**¿Es menos lesivo tensar los músculos ante un posible frenado de emergencia?**

**Silvia Santos-Cuadros1, Sergio Fuentes-del Toro 2, Ester Olmeda-Santamaría 3, José Luis San Román-García 4**

1,2,3,4Instituto de Seguridad de los Vehículos Automóviles “Duque de Santomauro” (ISVA). Grupo MECATRAN (Mecánica Experimental, Cálculo y Transportes). Dpto. Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid (UC3M), España.

1ssantos@ing.uc3m.es 2sfuentes@ing.uc3m.es 3eolmeda@ing.uc3m.es 4jlsanro@ing.uc3m.esmailto:sfuentes@ing.uc3m.es

**Resumen**

Este trabajo analiza el comportamiento muscular cervical ante un frenado de emergencia dependiendo de si el ocupante es consciente o no del frenado con antelación. Dieciocho voluntarios participaron en dos ensayos de frenado: en uno no conocían el instante de frenado manteniendo los músculos relajados, mientras que en el otro eran advertidos del frenado tensando el cuello previamente. Para evaluar el comportamiento muscular se utilizó electromiografía de superficie sobre los músculos trapecio y esternocleidomastoideo. Se observó que la edad y el género son características más significativas cuando los pasajeros son advertidos del frenado, especialmente durante el post-frenado. Esta fase es particularmente preocupante cuando los sujetos están relajados. Por otro lado, los jóvenes logran una mayor actividad muscular cuando son conscientes del evento, logrando una mayor estabilidad corporal durante el frenado. Mientras que cuando se desconoce el momento del frenado, conforme aumenta la edad, existe un mayor riesgo cervical.

**Palabras clave:** seguridad vial; frenado autónomo; lesión cervical; electromiografía.

**Abstract**

This work analyzes cervical muscle behavior during emergency braking depending on whether the occupant is aware of the braking in advance. Eighteen volunteers participated in two braking tests: in one, they were unaware of the instant of braking while keeping their muscles relaxed, while in the other, they were warned of braking by tensing their neck beforehand. Surface electromyography of the trapezius and sternocleidomastoid muscles was used to evaluate muscle behavior. It was observed that age and gender are more significant characteristics when passengers are warned of braking, especially during post-braking. This phase is of particular concern when subjects are relaxed. On the other hand, young people achieve greater muscle activity when they are aware of the event, achieving greater body stability during braking. While when the moment of braking is unknown, as age increases, there is a greater cervical risk.

**Keywords:** road safety; autonomous braking; cervical injury; electromyography.

# Introducción

Los fallecidos y heridos graves como consecuencia de los siniestros viales siguen constituyendo un importante problema de salud pública con amplias consecuencias tanto sociales como económicas. Sin embargo, a pesar de lo que mucha gente pueda creer, los siniestros viales son evitables. La protección ofrecida por los vehículos a través de los llamados sistemas ADAS (*Assistance and Driving Aid System*, Sistemas de Asistencia al Conductor) puedan contribuir considerablemente a reducir este problema. Entre estos sistemas, destaca el Frenado de Emergencia Autónomo (AEB, Autonomous Emergency Braking), obligatorio, además, en los nuevos diseños de vehículos desde julio de 2022. Aunque este sistema evitará el impacto en muchos casos, podrá suponer importantes frenados de emergencia, lo que implicará nuevos patrones de lesión típicos que deben ser analizados. El que no se produzca un impacto, no supone que no se produzcan lesiones en los ocupantes, puesto que los frenazos repentinos pueden traducirse en un potencial riesgo para la columna cervical.

