

Desarrollo de soluciones de formación innovadoras en el campo de la evaluación funcional dirigidas a la actualización de los planes de estudio de las escuelas de ciencias de la salud



Módulo Biomecánica de Columna

Unidad Didáctica B

Alteraciones biomecánicas de la columna



ÍNDICE

1. OBJETIVOS	2
2. BIOMECÁNICA DE LAS PRINCIPALES LESIONES DE LA COLUMNA CERVICAL	3
2.1 Lesiones de la columna cervical superior	3
2.1.1. Fractura de los cóndilos del hueso occipital	4
2.1.2 Luxación Atlantooccipital	6
2.1.3. Fractura del Atlas	7
2.1.4. Luxación Atlantoaxial	8
2.1.5. Fracturas del Axis	9
2.2 Lesiones de la columna cervical inferior	10
2.2.1 Fracturas por estallido	10
2.2.2 Fractura de Teardrop (en lágrima)	11
2.2.3 Fractura por hendidura sagital media	11
2.2.4 Disrupción de las articulaciones facetarias	11
2.2.5 Fractura de apófisis espinosa	11
2.2.6 Síndrome asociado a latigazo cervical Whiplash-associated disorder	12
3. BIOMECÁNICA DE LAS PRINCIPALES LESIONES DE LA COLUMNA TORÁCICA Y LUMBAR	15
3.1 Fracturas de platillo/placa vertebral (superficie)	15
3.2 Fracturas por estallido	15
3.3 Fracturas en cuña	16
3.4 Lesiones por cinturón de seguridad	17
4. CONSIDERACIONES BIOMECÁNICAS RELACIONADAS A LAS INTERVENCIONES DE COLUMNA	18
4.1 Intervenciones de columna cervical superior	18
4.2 Intervenciones de la columna cervical inferior	19
4.3 Intervenciones torácicas y lumbares	20
5. IDEAS CLAVE	22
6. REFERENCES	23

1. Objetivos

En esta unidad didáctica, el alumno se familiarizará con los aspectos teóricos de la biomecánica de diferentes segmentos de la columna de acuerdo con las principales patologías y posibles intervenciones quirúrgicas y procedimientos de tratamiento.

Los objetivos de esta Unidad Didáctica son:

1. Conocer la biomecánica de las principales patologías de la columna cervical, torácica y lumbosacra.
2. Conocer la biomecánica relacionada con las técnicas conservadoras y el tratamiento de las principales patologías de la columna.
3. Conocer la biomecánica relacionada con la intervención quirúrgica de las principales patologías de la columna.

2. Biomecánica de las principales lesiones de la columna cervical

Existe una variedad de patrones de lesiones reproducibles según la dirección y la magnitud de la fuerza aplicada al segmento más alto de la columna. La flexión (y flexión lateral), extensión, compresión, cizallamiento y rotación (Figura 1) son las fuerzas externas primarias que se pueden aplicar a la columna cervical. Debido a la función de este segmento en sí (posicionar la cabeza mientras se mantiene la estabilidad y se protege la médula espinal), las lesiones de la columna cervical pueden variar desde lesiones leves hasta potencialmente mortales.

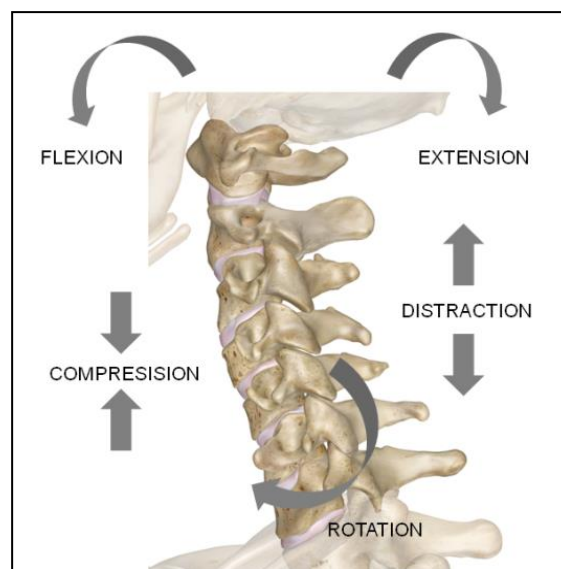


Figura 1 - Mecanismos de lesión de la columna cervical. (Reproducido de Cusick JF, Yoganandan N (2002) Biomecánica de la columna cervical 4: lesiones mayores. Clin Biomech (Bristol, Avon) 17: 1–20.) Imagen de www.innerbody.com.

2.1 Lesiones de la columna cervical superior

Este tipo de lesiones representan 1/3 de todas las lesiones de la columna cervical y aproximadamente el 40% resultan en muerte. Los niveles de la columna cervical que pueden lesionarse son:

- Fracturas de cóndilos del hueso occipital
- Luxación atlantooccipital
- Fracturas del Atlas
- Luxación atlantoaxial

- Fracturas del eje.

La mayoría de los casos en pacientes más jóvenes son causados por traumatismos de alta energía, mientras que en las personas mayores, debido a la osteoporosis, en donde se necesita mucha menos energía e incluso las caídas simples pueden provocar la lesión de la columna cervical. Por eso, la etiología de las lesiones puede diferir. En los pacientes más jóvenes son causadas principalmente por accidentes de tráfico, los accidentes de motocicleta, bicicleta y los atropellos de peatones en automóvil. En la población son el principal motivo de caídas.

El mecanismo de la lesión es fuerza axial, hiperflexión, hiperextensión, latero-flexión, rotación y combinación de todas las anteriores. Los síntomas clínicos pueden variar desde dolor de cuello, rango de movimiento restringido, posición antálgica de la cabeza, lesión de los nervios craneales y diferentes síntomas neurológicos, desde la irritación de los nervios hasta la cuadriplejía.

Recordatorio

Una luxación se define como "el desplazamiento de un hueso de su posición natural en la articulación". Aquí es donde los dos huesos que forman una articulación se separan completamente entre sí.

Una subluxación se define básicamente como "una dislocación parcial". No puede ser menos doloroso que una dislocación completa, pero los dos huesos que forman la articulación todavía están parcialmente en contacto entre sí.

2.1.1. Fractura de los cóndilos del hueso occipital

Las fracturas de los cóndilos occipitales (FCO) son lesiones traumáticas poco frecuentes y son importantes porque pueden asociarse con inestabilidad del complejo articular occipitoatlantoaxial. Las FCO pueden pasar fácilmente desapercibidos debido a la presentación variable y la incapacidad de diagnosticarlos con radiografías simples, sin embargo, se detectan con la tomografía computarizada (TC) que es el estándar para identificar cualquier desplazamiento (Figura 2) o sangrado en el área afectada.

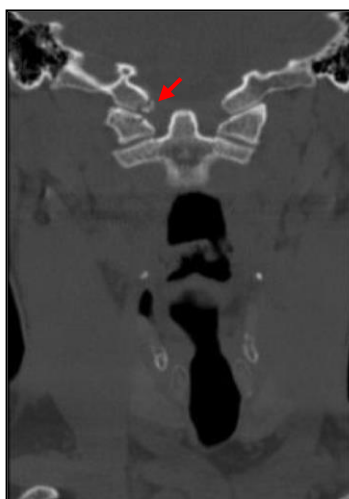


Figura 2 - Fractura mínimamente desplazada del cóndilo occipital medial inferior derecho. Se realizó una tomografía computarizada en espiral de la columna cervical desde la base del cráneo hasta la entrada torácica con un grosor de corte de 2,5 mm. Imagen de Muhammad Waseem et al. 2014.

La clasificación de las FCO más utilizada es la de Anderson y Montesano (1988), quienes consideraron la morfología de la fractura, la anatomía pertinente y la biomecánica (Tabla 1). En 1997, Tuli et al. propuso un nuevo sistema de clasificación que considera la obtención de imágenes para detectar lesiones en los ligamentos. Esta segunda clasificación agrupa los diferentes tipos de fracturas de Anderson y Montesano (Figura 3) y propone una nueva categoría para las fracturas desplazadas.

