

TESIS DOCTORAL



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Programa de Doctorado de Ciencias de la Salud

Análisis biomecánico, mediante captura de movimiento, de la desalineación cervical en la atención al paciente con sospecha de lesión medular

Autora:

D^a. Ana Nicolás Carrillo

Director:

Dr. D. Manuel Pardo Ríos

Murcia, abril de 2024

TESIS DOCTORAL



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Programa de Doctorado de Ciencias de la Salud

Análisis biomecánico, mediante captura de movimiento, de la desalineación cervical en la atención al paciente con sospecha de lesión medular

Autora:

D^a. Ana Nicolás Carrillo

Director:

Dr. D. Manuel Pardo Ríos

Murcia, abril de 2024



AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Manuel Pardo Ríos como director de la Tesis Doctoral titulada “Análisis biomecánico, mediante captura de movimiento, de la desalineación cervical en la atención al paciente con sospecha de lesión medular” realizada por Dña. Ana Nicolás Carrillo en el Programa de Doctorado de Ciencias de la Salud, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento al Real Decreto 99/2011 de 28 de enero, en Murcia a 4 de abril de 2024.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized letter 'P' with a smaller 'm' integrated into its structure.

Manuel Pardo Ríos

RESUMEN

Introducción. La asistencia al paciente que sufre un trauma mayor o grave, es un exigente reto para los profesionales sanitarios, y, en especial, en el ámbito extrahospitalario. Se precisa un manejo experto para realizar una adecuada movilización e inmovilización de la columna vertebral, con el fin de reducir el riesgo de provocar o agravar las posibles lesiones medulares. Desafortunadamente existe una gran controversia respecto de la técnica y dispositivo idóneos; este debate se encuentra patente en el panorama científico y la práctica clínica llevada a cabo es muy heterogénea.

Objetivo. Evaluar el movimiento de la columna vertebral cervical, mediante análisis biomecánico, y el tiempo de la realización de las diferentes técnicas, en un paciente simulado con sospecha de lesión medular traumática.

Metodología. En la presente tesis se realizaron tres líneas de trabajo que se focalizan en el análisis de diferentes técnicas y recursos para el manejo de pacientes simulados con sospecha de lesión medular. Para el análisis biomecánico se usaron dispositivos inerciales que determinaron el movimiento vertebral.

Resultados. Respecto de la evaluación del movimiento vertebral resultado de retirar el casco, en motorista accidentado, en posición prona o supina, se determinó un menor movimiento en la columna vertebral empleando la técnica propuesta de retirada de casco en decúbito prono, frente a la técnica tradicional de retirada de casco en decúbito supino.

En la evaluación del movimiento durante la retirada de casco en motorista accidentado encontrado en posición supina, se evaluó la Técnica de Tracción Continua frente a Técnica en Dientes de Sierra, donde se pudo determinar que con la Técnica de Tracción Continua se reduce el tiempo de realización de la maniobra.

En el estudio de la comparativa del uso de Tabla Deslizante frente a la Camilla de Cuchara en la transferencia de pacientes con sospecha de lesión medular, se reporta que el uso de Tabla Deslizante reduce a la mitad el tiempo que requiere la transferencia, frente al uso de Camilla Cuchara.

Conclusiones. Las técnicas propuestas como mejora de la atención a pacientes con sospecha de lesión medular presentan beneficios para el paciente en

relación con su atención sanitaria. La retirada de casco en posición prona, en motoristas hallados en esta posición, supone una reducción de la desalineación cervical, lo cual es un importante hallazgo en este campo. Teniendo en consideración el tiempo de atención, el uso de la Técnica de Tracción Continua, para retirar el casco, y Tabla Deslizante, para transferencia del paciente, supone una importante reducción del mismo.

PALABRAS CLAVE

Palabras clave: Traumatismos de la Médula Espinal; Inmovilización; Atención Prehospitalaria; Motocicleta; Casco.

ABSTRACT

Introduction. Patient care for those suffering from major trauma presents a challenging task for healthcare professionals, especially in the pre-hospital setting. Expert management is required for proper mobilization and immobilization of the spinal column to reduce the risk of causing or exacerbating potential spinal injuries. Unfortunately, there is significant controversy regarding the optimal technique and device; this debate is evident in the scientific landscape and the clinical practice carried out is very heterogeneous.

Objective. To evaluate the movement of the cervical spine through biomechanical analysis, and the time taken to perform different techniques, in a simulated patient with suspected traumatic spinal injury.