Hay estudios [1,2] que afirman que los músculos son el principal tejido que sufre daños en el cuello, especialmente en casos a baja velocidad. Durante una carga dinámica, los músculos cervicales tienden a contraerse con el fin de rigidizar el conjunto cabeza-cuello-torso para reducir así el movimiento de la columna. Sin embargo, el periodo durante el cual el músculo se tensa depende de la conciencia del usuario [3]. Aquellas personas que conocen con anterioridad cuándo se va a producir el evento, contraen sus músculos antes del impacto o evento en cuestión. Mientras que, aquellos que no son conscientes contraen el tejido muscular durante el evento como un acto reflejo. En este sentido, hay investigadores que afirman que, en el caso de un posible siniestro, no hay diferencias relacionadas con la conciencia del momento del accidente [4], por lo que estar relajados podría ser menos dañino. Por el contrario, hay otros estudios [5] que sugieren lo opuesto, que contraer los músculos antes de un posible incidente sería una opción menos lesiva pues esto supondría un menor movimiento relativo entre cabeza y torso al rigidizar el cuello. Surge así la pregunta de si ante un posible frenado de emergencia, qué situación podría implicar menos riesgo de lesión cervical: ¿estar relajado? ¿O tensar el cuello antes del frenazo? En otras palabras, ¿debería el sistema AEB avisar a los ocupantes antes de un posible evento? ¿O sería mejor que no avisase para que los ocupantes estuviesen relajados?

Analizar si existen diferencias en el comportamiento muscular del cuello dependiendo de si los músculos están relajados o contraídos antes de un frenado de emergencia es el principal objetivo de este trabajo. Para ello, se llevarán a cabo dos tipos de ensayos en un vehículo autónomo. En primer lugar, se realizará un frenado de emergencia en el que el usuario desconoce el momento del frenado de emergencia, asegurando por tanto que sus músculos están relajados. En el segundo ensayo, el ocupante del vehículo será consciente del instante de frenado, pidiéndole que tense el cuello previamente. El comportamiento de la respuesta muscular será registrado mediante sensores de electromiografía de superficie (sEMG, *surface electromyography*) localizados en los músculos cervicales superficiales más influyentes en caso de frenado de emergencia [6-9]: el esternocleidomastoideo (ECM) y el trapecio (TRP).

Por otro lado, la mayoría de los modelos biomecánicos utilizados en ensayos experimentales, así como gran parte de los sistemas de seguridad vial están basados en datos provenientes del género masculino, sin considerar posibles diferencias antropométricas entre hombre y mujer. Por tanto, los accidentes simulados, en ocasiones, no predicen adecuadamente las posibles lesiones en el género femenino. Además, hay estudios [10] que afirman que las mujeres tienen mayor riesgo de esguince cervical en caso de accidente de tráfico. A lo anterior habría que añadir la vulnerabilidad ante los siniestros viales de las personas mayores, debido a la menor resistencia de su cuerpo a los impactos, de tal forma que la probabilidad de sufrir lesiones graves aumenta con la edad. Esto hace que los resultados de este trabajo sean analizados en función del género y edad de los participantes en el ensayo.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, las hipótesis planteadas en este trabajo son, por un lado, que la conciencia del pasajero ante un frenado de emergencia implicar diferencias en el comportamiento muscular cervical. Por otro lado, como segunda hipótesis, se plantea que existen diferencias en el comportamiento muscular cervical durante un frenado de emergencia en función del género y la edad. Contestar a estas suposiciones es el principal objetivo de este estudio.

# Metodología

## Escenarios de ensayo

Para analizar el comportamiento muscular, es esencial tener la mayor biofidelidad posible. Modelos biomecánicos tales como cadáveres o muñecos antropomórficos, e incluso algunos modelos computacionales, no son adecuados para analizar el comportamiento de este tejido, al carecer de este tipo de respuesta. Por esta razón, en este trabajo participarán 18 voluntarios (44% mujeres y 56% hombres), consiguiendo la mayor biofidelidad muscular posible. Estos voluntarios fueron sometidos a dos situaciones de frenado de emergencia autónomo, donde la principal diferencia era la conciencia o no del pasajero sobre el instante del frenado. De tal forma que, en el primer ensayo, el ocupante desconocía el momento del frenado y se le pedía mantener el cuello relajado. Mientras que, en el segundo ensayo, el voluntario era avisado previamente del instante en el que se producía el frenado pidiéndole que tensara los músculos del cuello previamente. En ambos casos, los ocupantes viajaban en el interior de un vehículo autónomo a favor de la marcha.