Tabla 1 – Clasificación de la fracturas de los cóndilos occipitales de Anderson and Montesano (1988)

Tipo	Descripción	Biomecánica	Estabilidad
I	Impactación	Resultados de la carga axial; el ligamento alar ipsilateral puede verse comprometido, pero la estabilidad se mantiene mediante el ligamento alar contralateral y la membrana tectorial	Fractura estable
II	Extensión de la base del cráneo	Se extiende desde el hueso occipital a través del cóndilo hasta entrar en el foramen magnum; la estabilidad es mantenida por ligamentos alares intactos y membrana tectorial maintained by intact alar ligaments and tectorial membrane	Fractura estable
III	Avulsión	Se extiende desde el hueso occipital a través del cóndilo hasta entrar en el foramen magnum; la estabilidad es mantenida por ligamentos alares intactos y membrana tectorial	Fractura inestable

		Clasificación de Tuli et al.	
Clasificación de Anderson and Montesano	I	1	No desplazada - Estable
	II		
		2A	Desplazada - Estable; sin evidencia radiográfica, de TC o de RM de la inestabilidad occipitoatlantoaxial o rotura de ligamentos
	III	2B	Desplazada - Inestable; Evidencia positiva de imágenes radiográficas, CT o MR de la inestabilidad occipitoatlantoaxial o rotura ligamentosa

Figura 3 – Clasificación de los cóndilos occipitales de Tuli et al. (1997) Extraído de Hanson J. et al. 2002.

2.1.2 Luxación Atlantooccipital

La dislocación atlantooccipital (DAO) o dislocación occipitocervical (DOC) implica la disociación del occipucio de la columna cervical. Esto ocurre principalmente cuando se aplican fuerzas de distracción y extensión al occipucio en relación al atlas, aunque la lesión también puede ocurrir por hiperflexión, flexión lateral o una combinación de todas ellas. Este mecanismo de lesión puede ocurrir en desaceleraciones rápidas en vehículos de motor, siendo una causa común de muerte en accidentes automovilísticos debido a la sección transversal del tronco encefálico o las arterias vertebrales que puede causar la DAO. La DAO es más frecuente en los niños ya que la diferente relación entre cabeza y cuerpo en la infancia potencia la inercia traumática necesaria para producir este tipo de lesiones. Los cóndilos occipitales de los niños son más pequeños, sus cabezas son más grandes en relación con sus cuerpos, los ligamentos atlantooccipitales son más laxos y los planos de articulación de las uniones craneovertebrales son más horizontales en comparación con los adultos, lo que se resume en que la unión craneovertebral es menos estable en niños que los de adultos.

El DAO fue clasificado por Traynelis et al. en 1986 en tres tipos de lesiones (Figura 4). El tipo I es un desplazamiento anterior del occipucio en relación con el atlas, el tipo II es una distracción del occipucio del atlas y el tipo III es un desplazamiento posterior del occipucio en relación con el atlas.

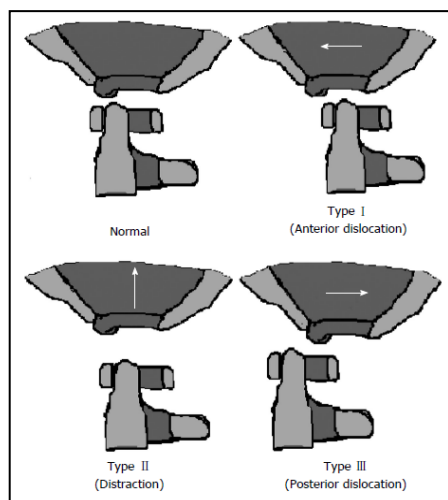


Figura 4 - La clasificación de Traynelis para la luxación Atlanto Occipital. Imagen de Hall GC. et al.

2.1.3. Fractura del Atlas

Las fracturas atlas representan el 3-13% de todas las lesiones de la columna cervical y se asocian con una carga axial traumática de la cabeza a través del occipucio hasta las masas laterales de C1. Sin embargo, otras fuerzas pueden causar la fractura del atlas, incluidas las fuerzas de extensión, flexión y rotación. Si bien estas fracturas se describen con frecuencia como fracturas de Jefferson, la fractura de Jefferson se refiere propiamente a una fractura particular de cuatro partes del atlas, que es con fracturas bilaterales de los arcos anterior y posterior del atlas (Figura 5.A). Dependiendo de las diferentes combinaciones de fuerzas aplicadas concomitantemente con la compresión axial, puede ocurrir una fractura aislada del arco anterior (Figura 5.C) o posterior (Figura 5.D) o una fractura de masa lateral unilateral (Figura 5.B). Asociado con la fractura de Atlas, puede ocurrir una lesión del ligamento transverso, lo que permite una movilidad C1-C2 excesiva.

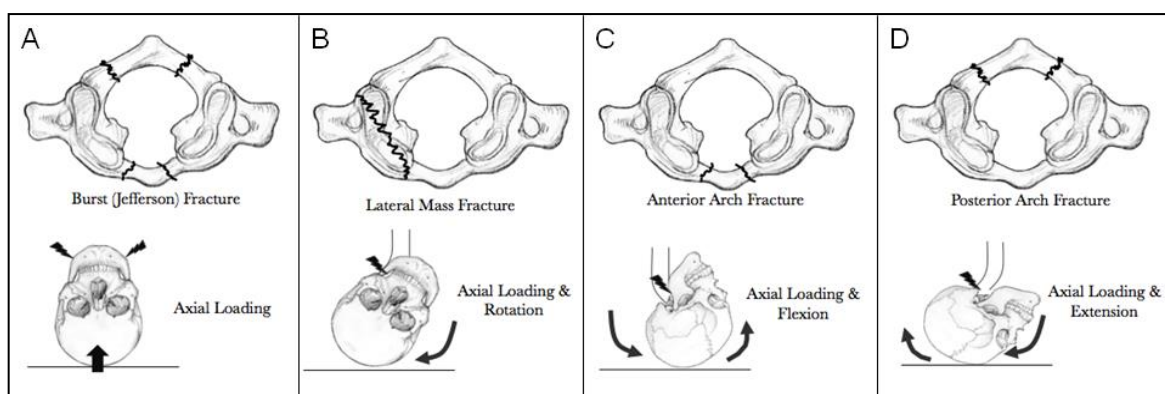


Figura 5 - Fracturas vertebrales del atlas. A: Fractura de Jefferson producida por fuerza axial. B: fractura de masa lateral producida por carga axial y rotación. C: fractura del arco anterior producida por fuerza axial y de flexión. D: Fractura del arco posterior producida por fuerza axial y de extensión. Imagen de: www.ebconsult.com.

2.1.4. Luxación Atlantoaxial

La luxación atlantoaxial se refiere a una pérdida de estabilidad entre el atlas y el axis (C1-C2), lo que resulta en la pérdida de la articulación normal. Las articulaciones atlantoaxiales pueden perder una articulación estable debido a anomalías traumáticas, inflamatorias, idiopáticas o congénitas. Causado por un evento traumático sin lesión preexistente es una entidad patológica extremadamente rara. Surge de una fuerza de flexión / cizallamiento que causa la rotura del ligamento transverso del atlas. En raras ocasiones, la lesión del ligamento transverso también puede implicar la rotura simultánea de los ligamentos alar y apical. En estas dislocaciones ligamentosas, el atlas perderá articulación con las guaridas y el arco atlantal anterior puede trasladarse completamente hacia arriba y hacia atrás con daño significativo a los ligamentos.

La presentación de la luxación atlantoaxial puede variar desde un dolor de cuello axial leve hasta la muerte. En la tabla 2 se muestran los signos clínicos derivados de esta lesión.