Methodology. In this thesis, three lines of work were conducted focusing on the analysis of different techniques and resources for managing simulated patients with suspected spinal injuries. For the biomechanical analysis, inertial devices were used to determine vertebral movement.

Results. Regarding the evaluation of vertebral movement resulting from helmet removal in an injured motorcyclist, in prone or supine position, it was determined that there was less movement in the spinal column using the proposed helmet removal technique in the prone position, compared to the traditional helmet removal technique in the supine position.

In the evaluation of movement during helmet removal in an injured motorcyclist found in the supine position, the Continuous Traction Technique was compared with the Sawtooth Technique, where it was determined that the Continuous Traction Technique reduces the time to perform the maneuver.

In the study comparing the use of a Slide Board versus a Scoop Stretcher in the transfer of patients with suspected spinal injury, it was reported that the use of a Slide Board halves the time required for the transfer, compared to the use of a Scoop Stretcher.

Conclusions. The techniques proposed for improving care for patients with suspected spinal injuries offer benefits to the patient in terms of healthcare attention. Helmet removal in the prone position, for motorcyclists found in this position, results in a reduction of cervical misalignment, which is an important

finding in this field. Considering the time of care, the use of the Continuous Traction Technique for helmet removal, and a Slide Board for patient transfer, significantly reduces this time.

KEYWORDS

Keywords: Spinal Cord Injury, Immobilization, Prehospital Emergency Care; Motorcycles; Helmet.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis se dedica:

A todos aquellos profesionales y voluntarios que han sacrificado parte de su tiempo para implicarse prácticamente en este trabajo. Sin su colaboración habría sido imposible llevar a cabo este proyecto.

A todos mis compañeros de trabajo, que me han brindado su apoyo y los cambios de turno necesarios; gracias a todos y cada uno de vosotros. A Lorenzo, porque sin una mitad de su trabajo y una completa de su ayuda no habría logrado acabar este importante proyecto personal.

A los pacientes que he tenido a lo largo de mi vida profesional, los cuales hacen que quiera implicarme y mejorar cada vez más en mi labor asistencial.

A mi familia y amigos por su apoyo y comprensión a cada paso, por enseñarme que la distancia puede no significar nada, si uno quiere.

A Sofi, a Isa, a Monaj y a Gabarre por el apoyo y el cariño, diferente en estilo y distancia, pero muy tangible. A Sara, por haber sido mi persona, gran parte de este viaje.

Agradecer a mi madre su preocupación en cada fase, su atención extrema a todo lo que necesitara, su amor incondicional. Agradecerle ser mi modelo referencia para atreverme a llevar a cabo proyectos con los que no contaba y para los que no me sentía preparada, por enseñarme que, con esfuerzo, no hay montaña que no pueda escalar.

A mi padre, por ser un gigante al que emular desde que tengo uso de razón, por todo su cariño y enseñanzas.

A mi hermana, por impulsarme a dar el primer paso. Por saber cuidarme y dejarme cuidarla. Por tener la magia para exasperarme y hacerme sentir el amor más grande, a partes casi iguales.

A Raquel, por abrirme la puerta a esta aventura. Por su ayuda y apoyo.

A Javi y Manu, por ser excepcionales colegas de investigación; coordinando con maestría participar en cualquier estudio y advertir erratas en las revisiones finales, con brindar acompañando fatigas y logros.

A Andrés y Alberto, cuyo trabajo hace que se marque la diferencia.

A Manuel, por ser un mentor excelente y enseñarme con paciencia y entusiasmo. Este trabajo habría resultado del todo inalcanzable si él no hubiera sido mi guía y compañero a lo largo del camino. Mi agradecimiento no puede expresarse con palabras.

A Paco, por prestarme su fuerza los días en los que la mía flaquea, pero también aguantar mis disparates aquellos otros en los que quiero conquistar el mundo.