Los voluntarios tenían entre 22 y 54 años de edad (31.9 ± 8.8 años), son un peso entre 47 y 90 kg (66.3 ±13.1 kg), y una altura entre 154 y 189 cm (170.8 ± 9.9 cm).

La participación en este estudio era completamente voluntaria. La condición para participar era estar sano y no tener ninguna lesión que pudiese verse agravada por su participación en estos ensayos. No obstante, el experimento estaba diseñado de forma que los frenados de emergencia provocados estuviesen en niveles de deceleración que no implicasen ningún daño, estando siempre dentro de los límites fisiológicos admisibles. Antes de participar, el equipo de investigación explicó el objetivo del estudio, la metodología a seguir, la instrumentación usada, así como los posibles riesgos a los voluntarios. Si, tras recibir esta información, los voluntarios querían participar debían firmar el consentimiento informado que registraba todo lo anterior. Sin embargo, si durante los ensayos, algún participante deseaba abandonar el estudio, podía hacerlo en cualquier momento. El protocolo seguido en este trabajo reúne los requisitos para investigar con seres humanos según la Declaración de Helsinki.

## Material

El equipamiento utilizado en este estudio consistió en:

* Un autobús autónomo (EasySmile EZ10) de 6 plazas sin conductor diseñado para mobilidad autónoma inteligente.
* Marcadores reflectantes de posición.
* Equipo de electromiografía de superficie, consistente en una placa Arduino Mega y sensores sEMG de bajo coste. El sistema fue programado mediante un ordenador portátil a través de Simulink y Matlab. Este sistema fue previamente validado [11,12].
* Cámara de alta velocidad (Sony DSC-RX0).

## Procedimiento de ensayo

El procedimiento experimental seguido en este trabajo se puede resumir en los siguientes pasos:

**Paso 1:** Explicación de los ensayos a los voluntarios y firma del consentimiento informado.

**Paso 2:** Cuestionario previo al ensayo para registrar datos antropométricos del voluntario y verificar si su estado de salud era adecuado para participar en el estudio.

**Paso 3:** Colocación de sensores de electromiografía de superficie (sEMG) sobre los músculos cervicales esternocleidomastoideo (ECM) y trapecio (TRP) del voluntario. Colocación, además, de marcadores reflectantes de posición en la cabeza, columna, torso y pelvis del ocupante. El objetivo de estos marcadores era registrar el movimiento del pasajero durante el frenado de emergencia mediante una cámara de alta velocidad.

**Paso 4:** Frenados de emergencia:

* **Frenado de emergencia 1 (FE1):** el sujeto, que viaja a favor de la marcha mirando al frente, desconoce el momento de frenado, mientras otra persona en frente de él le va hablando para que permanezca relajado y no tense los músculos cervicales antes del instante de frenado (ver Figura 1).
* **Frenado de emergencia 2 (FE2):** el sujeto, que viaja a favor de la marcha mirando al frente, conoce el momento de frenado, y se le pide que tense los músculos del cuello previamente a ese instante.

**Paso 5:** Cuestionario posterior al ensayo para verificar que el voluntario no ha sufrido ningún tipo de daño durante los ensayos.



**Figura 1.** Esquema de ensayo de frenado de emergencia (voluntario sentado a la izquierda a favor de la marcha).

## Método de análisis

Dado que las señales de electromiografía son sensibles a posible ruido, éstas deben ser filtradas antes de poder analizar los resultados. El ruido de fondo y posteriormente el ruido principal fueron identificados mediante la Transformada Rápida de Fourier. En consecuencia, se aplicaron dos filtros: filtro paso banda Butterworth (40-100 Hz, orden 4) y filtro *stopband* Butterwrorth (45-55 Hz, orden 4). Una vez filtradas, las señales fueron normalizadas basándose en los niveles medios de activación obtenidos durante el ensayo [13].