Tabla 2 - Signos clínicos de luxación atlantoaxial (Yang *et al.* 2014)

Signos menos graves	Signos moderados	Signos más severos
<ul style="list-style-type: none"> • Aproximadamente el 50% de los pacientes presentan dolor de cuello y / o restricción del movimiento del cuello • El 70% de los pacientes presentan debilidad y / o entumecimiento. • El 90% de los pacientes presentan signos piramidales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alteraciones del esfínter • Disfunción del par craneal inferior • Dificultad respiratoria 	<ul style="list-style-type: none"> • Mielopatía • Insuficiencia respiratoria • Disección de arteria vertebral • Compromiso neurológico • Rara vez cuadriplejía • Muerte si no se trata

Esta lesión se puede definir con mediciones radiográficas de la articulación de la articulación atlantoaxial utilizando el intervalo atlantodental (IAD). El IAD es un pequeño espacio en forma de hendidura (distancia horizontal) entre el arco anterior del atlas y las guaridas del eje. Las radiografías de flexión y extensión del cuello permiten medir el IAD y determinar si la articulación atlantoaxial se reduce en estas posiciones. El IAD se mide desde una línea proyectada superiormente a lo largo del borde anterior hasta el cuerpo del eje y el arco anterior del atlas (Figura 6).

El IAD es normalmente constante en distancia durante el movimiento de la cabeza y generalmente no supera los 3 mm para los adultos y los 5 mm para los niños. La mayoría (70%) de las presentaciones clínicas de luxación atlantoaxial se deben a luxaciones anteriores. La luxación anterior aumenta el IAD, disminuyendo el espacio disponible para la médula espinal, que se mide desde la cara posterior de las guaridas hasta la cara anterior del anillo atlantal posterior.⁴¹ Una disminución en el espacio disponible para la médula

espinal aumenta el riesgo de compresión de la médula espinal y secuelas neurológicas. Es de destacar que el espacio disponible para la médula espinal de menos de 14 mm predice el desarrollo de parálisis y se ha demostrado que se correlaciona con la gravedad de la parálisis.

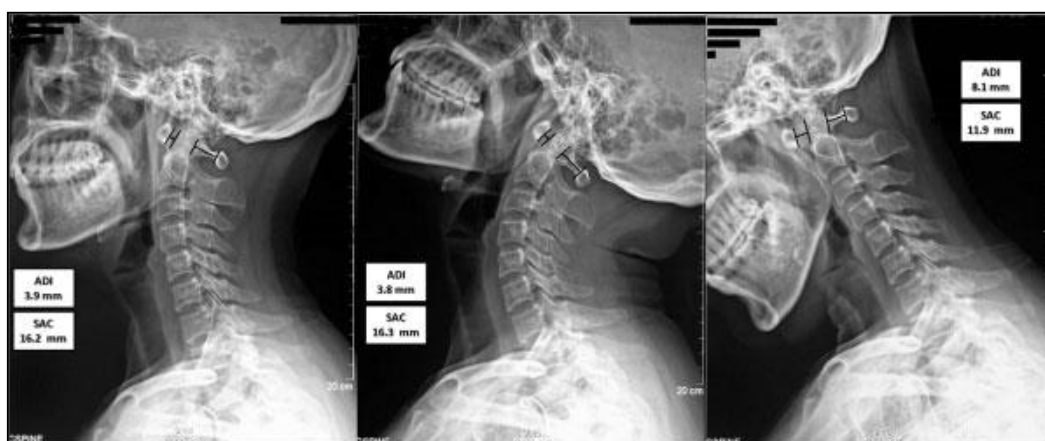


Figura 6 - Radiografías laterales en posición neutra (izquierda), en extensión (centro) y en flexión (derecha) que muestran el intervalo atlantodental (IAD) anterior a la apófisis odontoides y el espacio disponible para la médula espinal en la parte posterior. El IAD está por encima de la media para adultos de 3 m y se reduce ligeramente en extensión, pero aumenta considerablemente en flexión. El espacio de este paciente disponible para la médula espinal que se reduce a menos de 14 mm indica riesgo de parálisis. Imagen de Yang et al. 2014.

2.1.5. Fracturas del Axis

Las fracturas odontoides se encuentran entre las fracturas más comunes de la columna cervical y representan aproximadamente el 10% de todas las lesiones de la columna cervical. Estas lesiones tienden a ser más silenciosas clínicamente a menos que causen compresión de la médula espinal, lo cual es raro debido al SAC relativamente grande a este nivel en la columna cervical. Las fracturas odontoides pueden deberse tanto a las fuerzas de extensión como a las de flexión. Cuando una fuerza de flexión / cizallamiento es la causa de una fractura de odontoides, existe un desplazamiento anterior de C1 sobre C2, aunque esto también puede verse como secuela de una lesión por extensión. Las fracturas odontoides se clasifican según la clasificación de Anderson y D'Alonzo:

- Las fracturas de tipo 1 se producen en la punta del odontoides y normalmente se tratan de forma conservadora.
- Las fracturas de tipo 2 se producen en la cintura del proceso odontoides. Estas fracturas tienen una alta tasa de pseudoartrosis debido a un suministro vascular deficiente. Las fracturas de tipo 2 generalmente se tratan quirúrgicamente (halo versus fusión posterior C1-C2), a menos que ocurran en un paciente anciano con comorbilidades que impiden la cirugía.

- Las fracturas tipo 3 se extienden hacia el cuerpo C2 y, por lo general, pueden tratarse sin cirugía.

Además, la apófisis odontoides representa aproximadamente el 37% de la rigidez del complejo C1-C2; los ligamentos circundantes (ligamento alar, ligamento transverso, ligamento longitudinal anterior y posterior) explican la rigidez restante. Si se observa una lesión de estos ligamentos en la resonancia magnética (MRI) además de una fractura de odontoides, podría indicar un complejo C1-C2 inestable; esta situación puede requerir cirugía.

Otra clase de lesión C2 es la espondilolistesis traumática del eje, describe una fractura de la pars interarticulares alargada del arco posterior de la segunda vértebra cervical. Históricamente se ha atribuido a la hiperextensión y distracción (tensión y rotación de la cabeza hacia atrás), que puede resultar de golpes en la cara y mentón o de ahorcamiento judicial. A la espondilolistesis traumática del eje se le denomina Fractura del ahorcado. La rotura del disco intervertebral C2-C3 acompaña a la fractura de la pars y crea una inestabilidad dramática en las formas más graves de la lesión. Los accidentes automovilísticos han reemplazado a los ahorcamientos como la causa más común de estas lesiones a menudo fatales.

Cuando la columna cervical superior se desestabiliza y el equilibrio sagital se ve comprometido, la columna cervical inferior compensa, lo que puede conducir a patología subaxial y deformidades. Cuando la luxación atlantoaxial causa una disminución de la lordosis en el segmento C0-C2, la región cervical subaxial se compensa con un aumento de la lordosis para mantener el equilibrio. Algunos pacientes con cambios en la etapa terminal pueden desarrollar cifosis en el segmento occipitoaxial junto con hiperlordosis extrema subaxialmente, lo que resulta en una deformidad en cuello de cisne.

2.2 Lesiones de la columna cervical inferior

Las lesiones de la columna cervical subaxial o de la columna cervical inferior representan una amplia gama de patrones de lesión y grados de inestabilidad entre los niveles C3 y T1. Esta sección describe las lesiones más referenciadas en la literatura y la biomecánica detrás de cada lesión.

2.2.1 Fracturas por estallido

La carga axial de la columna cervical con el cuello en posición neutra provocará una fractura por compresión o una fractura por estallido del cuerpo vertebral y puede ocurrir en las vértebras cervicales inferiores desde los niveles C3 a T1. No se aplica fuerza de flexión y, por tanto, el complejo ligamentoso posterior debe estar intacto. A medida que la compresión axial se transmite a través del cuerpo vertebral, se produce una deformidad en cuña anterior del cuerpo vertebral. Si esta fuerza continúa, la parte posterior del cuerpo vertebral será repulsada hacia el canal, lo que podría causar una lesión de la médula espinal.

2.2.2 Fractura de Teardrop (en lágrima)

Las fracturas teardrop o en lágrima ocurren cuando una combinación de fuerzas de flexión y compresión axial actúa sobre la columna vertebral simultáneamente. Más comúnmente, esta lesión puede ocurrir cuando una persona se sumerge de cabeza en una piscina poco profunda. La columna anterior de la columna cervical falla en compresión y la porción posterior del cuerpo vertebral es retropulsada hacia el canal. En la columna cervical subaxial hay menos espacio disponible para la médula espinal, lo que a menudo conduce a compresión de la médula y lesión de la médula espinal. El patrón más severo da como resultado una subluxación posterior del cuerpo vertebral posterior hacia el canal; cifosis aguda; y rotura del ligamento longitudinal anterior y posterior, debido a esto, la lágrima son lesiones graves asociadas a una alta incidencia de cuadriplejía.