"Vive como si fueras a morir mañana. Aprende como si fueras a vivir siempre"

Mahatma Gandhi

"Nuestros pacientes no nos escogieron, nosotros hemos escogido atenderlos"

Dr. Norman McSwain

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN....5

RESUMEN7

ABSTRACT9

AGRADECIMIENTOS11

ÍNDICE GENERAL15

SIGLAS Y ABREVIATURAS19

ÍNDICE DE TABLAS.....23

ÍNDICE DE FIGURAS.....25

ÍNDICE DE ANEXOS Y APÉNDICES.....27

I - DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....30

1.1. Columna Vertebral y Médula Espinal: anatomía fisiológica básicas. 30

1.2. Lesiones Medulares: clasificación y complicaciones asociadas35

1.3. Abordaje de la Lesión Medular Traumática38

1.3.1. Epidemiología y Supervivencia38

1.3.2. Fisiopatología y clasificación de los mecanismos lesionales.....41

1.3.3. Evaluación y diagnóstico43

1.4. Atención extrahospitalaria al lesionado medular.51

1.5. Lesión Medular Traumática en motorista accidentado.....61

II - JUSTIFICACIÓN.....70

III - HIPÓTESIS Y OBJETIVOS75

3.1. Hipótesis75

3.2. Objetivos.....75

3.2.1. Objetivo general.....75

3.2.2. Objetivos Específicos.....76

IV -	METODOLOGÍA	81
4.1.	Estudios y Selección muestral.....	81
4.1.1.	Estudio I.....	82
4.1.2.	Estudio II.....	82
4.1.3.	Estudio III	83
4.2.	Análisis Biomecánico mediante captura de movimiento	83
4.3.	Desarrollo del experimento-simulación.	85
4.3.1.	Estudio I.....	85
4.3.2.	Estudio II.....	86
4.3.3.	Estudio III	87
4.4.	Análisis Estadístico	87
4.5.	Reconstrucción Digital 3D.....	88
V -	RESULTADOS.....	92
5.1.	Resultados del Estudio I	92
5.2.	Resultados del Estudio II.....	95
5.3.	Resultados del Estudio III	98
VI -	DISCUSIÓN.....	105
6.1.	Discusión del Estudio I. Comparativa en la retirada de casco integral en dos posiciones: PP y PS	106
6.2.	Discusión del Estudio II. Comparativa en la retirada de casco integral en PS de dos técnicas: TDS frente a TTC.	107
6.3.	Discusión del Estudio III. Comparativa en la transferencia del paciente con SLM del uso de TD frente a CC.	108
VII -	CONCLUSIONES	113
7.1.	Conclusión general	113
7.2.	Conclusiones específicas	113
VIII -	APLICACIONES PRÁCTICAS	117

ÍNDICE GENERAL	17
IX - LIMITACIONES.....	121
X - LÍNEAS DE FUTURA INVESTIGACIÓN.....	125
XI - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
XII - ANEXOS.....	145
.....	159

SIGLAS Y ABREVIATURAS

Las abreviaturas han sido reseñadas siguiendo orden alfabético.

AIS	Abbreviated Injury Scale
ASIA	American Spinal Injury Association
CAV	Contracción Anal Voluntaria
CC	Camilla Cuchara
CCSR	Canadian Cervical Spine Rules
DC	Desalineación Cervical
DE	Desviación Estándar
DEK	Dispositivo de Extricación Kendrick
DGT	Dirección General de Tráfico
DM	Desalineación Media
E	Extensión
F	Flexión
F-E	Flexo-extensión
FEMUE	Fundación Española de Medicina de Urgencia y Emergencia
FL	Flexión Lateral
FLD	Flexión Lateral Derecha
FLI	Flexión Lateral Izquierda
IC	Intervalo de Confianza
IMC	Índice de Masa Corporal
IMUs	Unidades de Medición Inercial
IS	Inmovilización Selectiva
ISNCSCI	International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury
ITC	Inmovilizador Tetracameral

ITLS	International Trauma Life Support
JCR	Journal Citation Reports
LME	Lesión Medular Espinal
LMT	Lesión Medular Traumática
ME	Médula Espinal
NAEMT	National Association of Emergency Medical Technicians
NEXUS	National Emergency X-Radiography Utilization Study
NICE	National Institute for Health and Care Excellence
NNL	Nivel Neurológico de Lesión
OMS	Organización Mundial de la Salud
PAP	Presión Anal Profunda
PC	Perímetro Cefálico
PHTLS	Prehospital Trauma Life Support
PIC	Presión Intra Craneal
PN	Posición Neutra
PP	Posición Prona
PS	Posición Supina
R	Rotación
R1	Rescatador uno
R2	Rescatador dos
RA	Realidad Aumentada
RCPS	Retirada de Casco en Posición Supina
RCPP	Retirada de Casco en Posición Prona
RD	Rotación Derecha
RI	Rotación Izquierda
RMN	Resonancia Magnética Nuclear
RMV	Restricción de Movimiento Vertebral
ROM	Rango de Movimiento
Rx	Radiografía por Rayos X