Posteriormente, a través de un script en Matlab, se extrajeron los parámetros de amplitud y valor máximo de la señal sEMG, para cada músculo (ECM y TRP) y voluntario, registrados durante ambos ensayos (EF1 y EF2).

# Resultados

Los resultados se analizan diferenciando dos fases durante el frenado. Una primera fase (fase de frenado) correspondiente al periodo durante el cual el vehículo se encuentra frenando hasta que finalmente se para. Y una segunda fase (post-frenado) posterior al frenado, que comprende el periodo desde que el vehículo se para hasta que el pasajero para de moverse por completo hasta que logra estabilizarse. La diferente inercia y el movimiento causado por la repentina deceleración, provoca que el ocupante siga moviéndose hasta que algo frene la excursión de su cuerpo, ya sea la resistencia ofrecida por sus propios músculos o el asiento del vehículo. En la figura 2 se muestra a modo de ejemplo la señal muscular de un voluntario durante ambos ensayos diferenciando las dos fases mencionadas.



**Figura 2.** Respuesta muscular de la señal sEMG de los músculos trapecio (color naranja) y esternocleidomastoideo (color azul) de un voluntario durante: a) fase de frenado de FE1, (b) fase de post-frenado de EF1, (c) fase de frenado de FE2 y (d) fase de post-frenado de FE2.

Se debe recalcar que debemos poner especial atención al comportamiento del trapecio, pues cuando los pasajeros viajan a favor de la marcha y se produce un frenazo, este músculo es esencial en tratar de retener el movimiento de la cabeza respecto del torso.

En la tabla 1 se muestran los valores de amplitud y valores máximos para el frenado de emergencia 1 (FE1) según los parámetros μ (valor medio) y PPSM (Porcentaje de Personas Sobre la Media). Los resultados se clasifican en función del género.

**Tabla 1.** Resultados de la señal sEMG para FE1 según género.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Género | Parámetro | Músculo | **Frenado** | **Post-frenado** |
| FE1 | FE1 |
| **μ** | **PPSM** | **μ** | **PPSM** |
| ♂ | Amplitud | **TRP** | 54.9 | 11.1 | 61.5 | 22.2 |
| **ECM** | 21.5 | 11.1 | 24.8 | 16.7 |
| ♀ | Amplitud | **TRP** | 51.5 | 16.7 | 61.2 | 11.1 |
| **ECM** | 35.1 | 16.7 | 41.6 | 16.7 |
| ♂ | Valor máximo | **TRP** | 24.3 | 5.6 | 42.6 | 22.2 |
| **ECM** | 14.5 | 11.1 | 11.9 | 5.6 |
| ♀ | Valor máximo | **TRP** | 15 | 16.7 | 33.5 | 5.6 |
| **ECM** | 13.5 | 11.1 | 20.6 | 16.7 |

Fuente: elaboración propia.

Tras analizar los resultados, podemos observar que en el caso del ensayo FE1 (sin avisar al voluntario del instante de frenado), los hombres experimentan una mayor intensidad de señal sEMG del TRP en ambas fases (frenado y post-frenado); mientras que las mujeres muestran una mayor respuesta del ECM, especialmente en la etapa de post-frenado. En cualquier caso, se registran mayores valores de señal sEMG en la fase posterior al frenado, tanto para mujeres como hombres.

Cuando los ocupantes no son avisados del frenado de emergencia, y mantienen los músculos cervicales previamente relajados, la fase post-frenado parece indicar un mayor riesgo de lesión cervical, ya que se alcanzan mayores valores de la señal electromiográfica tanto en los hombres como en las mujeres. Esto puede ser debido a que, una vez que el vehículo ha parado, el pasajero continúa moviéndose, experimentando una serie de rebotes, moviendo la cabeza adelante y atrás varias veces hasta que finalmente logra estabilizarse. Esta situación provoca una sobrecarga en el cuello, alternando la actividad de los músculos cervicales ECM y TRP hasta que logran frenar el movimiento de la cabeza con respecto del torso.