2.2.3 Fractura por hendidura sagital media

Una variación de las fracturas por estallido es una fractura por hendidura sagital media. Los sitios más comunes de estas fracturas en la columna cervical inferior son C4, C5 y C6. Dado que las vértebras son un anillo óseo cerrado, la fractura completa a través de la corteza anterior y postural del cuerpo vertebral suele ir acompañada de fracturas de la lámina y rotura de las articulaciones facetarias. Son lesiones muy inestables y los fragmentos óseos, a menudo de forma trapezoidal, se desplazan hacia atrás y chocan contra la médula espinal.

2.2.4 Disrupción de las articulaciones facetarias

La dislocación facetaria ocurre cuando se aplica una fuerza de flexión / distracción combinada con fuerzas rotativas a la columna cervical. Suele afectar a los niveles C4-C5 o C5-C6. La faceta articular inferior del nivel cervical superior se desplaza sobre la faceta articular superior del nivel cervical inferior. Esto puede ocurrir de manera unilateral o bilateral, y también puede involucrar una fractura de una o ambas facetas y / o masas laterales:

- En las dislocaciones facetarias unilaterales, las fuerzas que actúan sobre la columna cervical son principalmente de naturaleza rotatoria y de flexión. El síntoma de presentación suele ser una monorradiculopatía de la raíz nerviosa de salida.
- En las dislocaciones facetarias bilaterales hay menos fuerza de rotación y más fuerza de flexión / distracción que actúa sobre la columna cervical. Esto permite que la faceta articular inferior del nivel cervical superior se disloque en sentido anterior sobre la faceta articular superior del nivel cervical inferior bilateralmente.

2.2.5 Fractura de apófisis espinosa

Consiste en la rotura de una o más apófisis espinosas en la zona cervical inferior. Suele denominarse fractura de excavadora ya que se presenta en personas que realizan esta actividad. El mecanismo de la lesión consiste en una fuerza de gran magnitud transmitida desde la cintura escapular hasta la apófisis espinosa a través de los músculos. También puede ocurrir debido a la fatiga muscular. El vector resultante de la fuerza transmitida a la

apófisis espinosa es horizontal, que inicialmente actúa para unir la cintura escapular a la columna y a la caja torácica.

La mayoría de estas fracturas se localizan en los niveles C6 y C7 debido a que estas son las vértebras de mayor longitud de las apófisis espinosas y por tanto, no son capaces de soportar altos momentos flectores generados por las fuerzas horizontales, produciendo una fractura de apófisis espinosas próximas a la vértebra. cuerpo.

2.2.6 Síndrome asociado a latigazo cervical Whiplash-associated disorder

El término "trastorno asociado al latigazo cervical" se utiliza para describir las manifestaciones clínicas de la lesión por latigazo cervical. El latigazo cervical es un mecanismo de aceleración-desaceleración de transferencia de energía al cuello. Puede ser el resultado de colisiones de vehículos motorizados por impacto lateral o trasero, pero también puede ocurrir durante una inmersión u otros accidentes.

Luan F. et al (2000), establecieron que la secuencia cinemática que ocurre en la cabeza y el cuello después de un impacto es la siguiente (Figura 7):

1) En la primera etapa (0-100 ms después del inicio del impacto), se observa una deformación por flexión del cuello junto con una pérdida de la lordosis cervical. El cuello lordótico inicial a los 20 ms se vuelve recto. Después de 50 ms, tanto la columna cervical superior como la inferior se someten a un momento de flexión. La fuerza cortante se transmite inicialmente a través de los niveles inferiores y finalmente a través de los niveles superiores, pero no llega al extremo superior de la columna cervical. La fuerza axial luego cambia de compresión a tracción aproximadamente a los 60 ms.

2) En la segunda etapa (100-130 ms), la columna cervical asume una curva en forma de S a medida que las vértebras inferiores comienzan a extenderse y hace que gradualmente se extiendan las vértebras superiores. Eventualmente, el cuello enderezado una vez más se vuelve lordótico. Un momento de extensión ocurre en las vértebras inferiores, mientras que un momento de flexión actúa en los niveles superiores. Las fuerzas cortantes actúan en todos los niveles junto con una fuerza axial de tracción.

3) Durante la etapa final (después de 130 ms), todo el cuello está en extensión debido a momentos de extensión en ambos extremos. Las fuerzas cortantes y las fuerzas axiales de tracción continúan actuando a todos los niveles. Las fuerzas de cizallamiento a lo largo de la fase de carga pueden someter las FJC inferiores a un estiramiento excesivo, mientras que la compresión inicial de la columna cervical puede hacer que las cápsulas de la articulación facetaria se compriman localmente y se deslicen a lo largo de la articulación. Las regiones más posteriores de la articulación se comprimen más que las regiones más anteriores, exhibiendo un mecanismo de "pellizco". La compresión / deslizamiento excesivo de la articulación también puede provocar dolor si estas articulaciones contienen estructuras sensibles al dolor.

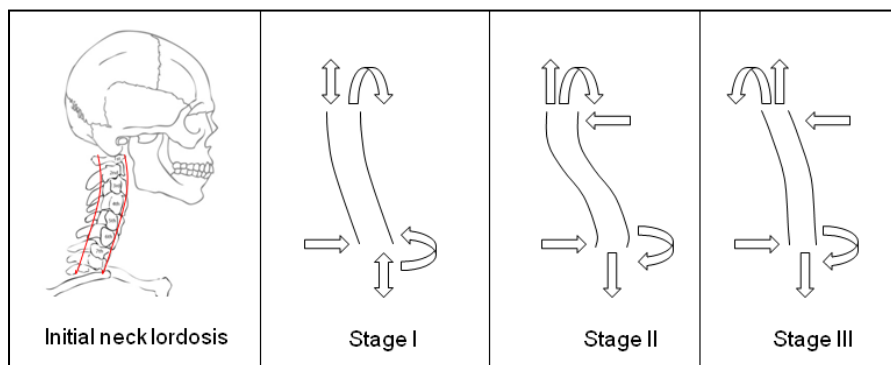


Figura 7 - Modelos de deformación del cuello y diagramas de fuerza y momento en tres etapas de un impacto trasero. Imagen reproducida de Luan F. et al. 2009.

De manera similar, Kaneoka K. et al. (2002) probaron con sujetos voluntarios sentados en un trineo para simular la aceleración del impacto trasero de un automóvil (Figura 3). Se utilizó una velocidad de impacto de 8 km / h para estudiar la cinemática de la cabeza, el cuello y el torso y las respuestas de la columna cervical. Los autores dividieron las respuestas en cuatro fases, las que se observan en la tabla 3.

Tabla 3 - Fases y eventos cinemáticos del cuello, la columna cervical y el torso durante un impacto posterior (Kaneoka K. et al. 2002).

Phase 1: movimiento de deslizamiento	Phase 2: fuerza axial del cuello	Phase 3: fuerza axial y de cizalla	Phase 4: extensión completa
0-40 ms	40-100 ms	100-160 ms	150-220 ms
a. El asiento comienza a presionar la espalda del voluntario.	a. El torso se mueve hacia adelante, empujado por el respaldo del asiento	a. El trineo ralentiza los rebotes del torso y avanza con cierta rotación hacia atrás	a. El torso se mueve hacia adelante y hacia abajo
b. La columna vertebral comienza a enderezarse	b. El torso se mueve hacia arriba, paralelo a la inclinación del asiento, provocando una compresión axial de la columna cervical debido a la inercia de la cabeza, que alcanza un máximo	b. La fuerza axial en el cuello disminuye mientras que la fuerza cortante en el cuello alcanza un pico en aproximadamente 120 ms	b. La rotación de la cabeza y el cuello alcanza una extensión completa
c. No se ha producido movimiento cervical	c. La cabeza permanece inmóvil debido a la inercia, con una ligera flexión inicial	c. La cabeza comienza a girar en extensión	c. Disminución de las fuerzas cortantes y axiales en el cuello
d. Sin respuesta muscular en el cuello.	d. C6 gira antes en extensión que los segmentos vertebrales superiores (C3, C4 y C5)	d. La columna cervical se alinea en extensión	d. La descarga muscular termina en unos 220 ms.
	e. Las vértebras del cuello adoptan una forma de "S" con la región superior en flexión y la región inferior en extensión	e. La EMG del esternocleidomastoideo se descarga desde aproximadamente 115 ms.	
	f. Sin respuesta muscular en el cuello.		

