial (ROF) <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente	
Reflejo de talón palmar (reflejo de extensión fásica)			Reflejo de talón plantar (reflejo de extensión fásica)				
Derecho <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente	Izquierda <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente		Derecha <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente	Izquierda <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente			
Observaciones:							

2

Reflejos osteotendinosos (ROT)			
Reflejo bicipital (C5-C6)		Reflejo rotuliano o patelar (L2-L4)	
Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
<input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente			
Observaciones:			

Reflejos superficiales			
Reflejo cutáneo- abdominal (D7-D12)		Reflejo fémoro-abdominal o abdomino-crural (D12-L1)	
		Derecha	Izquierda
<input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Ausente			
Observaciones:			

Valoración de la displasia de cadera		Valoración de la antetorsión femoral	
Maniobra de Barlow	Maniobra de Ortolani	Derecha	Izquierda
<input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Patológico			
Observaciones:		Observaciones:	

3

Reacciones posturales en la cinesiología del desarrollo							
Reacción a la tracción (RT)		Reacción de Landau (RL)		Reacción a la suspensión axilar (RSA)			
<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Patológico	<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Patológico	<input type="checkbox"/> Normal		<input type="checkbox"/> Patológico	
Reacción a la pérdida de equilibrio lateral de Vojta (RLV)		Reacción a la suspensión lateral horizontal de Collis (RHC)		Reacción a la suspensión vertical de Peipert e Isbert (RPI)		Reacción a la suspensión vertical de Collis (RVC)	
Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Normal
<input type="checkbox"/> Patológico	<input type="checkbox"/> Patológico	<input type="checkbox"/> Patológico	<input type="checkbox"/> Patológico	<input type="checkbox"/> Patológico	<input type="checkbox"/> Patológico	<input type="checkbox"/> Patológico	<input type="checkbox"/> Patológico
Observaciones:							

4

Logros motores					
Decúbito supino		Decúbito prono			Volteo
<input type="checkbox"/> Estable <input type="checkbox"/> Inestable	<input type="checkbox"/> F. holocinética <input type="checkbox"/> F. distónica <input type="checkbox"/> Coordinación mano-mano. <input type="checkbox"/> Presión manual. <input type="checkbox"/> Presión manual lateral.	<input type="checkbox"/> Estable <input type="checkbox"/> Inestable	<input type="checkbox"/> Apoyo en zona esternal. <input type="checkbox"/> Apoyo en zona umbilical. <input type="checkbox"/> Apoyo en sínfisis púbica. <input type="checkbox"/> Apoyo caudal hacia lateral. <input type="checkbox"/> Apoyo caudal hacia pelvis.	Es capaz de pasar MMSS: <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí: <input type="checkbox"/> Pasa solo MS derecho. <input type="checkbox"/> Pasa solo MS izquierdo.	<input type="checkbox"/> No configurado. <input type="checkbox"/> Configuración y formación del volteo de decúbito supino a decúbito prono. <input type="checkbox"/> Decúbito lateral inestable. <input type="checkbox"/> Decúbito lateral estable. <input type="checkbox"/> Volteo coordinado del decúbito prono al supino desde decúbito lateral estable.
Pasa la línea media: <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí		Función de apoyo de la extremidad superior <input type="checkbox"/> Talones de la mano. <input type="checkbox"/> Antebrazos. <input type="checkbox"/> Simétrico en codos. <input type="checkbox"/> Asimétrico en el codo. <input type="checkbox"/> Simétrico en ambas manos abiertas.			
Observaciones:					