En la tabla 2 se muestran los resultados generales para el frenado de emergencia 2 (FE2), clasificados en función del género.

**Tabla 2.** Resultados de la señal sEMG para FE2 según género.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Género | Parámetro | Músculo | **Frenado** | **Post-frenado** |
| FE2 | FE2 |
| **μ** | **PPSM** | **μ** | **PPSM** |
| ♂ | Amplitud | **TRP** | 62.6 | 5.6 | 130 | 22.2 |
| **ECM** | 26.4 | 16.7 | 100.4 | 22.2 |
| ♀ | Amplitud | **TRP** | 78.5 | 16.7 | 48 | 11.1 |
| **ECM** | 49.7 | 11.1 | 37.2 | 11.1 |
| ♂ | Valor máximo | **TRP** | 26.1 | 5.6 | 68.9 | 22.2 |
| **ECM** | 11.3 | 16.7 | 41.9 | 22.2 |
| ♀ | Valor máximo | **TRP** | 32.3 | 16.7 | 23.3 | 16.7 |
| **ECM** | 14.9 | 16.7 | 9.3 | 5.6 |

Fuente: elaboración propia.

En el caso del ensayo FE2 (con aviso al ocupante del instante de frenado), las mujeres experimentan mayores valores de señal sEMG en ambos músculos en la fase de frenado; mientras que los hombres registran mayor respuesta cervical, tanto del TRP como del ECM, en la fase post-frenado.

Por tanto, cuando los ocupantes de un vehículo son advertidos del instante del frenado y tensan los músculos cervicales previamente, las diferencias debidas al género son mucho más acusadas en la fase posterior al frenado del vehículo, siendo los hombres más sensibles a la fase post-frenado mientras que las mujeres parecen verse más afectadas en este caso durante la fase de frenado. Esta mayor actividad muscular de los hombres durante la fase post-frenado podría tener dos explicaciones: o bien, sus músculos están sufriendo más (por tanto, mayor riesgo de lesión), o bien ellos están activando y/o tensando más los músculos lo que puede traducirse en un menor movimiento relativo de la cabeza con respecto al torso. Esto último podría suponer un menor riesgo de lesión ósea a nivel de las vértebras cervicales, ya que existe un menor movimiento relativo entre la cabeza y el torso. Sin embargo, el hecho de registrar mayor actividad en la señal sEMG podría también implicar un mayor riesgo de lesión a nivel muscular en el cuello. Por el contrario, las mujeres, cuando son avisadas y tensan los músculos antes, registran menores valores en la fase de post-frenado. Esto podría deberse a un mayor movimiento relativo entre cabeza y torso. De tal forma que la menor señal sEMG tras la fase de frenado podría indicar que las mujeres (después del tensado inicial del músuclo debido al aviso) relajan los músculos antes y se oponen menos al movimiento inercial de su cabeza respecto del torso. Esto traducido a riesgo de lesión, podría implicar lo contrario que en el caso de los hombres, es decir, por un lado un menor riesgo de lesión muscular (menor valor de señal sEMG) pero un mayor riesgo de lesión ósea (mayor movimiento relativo cabeza-torso). En cualquier caso, podemos observar que el comportamiento cervical observado de los hombres y las mujeres es completamente opuesto cuando los ocupantes son advertidos del frenado y tensan los músculos previamente. Estos resultados pueden ser explicados atendiendo a diferencias antropométricas debidas al género. Por ejemplo, las mujeres suelen ser más bajas, tener un menor tamaño de vértebra, menor masa de cabeza, y menor masa muscular. Como consecuencia de ello, las mujeres experimentarían una respuesta combinada de la cabeza, cuello y torso a las fuerzas de un frenado de emergencia diferente.

