

Patrones de desplazamiento del eje instantáneo de rotación del cuello en el movimiento de flexo-extensión. Relación con el movimiento secuencial de las vértebras

William Venegas¹, Álvaro Page^{2*}, Pilar Serra-Añó³, Marta Inglés³

¹ D. Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional.
Quito, Ecuador. e-mail: william.venegas@epn.edu.ec

^{2*} Departamento de Física Aplicada. ETSI Telecomunicación.
Universitat Politècnica de València

Camino de Vera s/n ., 46022 Valencia, España. e-mail: afpage@ibv.upv.es

³ Departament de Fisioteràpia. Universitat de València
e-mail: pilar.serra@uv.es ; marta.ingles@uv.es

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio experimental para la descripción de los axoides descritos por el eje instantáneo de rotación (EIR) del cuello en movimientos cíclicos de sujetos sanos. Se presenta un modelo de cálculo del EIR del movimiento relativo de la cabeza respecto del tórax. A partir del concepto de grado de libertad funcional se plantea un promediado del movimiento de varios ciclos y se obtiene un axoide promedio para cada individuo. Por otra parte, se ha diseñado una técnica experimental basada en videofotogrametría para la medición precisa del EIR, con un error inferior a 1 cm .

Se ha realizado un estudio con 45 sujetos sanos analizando el movimiento de flexo-extensión. La ubicación y forma de los axoides permite interpretar las zonas del cuello con mayor contribución al movimiento y demuestra la secuencialidad del movimiento de las vértebras en la flexo-extensión. Este tipo de interpretación abre la posibilidad de analizar diferencias en coordinación motora imposible de detectar a partir de las técnicas estándar basadas exclusivamente en la medida de ángulos.

Palabras clave : Biomecánica, cinemática articular, cuello

1. Introducción

La descripción completa de la cinemática articular del cuello es útil en el diagnóstico y valoración funcional del cuello. Aunque existe una extensa bibliografía sobre la descripción del movimiento cervical a partir de rangos de movimiento o de la medida continua de los ángulos articulares, son escasos los estudios en los que se analiza la cinemática completa del cuello, considerando no sólo giros sino también los desplazamientos.

En esta línea se plantean los estudios basados en el Eje Instantáneo de Rotación (EIR). El EIR es muy sensible a pequeñas alteraciones funcionales en el movimiento y tiene interés como elemento de valoración funcional [1-3, 9]. Sin embargo, su medición es también muy sensible a los errores, motivo por el cual los trabajos en esta línea utilizan una descripción del EIR basada en valores promedios o en rangos de desplazamiento, pero no han conseguido describir las trayectorias continuas del EIR, que es la característica que permite describir la movilidad y coordinación del movimiento [4]. En esta línea se plantea el presente trabajo en el que se describe funcionalmente las trayectorias descritas por el EIR y se relaciona con el movimiento secuencial de las vértebras.

2. Desarrollo

2.1. Marco teórico

El EIR de una articulación es el eje alrededor del cual se produce la rotación instantánea del segmento distal respecto del proximal. En el caso de una articulación compleja, como es el cuello, su posición equivale, en cada instante, al centroide de los ejes del movimiento relativo de cada vértebra respecto de la anterior, ponderado por la magnitud de las velocidades angulares [4]. Por tanto, su posición está asociada a la contribución relativa de las vértebras al movimiento global. En la figura 1 se ilustra este concepto [7]. EL EIR ocupa el centroide de las velocidades angulares del movimiento intervertebral. Una posición más elevada implica una mayor contribución de las vértebras superiores, mientras que un desplazamiento hacia abajo indicaría que las vértebras superiores han agotado su capacidad de movimiento y el movimiento se produce por los giros de las inferiores.