RV	Realidad Virtual
SC	Simulación Clínica
SEM	Servicio de Atención Médica
SNC	Sistema Nervioso Central
SLM	Sospecha de Lesión Medular
SI	Sensores Inerciales
SVAT	Soporte Vital Avanzado al Trauma
TAC	Tomografía Axial Computarizada
TD	Tabla Deslizante
TDS	Técnica Dientes de Sierra
TL	Tabla Larga
TTC	Técnica de Tracción Continua
UCAM	Universidad Católica San Antonio de Murcia
VR/AR	Laboratorio de Realidad Virtual/Realidad Aumentada
Lab	UCAM
ZPP	Zona de Preservación Parcial

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Mecanismos de LMT</i>	42
<i>Tabla 2. Signos de sospecha de lesión medular</i>	43
<i>Tabla 3. Resultados estadístico descriptivo de la variable principal</i>	93
<i>Tabla 4. Análisis comparativo de resultados obtenidos respecto de la variable principal con las posiciones de retirada de casco estudiadas.</i>	94
<i>Tabla 5. Resultados estadístico descriptivo.</i>	95
<i>Tabla 6. Análisis comparativo de resultados obtenidos de TDS frente a TTC.</i>	96
<i>Tabla 7. Resumen de contraste de hipótesis; análisis mediante prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes.</i>	98
<i>Tabla 8. Análisis comparativo de resultados obtenidos de CC frente a TD</i>	99

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Estructura de la columna vertebral humana.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2 Movimientos de la columna vertebral humana.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3. Estructura del Conducto Vertebral.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4. Organización y distribución de la Médula Espinal.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 5. CCSR.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 6. Esquema de la secuencia de atención al paciente con SLM, con transferencias y técnicas que suponen riesgo de desalineación en la columna vertebral.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 7. Estado de la legislación por países, sobre el uso de casco en motorista en 2022 (traducción de la versión original en idioma inglés).....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 8. Tipos de casco comercializados</i>	<i>64</i>
<i>Figura 9. Intervenciones secuenciales en la retirada de un casco en motorista accidentado hallado en posición supina.</i>	<i>66</i>
<i>Figura 10. Conjunto STT-IWS - iSen 3D Motion Analyser®.</i>	<i>84</i>
<i>Figura 11. Diagrama de intervenciones del estudio.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 12. Diagrama del desarrollo del estudio.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 13. Diagrama de extracción de casco en posición supina y prona, y códigos QR con reconstrucción digital en realidad aumentada de ambas.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 14. Fotografías de la fase experimental.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 15. Comparativa de la fiabilidad (Bland-Altman) de la técnica de retirada del casco en motorista estudiadas.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 16. Comparativa del rango medio de movimiento cervical (en grados) durante la retirada del casco en motorista en cada una de las técnicas estudiadas.</i>	<i>94</i>
<i>Figura 17. Imagen del ROM de flexo-extensión durante simulaciones de retirada del casco integral en motorista accidentado, para las dos técnicas estudiadas. ..</i>	<i>97</i>

ÍNDICE DE ANEXOS Y APÉNDICES

ANEXO 1. DOCUMENTO DE APROBACIÓN DE LOS ESTUDIOS POR EL COMITÉ DE ÉTICA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN ANTONIO DE MURCIA.....	145
ANEXO 2. ARTÍCULOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS	147
Anexo 2.1 Estudio I. Cervical misalignment in motorcyclists in relation to new helmet removal recommendations shown with augmented reality resources: a biomechanical analysis.....	147
Anexo 2.2 Estudio II. Análisis biomecánico del movimiento durante la extracción de casco en motoristas: estudio comparativo de la eficacia de dos técnicas.....	154
Anexo 2.3 Estudio III. ¿Cuál es la mejor opción de transferencia del paciente con sospecha de lesión medular espinal a la llegada al hospital? Análisis biomecánico de la desalineación de la columna cervical durante simulación .	157
ANEXO 3. COMPARATIVA MEDIANTE DIAGRAMA DE CAJAS DE LOS RESULTADOS DE LAS VARIABLES MEDIDAS CON TDS Y TTC.....	160
ANEXO 4. COMPARATIVA MEDIANTE DIAGRAMA DE CAJAS DE RESULTADOS DE LAS VARIABLES MEDIDAS CON CC Y TD.....	162
APÉNDICE 1. INDICADORES DE CALIDAD DE LAS REVISTAS CIENTÍFICAS DONDE SE HAN PUBLICADO LOS ESTUDIOS.....	164
APÉNDICE 2. PROYECTO DE BECA DE AYUDA A LA INVESTIGACIÓN DE LA FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE MEDICINA DE URGENCIAS Y EMERGENCIAS 2024.....	165
Apéndice 2.1 Memoria Proyecto de solicitud Becas FEMUE 2024.....	165
Apéndice 2.2 Notificación de concesión de beca FEMUE 2024.....	185
APÉNDICE 3. PROYECTO DE PREMIO IVAFER LUIS MIFSUT 2024	186
Apéndice 3.1 Memoria Proyecto Instituto Médico Valenciano: premio Luis Mifsut 2024.....	186
Apéndice 3.2 Carta del Instituto Médico Valenciano de concesión del Premio IVAFER Luis Mifsut 2024.....	202

I – DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

I - DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. COLUMNA VERTEBRAL Y MÉDULA ESPINAL: ANATOMÍA FISIOLÓGICA BÁSICAS.

La **columna vertebral** (Figura 1), como principal elemento óseo, junto con la musculatura asociada, desempeña un papel fundamental en el soporte y el movimiento corporal, el mantenimiento de la postura erguida y la protección del sistema nervioso. La columna vertebral es un tubo óseo que presenta cuatro componentes clave: vertebras, discos intervertebrales, ligamentos y músculos asociados¹.

Las vértebras son los huesos que se asocian para formar la columna vertebral, distribuyéndose una sobre otra, constituyendo una estructura alargada y flexible. Los seres humanos poseen 33 vertebras, que se clasifican en función de su localización, distinguiéndose cinco regiones (Figura 1): cervical (7), torácica (12), lumbar (5), sacra (5) y coccígea (3-4). Las vértebras sacras y coccígeas se encuentran fusionadas formando los huesos sacro y cóccix, respectivamente. Cada vértebra es nombrada con la inicial de la región a la que pertenecen y el número que acompaña a su posición dentro de esta región¹.

Entre cada par de vértebras se encuentran los discos intervertebrales, que actúan como amortiguadores y permiten la flexibilidad y la absorción de impactos. Están compuestos por un núcleo gelatinoso, llamado núcleo pulposo, y un anillo fibroso que lo rodea. Las vértebras se encuentran interconectadas por los ligamentos, que proporcionan estabilidad a la columna vertebral.

Los músculos asociados están implicados en los movimientos de los miembros superiores y la pared torácica. Además, mantienen la posición de la columna y la posición erguida del cuerpo. Permiten, también, el movimiento de la columna y están involucrados en el movimiento de la cabeza¹.

Los movimientos (Figura 2) que puede realizar la columna, es decir que es posible llevar a cabo con el tronco son: flexión, extensión, flexión lateral derecha, flexión lateral izquierda, rotación derecha y rotación izquierda¹.

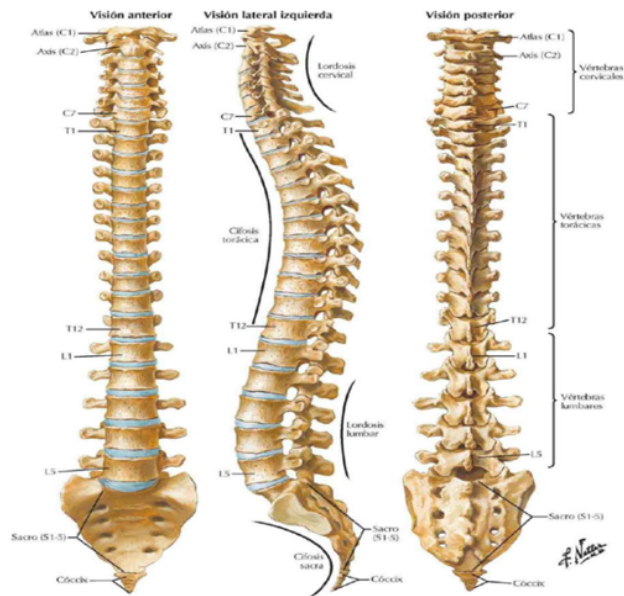


Figura 1 Estructura de la columna vertebral humana.