A continuación, se analizan los resultados en función de la edad. El umbral de edad elegido para analizar si existen diferencias en el comportamiento muscular según la edad es 35 años, límite conocido como el comienzo de de la edad media temprana. Desde esta edad, se comienza a perder masa muscular y se reduce la flexibilidad. En la tabla 3 se muestran los resultados generales para el frenado de emergencia 1 (FE1), clasificados en función de la edad, dividiendo la muestra en dos franjas: menores o igual a 35 años, y mayores de 35 años.

**Tabla 3.** Resultados de la señal sEMG para FE1 según edad.

|  |  |
| --- | --- |
|  | ♀ |
| **Frenado** (FE1) | **Post-frenado** (FE1) |
| Parámetro | Edad | **≤35** | **>35** | **≤35** | **>35** |
| Músculo | **μ** | **μ** | **μ** | **μ** |
| % | Amplitud | **TRP** | 28.6 | 82 | 31.3 | 101.2 |
| **ECM** | 39.6 | 29.2 | 35.3 | 50 |
| % | Valor máximo | **TRP** | 9.9 | 21.8 | 17 | 55.5 |
| **ECM** | 18.8 | 6.5 | 18.4 | 23.4 |
|  | ♂ |
| **Frenado** (FE1) | **Post-frenado** (FE1) |
| Parámetro | Edad | **≤35** | **>35** | **≤35** | **>35** |
| Músculo | **μ** | **μ** | **μ** | **μ** |
| % | Amplitud | **TRP** | 54.9 | 54.6 | 59.5 | 75.9 |
| **ECM** | 22.7 | 13.1 | 26.1 | 15.1 |
| % | Valor máximo | **TRP** | 25 | 19.4 | 41 | 53.4 |
| **ECM** | 15.4 | 8.6 | 12.6 | 7.6 |

Fuente: elaboración propia.

Cuando los ocupantes no son avisados del instante de frenado (ensayo FE1), se observan incrementos de la señal sEMG del TRP en sujetos mayores de 35 años, independientemente del género, en la fase post-frenado. Estos aumentos son más significantes en el caso de las mujeres. En el caso de la fase de frenado, las mujeres mayores de 35 años continúan experimentando mayores valores de la señal sEMG. Sin embargo, los hombres no muestran grandes cambios en la señal registrada durante la fase de frenado en dunción de su edad.

Incluyendo el factor edad en el análisis, los mayores valores de señal sEMG se siguen registrando tras detenerse el vehículo, es decir, durante la fase de post-frenado, independientemente de la edad y del género. Por otro lado, las mujeres muestran mayor actividad muscular en el SCM que los hombres en ambos ensayos y en todo el rango de edad. Por su parte, los hombres menores o igual a 35 años experimentan mayor actividad del TRP en ambas fases. Sin embargo, cuando los hombres son mayores de 35 años, muestran menor valor de la señal sEMG del TRP que las mujeres.

En la tabla 4 se muestran los resultados generales para el frenado de emergencia 2 (FE2), clasificados en función de la edad.

**Tabla 4.** Resultados de la señal sEMG para FE2 según edad.

|  |  |
| --- | --- |
|  | ♀ |
| **Frenado** (FE1) | **Post-frenado** (FE1) |
| Parámetro | Edad | **≤35** | **>35** | **≤35** | **>35** |
| Músculo | **μ** | **μ** | **μ** | **μ** |
| % | Amplitud | **TRP** | 95.7 | 49.8 | 48.1 | 47.7 |
| **ECM** | 68.9 | 17.6 | 39.5 | 33.4 |
| % | Valor máximo | **TRP** | 34.1 | 29.4 | 28.7 | 14.3 |
| **ECM** | 20.3 | 5.7 | 11.6 | 5.4 |
|  | ♂ |
| **Frenado** (FE1) | **Post-frenado** (FE1) |
| Parámetro | Edad | **≤35** | **>35** | **≤35** | **>35** |
| Músculo | **μ** | **μ** | **μ** | **μ** |
| % | Amplitud | **TRP** | 70.4 | 31.6 | 144.8 | 70.7 |
| **ECM** | 32.1 | 3.9 | 123.4 | 8.3 |
| % | Valor máximo | **TRP** | 29.6 | 12.4 | 75.2 | 43.9 |
| **ECM** | 13.6 | 2.2 | 51.5 | 3.3 |

Fuente: elaboración propia.