3. Biomecánica de las principales lesiones de la columna torácica y lumbar

La gran diferencia entre la columna cervical y las zonas torácica y lumbar es que esta última tiene una rigidez que la columna cervical no tiene, por lo que los mecanismos de lesión son muy diferentes entre ellas.

3.1 Fracturas de platillo/placa vertebral (superficie)

Las fracturas del platillo se producen por fuerzas de compresión y se localizan principalmente en la columna torácica y lumbar superior. Son causadas por fuerzas de compresión axiales, pero también pueden ocurrir debido a una fuerza de flexión o una combinación de ellas. Hay tres tipos de fracturas:

- Fracturas localizadas solo en la parte central de la placa.
- Las fracturas localizadas en el área periférica, involucran el hueso cortical externo que recubre los cuerpos vertebrales.
- Fracturas transversales que cruzan la placa de una pieza a otra.

La falla de la placa juega un papel principal en el desarrollo de fracturas por estallido, lo que permite que el núcleo rompa la placa terminal craneal, lo que aumenta la presión intervertebral y conduce a un desplazamiento dirigido hacia afuera de la capa cortical con fragmentación.

3.2 Fracturas por estallido

La fuerza responsable del estallido vertebral (Figura 8) es una fuerza de compresión de gran magnitud, que se asocia más comúnmente con caídas y accidentes de tráfico. El resultado de la fractura por estallido son fallas corporales anterior y posterior, pérdida de altura corporal y retropulsión de la cara posterior del cuerpo vertebral hacia el canal espinal. La zona toracolumbar es especialmente propensa a este tipo de fracturas, es decir, de T11 a L2. De hecho, se considera biomecánicamente el punto más débil de la columna debido a que esta región representa la zona de transición de un segmento rígido a un segmento móvil, postura lordótica y articulaciones facetarias más sagitalmente orientadas. La estabilidad en esta zona depende de la integridad de los ligamentos y los componentes óseos.

El déficit neurológico es más bajo en las fracturas de la unión toracolumbar en comparación con la columna cervical, donde el daño neurológico es mayor en pacientes con fracturas por estallido independientemente del mecanismo del accidente. La fractura por estallido puede ser estable o inestable, en parte, dependiendo de la indemnización del ligamento longitudinal posterior. Denis F. (1983) propuso que la lesión de la columna media, es decir, la parte posterior del cuerpo vertebral, el ligamento longitudinal posterior y el disco posterior, era suficiente para crear inestabilidad. Está ampliamente aceptado que los ligamentos posteriores probablemente han fallado si hay más de 30 ° de cifosis y / o 50% de pérdida de altura del cuerpo vertebral en radiografías simples (Heary RF. Et al. 2007). Denis F. (1983)

también clasificó las fracturas inestables en tres tipos: mecánicas (primer grado), neurológicas (segundo grado) o combinadas mecánicas / neurológicas (tercer grado).

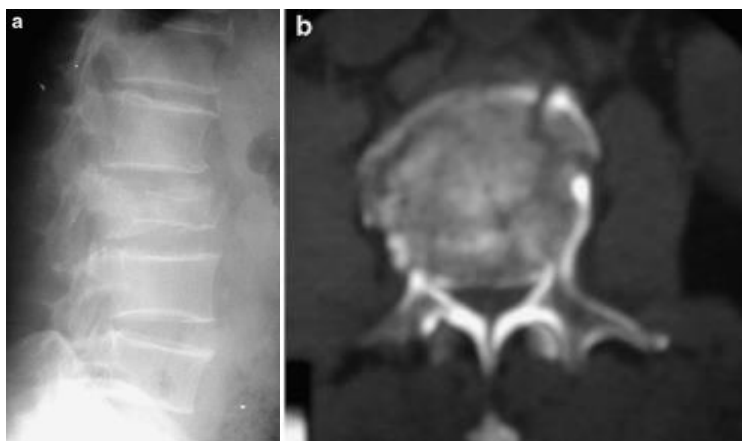


Figura 8 - a) La radiografía lateral muestra una fractura por estallido de L2 en un hombre de 59 años. b) La imagen de TC axial demuestra un compromiso del 70% del canal. Imagen de Altay M. et al. 2007.

3.3 Fracturas en cuña

Las fracturas en cuña de los cuerpos vertebrales son una lesión que se produce por una fuerza de compresión axial aplicada al cuerpo vertebral combinada con un momento de flexión que provoca el fallo mecánico de la región anterior del cuerpo vertebral. También se denominan fracturas por compresión. Para que ocurra este tipo de fractura, la línea de acción de la fuerza compresiva debe colocarse anterior al centro del cuerpo vertebral. A menudo, este tipo de fracturas pueden ir acompañadas del daño de los ligamentos posteriores que también deben contener los momentos flexores producidos por la fuerza axial que impacta en la zona anterior de la vértebra.



Figura 9 - Fractura en cuña por compresión, reconstrucción multiplanar sagital. La lesión no afecta los elementos posteriores. Imagen de González-Montané J.L. 2014.

Este tipo de lesiones es común en personas con osteoporosis. En este tipo de pacientes, las fracturas de la columna ocurren con más frecuencia en las regiones torácica media (T7-T8) y toracolumbar (T11-L1) que en otras partes de la columna. Las razones que subyacen a esta distribución bimodal probablemente se deban a las variaciones en la curvatura de la columna donde ocurre la cifosis torácica máxima alrededor de T7-T8, esto puede resultar en mayores momentos de flexión anterior y aumentar el riesgo de fracturas en cuña anterior en esta región. En la unión toracolumbar, la mayor incidencia de fracturas en T12-L1 se debe al aumento de la carga de los cuerpos vertebrales, ya que la caja torácica ya no ayuda a soportar cargas superpuestas en estos niveles de la columna.

3.4 Lesiones por cinturón de seguridad

Las lesiones del cinturón de seguridad son lesiones típicas de la unión toracolumbar como consecuencia de una hiperflexión centrada en dicha zona que a su vez provoca una fuerza de distracción desde la zona más posterior de la vértebra. El mecanismo de lesión es una desaceleración rápida de una persona que viaja en un vehículo cuyo movimiento anterior es retenido por el cinturón de seguridad. Las consecuencias de esta lesión pueden variar desde el daño de las estructuras de los ligamentos hasta la fractura de elementos óseos o la combinación de fractura y dislocación.

Denis (1985) clasificó las fracturas del cinturón de seguridad en cuatro tipos (Figura 10). El primer tipo es una rotura ligamentosa pura con luxación facetaria; el segundo tipo es la fractura clásica de Chance con fractura horizontal del hueso; el tercer tipo es una lesión de dos niveles a través del complejo ligamentoso posterior, pedículo y disco y el cuarto tipo es una lesión de dos niveles a través del complejo ligamentoso posterior, pedículo, cuerpo y disco. Mientras que existe un acuerdo general en que la lesión ligamentosa pura con un tipo de fractura del cinturón de seguridad con dislocación facetaria es inestable, hay menos acuerdo con respecto a la estabilidad de los otros tipos de lesiones del cinturón de seguridad.