Fuente: Netter FH, Columna vertebral. Netter Atlas de Anatomía Humana. 7ª ed. Barcelona: Elsevier; 2019. p. 299-306.

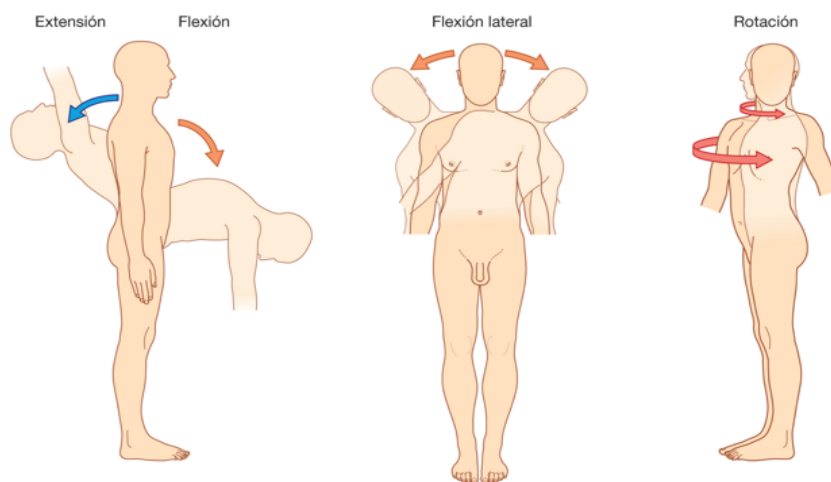


Figura 2 Movimientos de la columna vertebral humana.

Fuente: Drake RL, Vogl AW, Mitchell A. Región dorsal del tronco. En: Rodrigo E. Elizondo Omaña, editor. Gray Anatomía para estudiantes. 4ª ed. Barcelona: Elsevier; 2020. p. 49-124.

El espacio dentro del conducto óseo que forman las vértebras, junto con otras estructuras blandas, delimita el conducto vertebral (Figura 3), que contiene la médula espinal y las zonas proximales de los nervios espinales¹.

La **médula espinal** (ME) es un cordón cilíndrico que se inicia en el foramen magno y, en el adulto, finaliza entre la primera y segunda vértebra lumbares¹. Es una región del Sistema Nervioso Central (SNC) fundamental, al participar de la transmisión de información sensitiva (aférente) y motora (eferente) entre el cerebro y diferentes estructuras. Actúa como canal de comunicación transmitiendo señales nerviosas desde y hasta el encéfalo, para controlar la actividad muscular (movimientos y reflejos) y sensorial y los mecanismos de retroalimentación^{2,3}.

La ME se encuentra protegida por las meninges; tres cubiertas membranosas de tejido conjuntivo denominadas piamadre, aracnoides y duramadre. La aracnoides se encuentra separada de la piamadre por el espacio subaracnoideo, que contiene el líquido cerebroespinal; mientras, la duramadre presenta como separación del tejido óseo el espacio epidural¹.

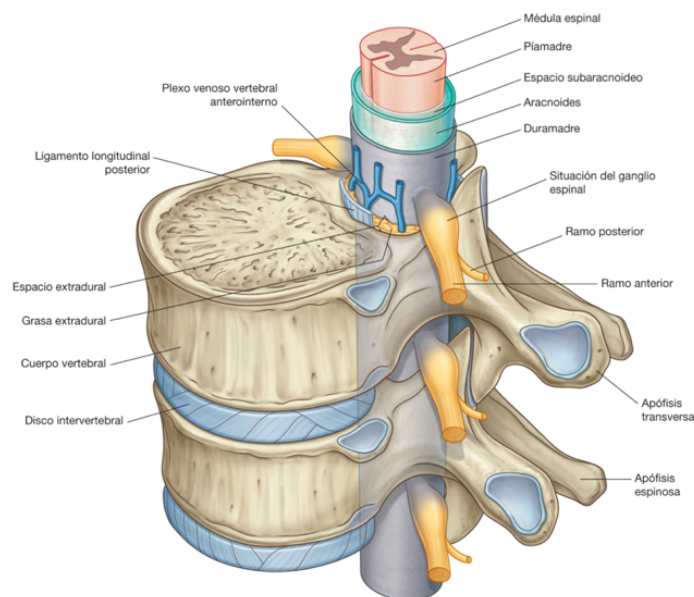


Figura 3. Estructura del Conducto Vertebral.