Cuando los sujetos son advertidos del frenado y tensan los músculos cervicales previamente, se observa que los sujetos menores o igual a 35 años sufren importantes incrementos de la intensidad de la señal sEMG para ambos músculos, independientemente del género, y en ambas fases. Cabe destacar en este caso que las mujeres experimentan menores valores de la señal en la fase post-frenado. Mientras que, por el contrario, los hombres experimentan mayores valores en la fase posterior al frenado. Por otro lado, en la fase de frenado, las mujeres mayores de 35 años siguen mostrando mayores valores de la señal sEMG. Sin embargo, no se observan grandes cambios en la señal dependiendo de la edad en el caso de los hombres durante la fase de frenado.

Cuando los ocupantes están relajados al no ser avisados de un posible frenado de emergencia, los resultados indican que conforme aume22.7nta la edad, existe un mayor riesgo de lesión cervical, especialmente en la fase posterior al frenado, cuando los pasajeros no son avisados del frenado de emergencia y mantienen, por tanto, sus músculos cervicales relajados previamente. Esto puede ser debido a que conforme aumenta la edad, se pierde masa muscular y, con ello, fuerza muscular. Este hecho biológico es más pronunciado en las mujeres.

Sin embargo, cuando se avisa a los ocupantes del inminente frenado y éstos tensan los músculos, se observan diferencias. En este caso, los sujetos menores o igual a 35 años muestran incrementos en la intensidad de señal sEMG en ambos músculos, independientemente del género y en ambas fases. Esto puede deberse a que la gente joven al poseer mayor fuerza muscular y ser advertidos de que tensen el cuello previo al frenado, pueden estar activando más conscientemente el músculo para intentar frenar la excursión de su cuerpo durante el frenado. En el caso particular de las mujeres, las mayores de 35 años experimentan mayores valores de la señal en la fase de frenado, mientras que los hombres registran las mayores magnitudes en la fase de post-frenado.

# Conclusiones

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se puede concluir que existen diferencias en el comportamiento muscular cervical debidas al género y la edad durante un frenado de emergencia, siendo estas diferencias más acusadas cuando los sujetos son advertidos del instante de frenado y tensan los músculos del cuello previamente. También se observan diferencias dependiendo de la fase de frenado.

Del ensayo donde los sujetos permanecen con los músculos cervicales relajados y no son informados sobre el instante de frenado se pueden extraer las siguientes conclusiones:

* Los hombres muestran mayor actividad en el trapecio (especialmente, en los menores o igual a 35 años); mientras que las mujeres activan más el esternocleidomastoideo.
* La fase posterior a la parada del vehículo (post-frenado) parece implicar mayor riesgo de lesión cervical, independientemente del género.
* Los sujetos mayores de 35 años registran mayor actividad del trapecio en la fase post-frenado. Estos incrementos son más significantes en las mujeres. Por tanto, conforme aumenta la edad, existe un mayor riesgo de lesión cervical cuando no existe aviso de frenado de emergencia.

Por otro lado, del ensayo donde los sujetos son avisados del instante de frenado y tensan los músculos cervicales previamente, se puede concluir que:

* Las diferencias son más notables cuando los sujetos están avisados, y tensan los músculos.
* Las mujeres experimentan mayor actividad muscular durante la fase de frenado, mientras que los hombres lo hacen durante la fase de post-frenado.
* Los sujetos menores o igual a 35 años muestran mayores incrementos en la intensidad de la señal electromiográfica en ambos músculos, independientemente del género y la fase de frenado.
* Los voluntarios más jóvenes logran estabilizar antes su movimiento tensando más los músculos.