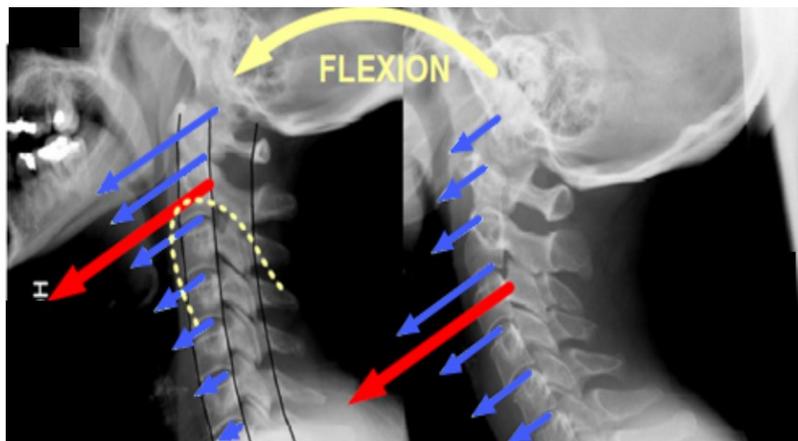


Figura 1. Interpretación del desplazamiento longitudinal del EIR en el movimiento de flexo-extensión. La posición del EIR del movimiento completo es el eje central (equivalente a un centro de gravedad) del sistema de vectores asociados a las velocidades angulares entre cada pareja de vértebras. Por tanto, un desplazamiento continuo del EIR a lo largo del cuello indica un movimiento secuencial de las vértebras [7]

En definitiva, la forma y longitud de la trayectoria del EIR durante el movimiento del cuello está relacionada con la secuencialidad del movimiento y puede servir como indicador de alteraciones en el patrón de movimiento mucho más sensibles que las clásicas variables basadas en rangos articulares.

2.2. Planteamiento del problema

La utilidad del EIR en la valoración funcional del cuello depende de sus propiedades clinimétricas, validez y fiabilidad, y también de disponer de medidas de referencias en población sana con la que establecer diferencias para diferentes patologías o niveles de severidad de lesiones.

Hay que señalar que, en los trabajos publicados sobre el EIR [1-3] no se suele describir una trayectoria continua del EIR sino un haz discontinuo de ejes. Este tipo de registros discontinuos se deben a errores accidentales del orden de centímetros, asociados a la falta de precisión en la técnica de medida, como se ha demostrado en [7]. Por tanto, es discutible que una técnica con escasa precisión sea posteriormente fiable.

La validez de nuestro método de medida ha sido establecida previamente, demostrándose que la técnica de medición con video fotogrametría permite la medida con una precisión de 1 mm en la posición

[5]. Por otra parte, en [8] se realizó un estudio de fiabilidad entre operadores y entre sesiones, obteniéndose un error estándar de la medida inferior a 1 cm para los valores numéricos (medias y rangos de desplazamiento,), mientras que el del orden de 1 cm en las variables promedio y menor de 7 mm para las curvas continuas. El coeficiente de correlación intraclase fue de 0.85 para las variables numéricas y del orden de 0.95 para las funcionales.

Por tanto, una vez comprobada la validez del método de medida y que la trayectoria del EIR es reproducible al ser medida por diferentes operadores en distintas sesiones, se ha planteado definir una base normativa de personas sanas, para disponer de patrones de normalidad en el movimiento de flexo- extensión del cuello.

2.3. Método

2.3.1 Participantes

Un grupo de 45 sujetos sanos voluntarios participaron en las pruebas (24 hombres y 21 mujeres). Todos los sujetos firmaron el formulario de consentimiento informado de acuerdo con los protocolos del Comité de Ética de la UPV.

2.3.2 Pruebas

Las pruebas consistieron en al menos siete movimientos cíclicos continuos aproximados en el plano sagital (flexo-extensión). Cada sujeto realiza el gesto de manera natural por 30 segundos bajo el protocolo descrito en [7].

2.3.3 Diseño experimental

Los experimentos se realizaron con un equipo de videofotogrametría de (Kinescan-IBV) con una precisión inferior a 0.5 mm [6] y frecuencia de muestreo de 200 fps. Se registran los movimientos del cuello capturando la posición de un conjunto de marcadores reflectantes anatómicos y técnicos situados sobre la cabeza del sujeto.

Se instrumentó a cada sujeto con una diadema con 8 marcadores técnicos y un sistema de 5 marcadores anatómicos para determinar el sistema de referencia ligado a la [8]. Una vez efectuada la medida de referencia, se retiraba la instrumentación de los marcadores anatómicos del sujeto.

2.3.4 Análisis cinemático

A partir de las coordenadas medidas por el sistema de fotogrametría, se calculan las variables cinemáticas del movimiento (desplazamientos, giros, velocidades lineales y angulares y posición del EIR) utilizando algoritmos descritos en [5]. Los movimientos cíclicos son separados y superpuestos mediante una normalización escalada del tiempo de 0-100 % del ciclo de movimiento.