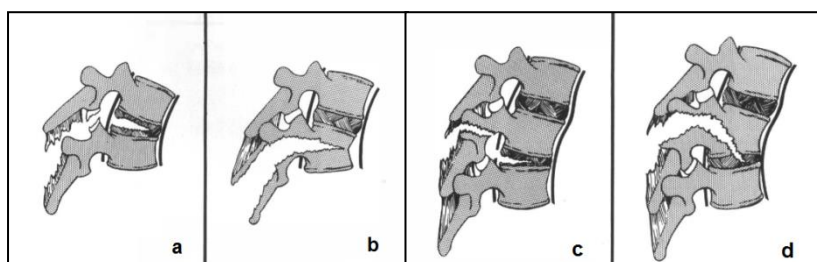


Figura 10 - Clasificación de fracturas de cinturones de seguridad. a: rotura ligamentosa pura con luxación facetaria. b: Posibilidad de fractura con fractura horizontal del hueso. c: Traumatismo del complejo ligamentoso posterior, pedículo y disco. d: Lesión del complejo ligamentoso posterior, pedículo, lesión corporal y discal. ayb son lesiones en un nivel. cyd son lesiones en dos niveles. Imagen de Yu WY. et al. 1986.

4. Consideraciones biomecánicas relacionadas a las intervenciones de columna

Los tratamientos médicos aplicados a las lesiones de la columna vertebral generalmente pueden ser conservadores o quirúrgicos, según la gravedad de la lesión y la estabilidad del segmento vertebral dañado. Diferentes decisiones médicas pueden tener un impacto importante en la funcionalidad, ya que producirán cambios biomecánicos en la función vertebral para reparar o estabilizar la lesión. En este capítulo revisaremos las posibles consecuencias biomecánicas de las intervenciones más severas en los segmentos espinales más susceptibles a lesionarse.

4.1 Intervenciones de columna cervical superior

El complejo occipucio-C1-C2 es la porción más móvil de la columna cervical. El segmento de movimiento occipucio-C1 hace la mayor contribución a la flexión (21°) y extensión ($3,5^\circ$), mientras que el movimiento principal del segmento de movimiento C1-C2 es la rotación axial ($23,3$ a $38,8^\circ$ por lado). La principal indicación para la fusión occipitocervical es la inestabilidad de la unión craneocervical. Numerosos trastornos pueden provocar inestabilidad de este complejo como traumatismos (luxación atlantooccipital, fractura del cóndilo occipital, fracturas del atlas y del eje), malignidad, artritis reumatoide, anomalías congénitas o enfermedades infecciosas. La estabilización interna posterior evita la compresión de las estructuras neurales, permite la corrección de la deformidad cervical y reduce el dolor. Actualmente, las construcciones basadas en tornillos son la opción más popular (Figura 11).

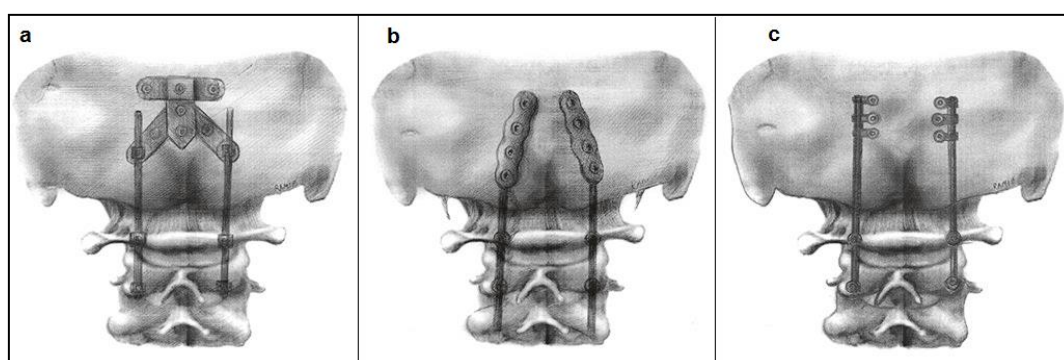


Figura 11 - Las construcciones basadas en tornillos más comunes. (a) Placa occipital. (b) Varillas articuladas con un extremo de placa occipital integrado. (c) Conectores de ojal dirigidos medialmente. Imagen de Ashafai NS. et al. 2019.

Las complicaciones cinemáticas de la fusión occipitocervical son que la técnica puede restringir la movilidad cervical hasta el 40% de la flexión-extensión cervical total, el 60% de

la rotación cervical total y el 10% de la flexión lateral cervical total, si el occipucio-C1 y C2 están involucrados. Además, la flexión excesiva da como resultado que el paciente tenga una línea de visión deteriorada y dificultades para tragar. La disnea y / o disfagia posoperatorias después de la fusión occipitocervical son raras, pero representan un obstáculo para las actividades de la vida diaria y, en ocasiones, son potencialmente mortales. Aunque se ha pensado que la alineación en flexión cervical es un factor importante de disnea y / o disfagia, la estenosis mecánica del espacio orofaríngeo también contribuye a este problema después de la cirugía de fusión occipitocervical. Una disminución del ángulo O-C2 de 10° provoca una reducción del espacio de la vía aérea orofaríngea en la posición neutra de aproximadamente un 37%.

Recientemente, un estudio comparó los procedimientos de fijación posterior de la articulación atlantoaxial versus occipitocervical. El atlantoaxial es el procedimiento más exigente en comparación con la fusión occipitocervical, pero proporciona un mayor rango de movimiento al preservar el segmento de movimiento C0 / C1. La fusión occipitocervical conduce a una limitación adicional y considerable del movimiento en comparación con la fusión atlantoaxial sola. Después de la fusión occipitocervical, prácticamente no hay extensión, flexión ni rotación en la columna cervical superior.

4.2 Intervenciones de la columna cervical inferior

En la columna cervical inferior, hay diferentes consideraciones a tener en cuenta. La inmovilización o el reemplazo articular pueden afectar los niveles adyacentes debido a los cambios biomecánicos que ocurren después de la intervención. Nabhan A. et al (2011) analizan los posibles efectos en los niveles adyacentes al reemplazo de disco articular versus discectomía y fusión cervical anterior (Figura 12) en personas con enfermedad degenerativa del disco cervical sintomática. En este estudio, en un seguimiento medio de 12 meses, no hubo cambios en el movimiento segmentario promedio inmediatamente craneal a la prótesis de disco, mientras que hubo un aumento en el movimiento segmentario promedio inmediatamente craneal a la fusión pero sin una diferencia significativa.

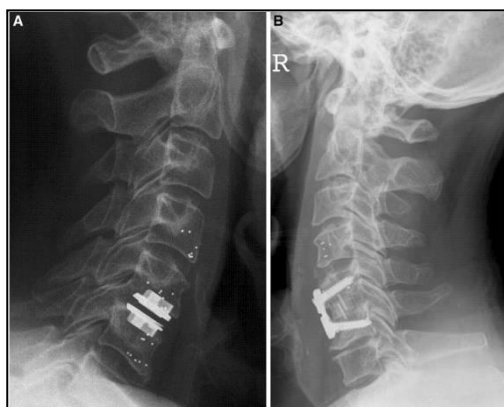


Figura 12 - Radiografía lateral de columna acervical que muestra los marcadores del tantalio del cuerpo vertebral C4, C5 y C6. a - Marcadores de tantalio incorporados después del reemplazo del disco. b - Lo mismo con la fijación con placa de titanio. Imagen del estudio de Nabhan A. et al (2011).

Se supone que la presencia de fusión podría incrementar la carga y el rango de movimiento segmentario en los niveles adyacentes y causar un trauma localizado con la subsecuente degeneración acelerada del disco. Hay muchos factores potencialmente importantes asociados con el desarrollo de la enfermedad del segmento adyacente además del aumento del movimiento segmentario: estrés, carga y presión intradiscal en los niveles adyacentes al sitio de fusión. Hilibrand y col. (1999) predijeron que en el 25,6% de los pacientes que se sometieron a fusión cervical anterior, se produciría una nueva enfermedad sintomática en un segmento adyacente dentro de los 10 años posteriores a la operación.

Similar al estudio de Nabhan A. et al. (2011), los autores Ghobrial GM. et al (2019) comparan las consecuencias en los niveles subyacentes a ambas técnicas, pero en un estudio prospectivo de 10 años. Financiaron que, en comparación con la discectomía y fusión cervical anterior, menos pacientes con artroplastia de disco cervical requirieron cirugía por degeneración sintomática del nivel adyacente, pero esto no alcanzó significación estadística. Sin embargo, cuando se combinaron los datos de 2 estudios prospectivos aleatorizados con criterios de inclusión y exclusión similares para aumentar el poder de la evaluación, se observó una diferencia significativa en el nivel sintomático adyacente que requirió cirugía a los 7 años de seguimiento.