Es importante destacar que las diferencias debidas al género son más pronunciadas durante la fase de post-frenado, una vez que el vehículo se ha detenido.

# Referencias

[1] Brault, J.R.; Siegmund, G.; Wheeler, J.B. Cervical muscle response during whiplash: Evidence of a lengthening muscle contraction. Clin. Biomech. 2000, 15, 426–435. DOI: https://doi.org/10.1016/S0268-0033(99)00097-2

[2] Shea, M.;Wittenberg, R.H.; Edwards,W.T.; White, A.A.; Hayes,W.C. In Vitro hyperextension injuries in the human cadaveric cervical spine. J. Orthop. Res. 1992, 10, 911–916. DOI: https://doi.org/10.1002/jor.1100100621

[3] Siegmund, G.P.; Sanderson, D.J.; Myers, B.S.; Inglis, J.T. Awareness Affects the Response of Human Subjects Exposed to a Single Whiplash-Like Perturbation. Spine 2003, 28, 671–679. DOI: 10.1097/01.BRS.0000051911.45505.D3

[4] Magnusson, M.L.; Pope, M.H.; Hasselquist, L.; Bolte, K.M.; Ross, M.; Goel, V.K.; Lee, J.S.; Spratt, K.; Clark, C.; Wilder, D.G. Cervical electromyographic activity during low-speed rear impact. Eur. Spine J. 1999, 8, 118–125.

[5] Kumar, S.; Narayan, Y.; Amell, T. Role of awareness in head-neck acceleration in low velocity rear-end impacts. Accid. Anal. Prev. 2000, 32, 233–241. DOI: https://doi.org/10.1016/S0001-4575(99)00114-1

[6] Kuo, C.; Fanton, M.;Wu, L.; Camarillo, D. Spinal constraint modulates head instantaneous center of rotation and dictates head angular motion. J. Biomech. 2018, 76, 220–228. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.05.024

[7] Siegmund, G.P.; Sanderson, D.J.; Myers, B.S.; Inglis, J.T. Rapid neck muscle adaptation alters the head kinematics of aware and unaware subjects undergoing multiple whiplash-like perturbations. J. Biomech. 2003, 36, 473–482. DOI: https://doi.org/10.1016/S0021-9290(02)00458-X

[8] Kumar, S.; Ferrari, R.; Narayan, Y. Kinematic and electromyographic response to whiplash loading in low-velocity whiplash impacts—A review. Clin. Biomech. 2005, 20, 343–356. DOI:https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2004.11.016

[9] Lindstrøm, R.; Schomacher, J.; Farina, D.; Rechter, L.; Falla, D. Association between neck muscle coactivation, pain, and strength in women with neck pain. Man. Ther. 2011, 16, 80–86. DOI: https://doi.org/10.1016/j.math.2010.07.006

[10] Bose, D.; Segui-Gomez, S.M.; Crandall, J.R. Vulnerability of Female Drivers Involved in Motor Vehicle Crashes: An Analysis of US Population at Risk. Am. J. Public Health 2011, 101, 2368–2373.

[11] Fuentes del Toro, S.; Santos-Cuadros, S.; Olmeda, E.; Álvarez-Caldas, C.; Díaz, V.; Román, J.L.S. Is the Use of a Low-Cost sEMG Sensor Valid to Measure Muscle Fatigue? Sensors 2019, 19, 3204. DOI: https://doi.org/10.3390/s19143204

[12] Fuentes del Toro, S.; Wei, Y.; Olmeda, E.; Ren, L.; Guowu, W.; Díaz, V. Validation of a Low-Cost Electromyography (EMG) System via a Commercial and Accurate EMG Device: Pilot Study. Sensors 2019, 19, 5214. DOI: https://doi.org/10.3390/s19235214

[13] Pons, J.L.; Moreno, J.C.; Torricelli, D.; Taylor, J.S. Principles of human locomotion: A review. In Proceedings of the 2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Osaka, Japan, 3–7 July 2013; Volume 2013, pp. 6941–6944.