2.3.5 Tratamiento de datos

Los movimientos del EIR son filtrados en sus extremos donde la velocidad angular es inferior a un umbral [6]. Sobre las curvas superpuestas se obtiene un promedio de los 7 ciclos analizados, que constituye la característica asociada a cada sujeto en una curva media. Para la descripción de variables y de sistemas de referencia se ha usado las convenciones y criterios propuestos por la Asociación Internacional de Biomecánica (ISB).

2.4 Resultados

2.4.1 Participantes

La muestra de participantes estuvo formada por 24 hombres y 21 mujeres, con una edad media de 35.6 años (desviación típica, $\sigma = 8.9$ años). La talla media fue de 167.4 cm ($\sigma = 7.4$ cm) y un peso promedio de 71.2 kg ($\sigma = 13.7$ kg).

2.4.2 Análisis descriptivo

En la tabla 1 se muestran los resultados de la posición más elevada y desplazamiento del EIR durante el movimiento de flexo-extensión, expresado en el sistema de referencia anatómico cuello centro está aproximadamente a la altura del canal auricular.

La posición más alta del EIR, que corresponde a la posición neutra como se describirá más adelante, está prácticamente centrada en el plano coronal (X del orden de 0.5 cm), pero claramente por debajo del origen anatómico (Y del orden de -7 cm). No hay diferencias en esta posición entre hombres y mujeres, ni tampoco en los movimientos de flexión y extensión.

En cuanto al rango de desplazamiento del EIR, es del orden de 5 cm en la dirección anteroposterior (Eje X) y mucho más grande en la dirección vertical (eje Y) del orden de 10 cm en el movimiento de extensión. Hay diferencias significativas entre hombres y mujeres: las mujeres presentan un rango de desplazamiento longitudinal del EIR significativamente mayor que los hombres.

Tabla 1. Descriptivo de la posición y desplazamiento del EIR en el movimiento de FE, 45 sujetos sanos. (+): Flexión; (-) Extensión. Todas las medidas están en centímetros

Variable	Fase	Global		Hombres		Mujeres		p
		\bar{X} (σ)						
EIR X máx.	(-)	0.39 (1.89)	0.44 (1.90)	0.34 (1.93)	0.322			
	(+)	0.75 (1.62)	0.92 (1.70)	0.58 (1.55)	0.892			
EIR Y máx.	(-)	-6.82 (1.79)	-7.43 (1.88)	-6.18 (1.47)	0.140			
	(+)	-6.95 (1.71)	-7.78 (1.61)	-6.09 (1.38)	0.003			
EIR X rango	(-)	5.20 (1.91)	4.83 (1.93)	5.59 (1.84)	0.005			
	(+)	4.80 (1.74)	4.68 (1.79)	4.92 (1.71)	0.114			
EIR Y rango	(-)	9.70 (2.86)	8.99 (2.96)	10.45 (2.62)	0.017			
	(+)	7.74 (2.32)	7.20 (2.43)	8.30 (2.11)	0.016			

\bar{X} : Media; σ : Desviación estándar; $p < 0.05$ existe diferencias significativas entre sexo

En la figura 2 se muestran las trayectorias del EIR en los movimientos de flexión y extensión, junto con una representación de su ubicación aproximada en un modelo de cuello promedio. En este estudio no se han realizado radiografías, por lo que la representación anatómica es solo aproximada.

Como puede verse, el EIR describe una trayectoria en forma de letra ρ tanto en la flexión como en la extensión. La parte más elevada coincide con la posición neutra y el eje se desplaza hacia abajo a medida que avanza el movimiento de flexión o de extensión.

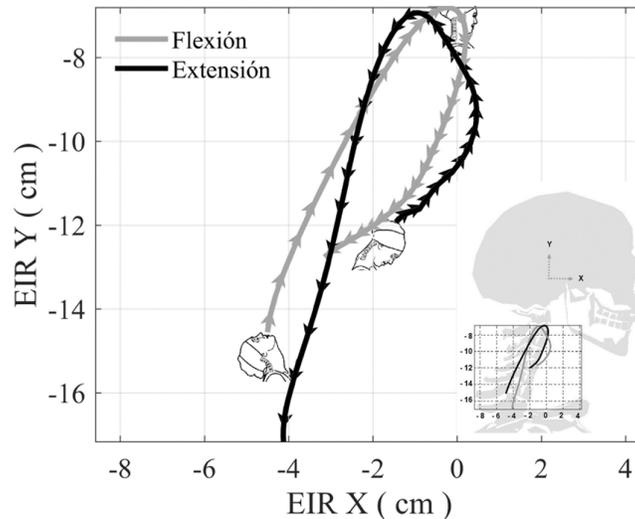


Figura 2. Desplazamiento promedio del Eje Instantáneo de Rotación del cuello en el movimiento de flexión y extensión.