4.3 Intervenciones torácicas y lumbares

La principal causa del dolor lumbar se debe al proceso de degeneración. Al mismo tiempo, una de las principales técnicas quirúrgicas empleadas en esta patología es la fusión espinal. Si bien a corto plazo el resultado de esta técnica es satisfactorio, a largo plazo existen eventos adversos en los niveles adyacentes a la cirugía. Entre los pacientes que precisan de una nueva cirugía en los exámenes médicos posteriores, la degeneración sintomática del segmento adyacente es una de las causas más frecuentes.

Se sabe que la alineación espino-pélvica afecta la carga espinal y se ha discutido cada vez más como relacionada con la degeneración del disco y la degeneración del segmento adyacente en particular. Se cree que los cambios aberrantes en la carga mecánica afectan negativamente a la biología de las células y tejidos intervertebrales y podrían someter a los discos adyacentes a alteraciones estructurales que inician o contribuyen a la degeneración del disco. Un estudio clínico reciente de seguimiento a largo plazo identificó además la hipolordosis lumbar como un factor de riesgo independiente para la progresión acelerada de la degeneración del disco, incluso sin fusión.

Por otro lado, dependiendo del nivel de fusión, puede haber una limitación de movimiento. Esta información se muestra en el estudio de Se Jin Choi et al. (2018). En este trabajo determinaron que el ROM de extensión lumbar estaba estadísticamente afectado por la fusión en el nivel L4 / 5 o L5 / S1, como el ROM de la flexión lateral lumbar. El ROM de la rotación lateral lumbar no se vio afectado por la fusión en el nivel L4 / 5 o L5 / S1. Los resultados sugieren que los segmentos lumbares inferiores (L4 / 5 y especialmente L5 / S1) contribuyen al ROM espinal (extensión y flexión lateral), pero estos segmentos por sí solos no juegan un papel significativo en los movimientos de flexión espinal.

Similar al trabajo de Jin Choi et al. (2018), el estudio de Obid P. et al. (2017) determina la pérdida de movilidad segmento a segmento en tres sistemas de instrumentación para la

fusión de la columna lumbar de T11 a L5. Los grupos de este estudio fueron (Figura 13): (A) Grupo rígido: instrumentación rígida de cuatro niveles; (B) Grupo dinámico: instrumentación rígida de dos niveles (L3-L5) combinada con el sistema Elaspine (Spinelab AG, Winterthur, Suiza) (L1-L3); y (C) Grupo de ganchos: instrumentación rígida de dos niveles (L3-L5) combinada con ganchos laminares (L1-L3).

La hipótesis de que las construcciones híbridas limitan el ROM en los niveles instrumentados dinámicos pero permiten más movimiento que la instrumentación rígida no pudo ser probada. Tanto el sistema Elaspine como los ganchos laminares redujeron el ROM en los niveles instrumentados cerca del de la instrumentación rígida, lo que resultó en un aumento de movilidad similar en los segmentos adyacentes a la instrumentación. Así, un sistema dinámico no evitaría las lesiones de los niveles adyacentes que se observan en las fusiones con sistemas rígidos.

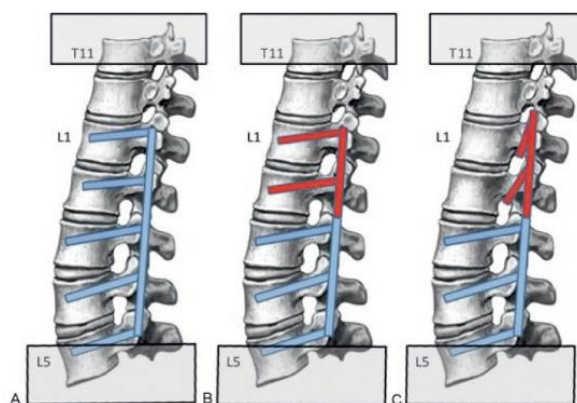


Figura 13 - Resumen esquemático que muestra la configuración de los tres grupos de prueba del estudio de Obid P. et al. (2017). (A) Grupo R: instrumentación rígida de cuatro niveles; (B) grupo D: instrumentación rígida de dos niveles (L3-L5) combinada con el sistema Elaspine (Spinelab AG, Winterthur, Suiza) (L1-L3); y (C) grupo H: instrumentación rígida de dos niveles (L3 - L5) combinada con ganchos laminares (L1 - L3).

5. Ideas clave

- Existen diferentes tipos de lesiones en la columna cervical dependiendo de la dirección y magnitud de la fuerza que se aplica sobre la columna: flexión, extensión, compresión, distracción, rotación.
- Las lesiones de la columna cervical superior comúnmente resultan en la muerte (alrededor del 40%) y porque el tipo de lesión puede dañar áreas importantes del sistema nervioso central. Las lesiones más referenciadas en la literatura son: Fracturas de cóndilos del hueso occipital, Luxación atlantooccipital, Fracturas del Atlas, Luxación atlantoaxial y Fracturas del eje.
- Las lesiones de la columna cervical inferior representan una amplia gama de patrones de lesión y grados de inestabilidad, siendo las más comunes: las fracturas por estallido, las fracturas en forma de lágrima, la fractura por escote medio sagital, la ruptura de las articulaciones facetarias, la fractura por apófisis espinosa y el latigazo cervical. -trastorno asociado.
- La gran diferencia entre la columna cervical y las zonas torácica y lumbar que esta última tiene una rigidez que no tiene la columna cervical, por lo que los mecanismos de lesión son muy diferentes entre ellas.
- En las regiones torácica y lumbar las lesiones más frecuentes suelen ser: las fracturas de la placa terminal, las fracturas en estallido, las fracturas en cuña y las lesiones del cinturón de seguridad típicas de la unión toracolumbar.
- Los tratamientos médicos aplicados a las lesiones de la columna generalmente pueden ser conservadores o quirúrgicos, según la gravedad de la lesión y la estabilidad del segmento vertebral dañado. Diferentes decisiones médicas pueden tener un impacto importante en la funcionalidad, ya que producirán cambios biomecánicos en la función vertebral para reparar o estabilizar la lesión.
- En la columna cervical superior, las técnicas de inmovilización pueden llegar a restringir la movilidad cervical hasta el 40% de la flexión-extensión cervical total, y si el occipucio-C1 y C2 están involucrados, la limitación puede llegar al 60% de la rotación cervical total y al 10% de la rotación lateral total. flexión.
- En la columna cervical inferior, las intervenciones más graves, como la fusión, traen consigo la enfermedad del segmento adyacente, lo que induce estrés, carga y presión intradiscal en los niveles adyacentes al sitio de fusión.
- En la columna torácica y lumbar, las intervenciones más severas también limitan la movilidad, siendo sitios de fusión críticos para la pérdida de función T11-L5, L4-L5 y L5-S1.

6. References

- [1]. Anderson P.A., and P.X. Montesano. Morphology and Treatment of Occipital Condyle Fractures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1988 Jul; 13(7):731-6.
- [2]. Altay M., Ozkurt B., Aktekin CN., Ozturk AM., Dogan O., Tabak A.Y. Treatment of unstable thoracolumbar junction burst fractures with short- or long-segment posterior fixation in magerl type a fractures. *Eur Spine J*. 2007 Aug; 16(8): 1145–1155.
- [3]. Ashafai NS., Visocchi M., Wasik N. Occipitocervical Fusion: an updated review. *Acta Neurochir Suppl* 2019;125:247-252.
- [4]. Bensch FV, Koivikko MP, Kiuru MJ, Koskinen SK. The incidence and distribution of burst fractures. *Emerg Radiol*. 2006;12:124–9.
- [5]. Boughton OR, Bernard J, Szarko M (2015). Odontoid process fractures: the role of the ligaments in maintaining stability. A biomechanical, cadaveric study. *SICOT J*. 1: 11.
- [6]. Cahueque M., Cobar A., Zuñiga C., Caldera G. Management of burst fractures in the thoracolumbar spine. *Journal of Orthopaedics* 13 (2016) 278–281.
- [7]. Christiansen BA., Bouxsein ML. Biomechanics of Vertebral Fractures and the VertebralFracture Cascade. *Curr Osteoporos Rep* (2010) 8:198–204.
- [8]. Comín M., Prat J., Soler-G C. et al. (1995) *Biomecánica del Raquis y Sistemas reparación*. 1º Edición, Instituto de Biomecánica de Valencia, España.
- [9]. Curry WH., Pintar F.A., Doan N.B, Nguyen H.S., Eckardt G., Baisden J.L., Maiman D.J., Paskoff G.R., Shender B.S., Stemper B.D. Lumbar spine endplate fractures: Biomechanical evaluation and clinical considerations through experimental induction of injury. *J Orthop Res*. 2016 Jun;34(6):1084-91.
- [10]. Cusick J.F. and Yoganandan N. Biomechanics of the cervical spine 4: Major Injuries. *Clinical Biomechanics Vol 17, Issue 1 January 2002, Pages 1-20*.
- [11]. Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine*. 1983;8:817–31.
- [12]. Dickman C.A., Greene K.A., Sonntag V.K. Injuries Involving the transverse atlantal ligament: Classification and treatment guidelines based upon experience with 39 injuries. *Neurosurgery* 1996 Jan; 38(1):44-50.
- [13]. Dowdell J., Kim J., Overley S., Hecht A. Biomechanics and common mechanisms of injury of the cervical spine. *Hand Clin Neurol* 2018;158:337-344.
- [14]. Ghobrial GM., Lavelle W.F., Florman J.E., Riew K.D., Levi A.D. Symptomatic adjacent level disease requiring surgery: analysis of 10-year results from a prospective randomized, clinical trial comparing cervical disc arthroplasty to anterior cervical fusion. *Neurosurgery* 2019 Feb 1;84(2):347-354.
- [15]. Gonzáles-Montané J.L. What can CT and MRI add to the assessment of symptomatic vertebral compression fracture in osteoporotic patients? From Congress ECR 2014, Number of poster C-0960. DOI: 10.1594/ecr2014/C-0960.
- [16]. Hall GC., Kinsman MJ., Nazar RG., Hruska RT., Mansfield KJ., Boakye M., Rahme R. Atlanto-occipital dislocation. *World J Orthop*. 2015 Mar 18;6(2):236-43.
- [17]. Heary R.F., Sanjeev K. Decision-making in burst fractures of the thoracolumbar and lumbar spine. *Indian J Orthop*. 2007 Oct-Dec; 41 (4): 268-276.
- [18]. Hilibrand A.S., Carlson G.D., Palumbo M.A., Jones P.K., Bohlman H.H. Radiculopathy and myelopathy at segments adjacent to the site of a previous anterior cervical arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am*. 1999 Apr;81(4):519-28.

- [19]. Izeki M., Neo M., Takemoto M., Fujibayashi S., Ito H., Nagal K., Matsuda S. The O-C2 angle established at occipito-cervical fusion dictates the patient's destiny in terms of postoperative dyspnea and/or dysphagia. *Eur Spine J* (2014) 23:328-336.
- [20]. Kaneoka K, Ono K, Inami S, et al. The human cervical spine motion during rear impact collisions: a proposed cervical facet injury mechanism during whiplash trauma. *J Whipl Relat Disord* 2002; 1(1): 85-97.
- [21]. Lei Li, Wen-Fei Liu, Hong-Kun Jiang, Yun-Peng Li. Biomechanical evaluation of four different posterior screw and rod fixation techniques for the treatment of the odontoid fractures. *Int J Clin Exp Med*. 2015;8(6):8571-8580.
- [22]. Luan F, Yang KH, Deng B, et al. Qualitative analysis of neck kinematics during low-speed rear-end impact. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2000;15(9):649-657.
- [23]. Martín-Ferrer S. High cervical spine injuries: classification, therapeutic indications, and surgical approaches: 286 consecutive cases. *Neurocirugía (Astur)*. 2006 Oct;17(5):391-419.
- [24]. Miyata M., Neo M., Fujibayashi S., Ito H. Takemoto M., Nakamura T. O-C2 angle as a predictor of dyspnea and/or dysphagia after occipitocervical fusion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009 Jan 15;34(2):184-8.
- [25]. Nichols J1, West JS. Traumatic atlantooccipital dislocation injury in children. *AORN J*. 1994 Oct;60(4):544-6, 548-9, 551-4 passim.
- [26]. Nabhan A., Ishak B., Steudel W.L., Ramadhan S., Steimer O. Assessment of adjacent-segment mobility after cervical disc replacement versus fusion: RCT with 1 year's results. *Eur Spine J* (2011) 20:934-941.
- [27]. Nightingale, R, Myers, BS, and Yoganandan, N, Biomechanical Aspects of Cervical Spine Trauma, in *Accidental Injury: Biomechanics and Prevention*, N. Yoganandan, A. Naham, and J.W. Melvin, Editors. 2014, Springer: New York, NY.
- [28]. Obid P., Danyali R., Kueny R., Huber G., Reichl M., Richter A., Niemeyer T., Morlock M., Püschel K., Übeyli H. Hybrid Instrumentation in Lumbar Spinal Fusion: A Biomechanical Evaluation of three different instrumentation techniques. *Global Spine J*. 2017 Feb;7(1):47-53.
- [29]. Pertersilge CA., Emery SE. Thoracolumbar burst fracture: Evaluating stability. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI Volume 17, Issue 2, April 1996, Pages 105-113*.
- [30]. Pryputniewicz D.M. and Hadley M.N. Axis Fractures. *Neurosurgery* 2010 Mar;66(3 Suppl):68-82.
- [31]. Rihn JA, Fisher C, Harrop J et al. (2010). Assessment of the posterior ligamentous complex following acute cervical spine trauma. *J Bone Joint Surg Am*. 92: 583–589.
- [32]. Ryba L., Cieniala J., Chaloupka R., Repko M., Vyskocil R. Injury of Upper Cervical Spine. *Soud. Lek* 2016;61(2):20-5.
- [33]. Se Jin Choi, Ji Won Moon, Dalsung Ryu, Chang Hyun Oh, Seung Hwan Yoon. Range of Motion According to the fusion level after lumbar spine fusion: A retrospective study. *Nerve*. 2018;4(2):55-59.
- [34]. Spitzer WO, Skovron ML, Salmi LR, et al. Scientific mono-graph of the Quebec Task Force on Whiplash-Associated Disorders: redefining "whiplash" and its management. *Spine* 1995; 20(8Suppl): 1S-73S.
- [35]. Torreti J.A. and Sengupta D.K. Cervical Spine Trauma. *Indian J Orthop* 2007 Oct;41(4):255-67.
- [36]. Traynelis, V.C., Marano, G.D., Dunker, R.O., Kaufman, H.H.: Traumatic atlanto-occipital dislocation: Case report. *J Neurosurg* 1986; 65: 863-870.

- [37]. Tuli S., Charles H.T., Fehlings M.G., Mackay M. Occipital Condyle Fractures. *Neurosurgery*, Volume 41, Issue 2, August 1997, Pages 368–377.
- [38]. Waseem M., Upadhyay R., Al-Husayni H., and Agyare S. Occipital condyle fracture in a patient with neck pain. *Int J Emerg Med*. 2014; 7:5.
- [39]. Wenning KE. and Hoffmann M.F. Does isolated atlantoaxial fusion result in better clinical outcome compared to occipitocervical fusion? *Journal of Orthoedic Surgery and Research* (2020) 15:8.
- [40]. Yang S.Y., Boniello A.J., Poorman C.E., Chang A.L., Wang S., Passias P.G. A review of the diagnosis and treatment of atlantoaxial dislocations. *Global Spine J*. 2014 Aug; 4(3): 197–210.
- [41]. Yu WY, Siu CM. Seat belt injuries of the lumbar spine--stable or unstable? *Paraplegia*. 1989 Dec;27(6):450-6.



El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.