2.5 Discusión

El EIR se ha mostrado como una característica del movimiento articular sensible a los cambios en el estado funcional [9]. Sin embargo, la mayoría de estudios publicados presentan el EIR como un haz discontinuo de rectas, probablemente por problemas en la precisión de la técnica de medición [1-3]. En este trabajo se ha usado una técnica experimental muy depurada, que ha permitido obtener una trayectoria continua de su desplazamiento. La forma típica es una trayectoria en forma de letra griega rho, con su punto más alto situado en las vértebras superiores, coincidiendo con la posición neutra. Esta ubicación elevada en la posición neutra implica que, en esa posición, las vértebras que más contribuyen al movimiento son las superiores. A medida que se produce el movimiento de flexión o de extensión, el eje desciende a lo largo del raquis, lo que puede explicarse como un movimiento secuencial de las vértebras, de manera que se incorporan las inferiores a medida que se va agotando el rango de movimiento relativo de las superiores. Por tanto, el mayor o menor desplazamiento del EIR está relacionado con la movilidad y secuencialidad del movimiento intervertebral. En sujetos sanos, este desplazamiento es bastante acusado, del orden de 10 cm de media en el movimiento de extensión. Hay diferencias significativas entre hombres y mujeres. Las mujeres presentan un rango de desplazamiento mayor, lo que implica que el desfase y la secuencialidad de los movimientos intervertebrales es mayor. Esto se asocia a una mayor movilidad del raquis cervical, lo que coincide con estudio previos [7-8].

En trabajos futuros analizaremos las diferencias entre los patrones sanos y patológicos, con la hipótesis que las pérdidas funcionales implican una pérdida de movilidad y una alteración de la coordinación del movimiento intervertebral que tendrán un claro reflejo tanto en la posición más elevada como en el rango de desplazamiento del EIR.

3. Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Economía Industria y Competitividad del Gobierno de España (proyecto de investigación DPI2013-44227-R) y por la Escuela Politécnica Nacional de Quito, Ecuador (Proyecto PIJ-15-08).

4. Referencias

- [1] Alsultan, F., Cescon, C., De Nunzio, A. M., Barbero, M., Heneghan, N. R., Rushton, A., & Falla, D. (2019). Variability of the helical axis during active cervical movements in people with chronic neck pain. *Clinical Biomechanics*, 62, 50-57.
- [2] Barbero, M., Falla, D., Clijsen, R., Ghirlanda, F., Schneebeli, A., Ernst, M. J., & Cescon, C. (2017). Can parameters of the helical axis be measured reliably during active cervical movements?. *Musculoskeletal Science and Practice*, 27, 150-154.
- [3] Cescon, C., Cattrysse, E., & Barbero, M. (2014). Methodological analysis of finite helical axis behavior in cervical kinematics. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 24(5), 628-635.
- [4] Page, Á., De Rosario, H., Gálvez, J. A., & Mata, V. (2011). Representation of planar motion of complex joints by means of rolling pairs. Application to neck motion. *Journal of biomechanics*, 44(4), 747-750.
- [5] Page, Á., De Rosario, H., Mata, V., & Atienza, C. (2009). Experimental analysis of rigid body motion. A vector method to determine finite and infinitesimal displacements from point coordinates.
- [6] Page, A., Galvez, J. A., de Rosario, H., Mata, V., & Prat, J. (2010). Optimal average path of the instantaneous helical axis in planar motions with one functional degree of freedom. *Journal of biomechanics*, 43(2), 375-378.
- [7] Venegas Toro, W. R. (2021). Modelado biomecánico del cuello basado en la imagen cinemática de la función articular para su aplicación en tecnologías para la salud y el bienestar del ser humano (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- [8] Venegas, W., Marta, I., Page, Á., & Pilar, S. A. (2020). Paths of the cervical instantaneous axis of rotation during active movements—patterns and reliability. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 58(5), 1147-1157.
- [9] Woltring, H. J., Long, K., Osterbauer, P. J., & Fuhr, A. W. (1994). Instantaneous helical axis estimation from 3-D video data in neck kinematics for whiplash diagnostics. *Journal of biomechanics*, 27(12), 1415-1432.