Fuente: Drake RL, Vogl AW, Mitchell A. Región dorsal del tronco. En: Rodrigo E. Elizondo Omaña, editor. Gray Anatomía para estudiantes. 4^a ed. Barcelona: Elsevier; 2020. p. 49-124.

La ME se divide en cuatro regiones (cervical, torácica, lumbar y sacra), subdivididas en segmentos. Cada segmento origina un par de nervios espinales bilaterales, que salen del conducto vertebral lateralmente a través de los forámenes intervertebrales¹. Las raíces nerviosas cervicales reciben el nombre de la vértebra que les precede, saliendo hacia la parte superior de ésta. Debe tenerse en cuenta que la región cervical tiene 8 raíces nerviosas y solo 7 vértebras, por lo que se presenta la excepción de que la octava raíz nerviosa encuentra su salida entre C7 y T1. Las raíces nerviosas torácicas y lumbares reciben el mismo nombre que la vértebra que las precede, saliendo por debajo de ésta. El sacro consta de 5 raíces nerviosas que abandonan el canal por el foramen sacro, mientras pueden encontrarse ninguna, 1 o 2 raíces nerviosas en el cóccix⁴.

Las **raíces nerviosas** reciben información de una región de piel determinada, denominada **dermatomas**, e inervan a un grupo muscular, denominado **miotomas**. Debe tenerse en cuenta que la relación de la miotomas no es exclusiva; la mayoría de las raíces inervan a más de un músculo y la mayoría de los músculos son inervados por más de una raíz⁴.

Los nervios presentan dos ramas que reciben el nombre de raíces: dorsal o posterior y ventral o anterior. La raíz dorsal transporta la información sensitiva, desde diferentes regiones al SNC mientras la raíz ventral lleva la información eferente desde el SNC a los músculos y glándulas^{1,3}.

La morfología de la ME presenta diversas particularidades que condicionan enormemente su funcionalidad. En relación con la esfera espacial, debido a la diferencia de velocidad de desarrollo de esta estructura respecto de la columna vertebral, ocupa tan solo los dos tercios superiores de la columna. Por ello, los nervios espinales se originan de forma cada vez más oblicua, disociándose los niveles de origen y de salida, gradualmente. Debido a esto, en la región terminal encontramos el denominado cono medular, que se continua con la cauda equina. La cauda equina o cola de caballo es la estructura constituida por las raíces nerviosas lumbares y sacras^{4,5}.

Respecto de su continuidad, en su recorrido la ME no presenta un diámetro uniforme, tiene dos ensanchamientos denominados intumescencias. Las intumescencias se encuentran asociadas a la región de origen de los nervios espinales que inervan miembros superiores e inferiores.

Se distingue^{1,2}:

- Intumescencia cervical. Región de origen de nervios espinales irrigadores de los miembros superiores: entre C5 y T1.
- Intumescencia lumbosacra. Región de origen de nervios espinales irrigadores de los miembros inferiores: entre L1 y S3.

En relación con la estructura interna de la ME (Figura 4) puede apreciarse, vista en un corte transversal, la sustancia gris, como un cuerpo gris en forma de H en su centro, y la sustancia blanca, rodeándola (Figura 4 a)^{2,3}. La sustancia gris (Figura 4 b) es la región integradora de los reflejos espinales⁶. Se segmenta en astas dorsales y ventrales³:

- Astas dorsales o posteriores: contienen los cuerpos de las neuronas sensitivas y se encuentran dividida en dos núcleos recibiendo la información somática uno de ellos y la visceral el otro.
- Astas ventrales o anteriores: contienen los cuerpos de las neuronas motoras, transportando la información eferente hacia músculos y glándulas. Se organizan en dos núcleos: motores y autónomos.

La sustancia blanca (Figura 4 c) contiene, tan solo, los tractos de los axones celulares, que se organizan en columnas, realizando la transferencia de información desde y hacia el cerebro y la periferia. Se diferencian tres tipos³:

- Tractos ascendentes: transportan la información sensitiva hacia el SNC. Se encuentran en las porciones dorsal y lateral externa de la sustancia blanca.
- Tractos descendentes: transportan la información motora desde el SNC a la ME. Se encuentran en las porciones ventrales y lateral interna de la sustancia blanca.
- Tractos propioespinales: principalmente intervienen en la transmisión de información aferente desde la periferia a la médula en relación con el dolor, la temperatura y el tacto.

La médula espinal contiene núcleos con cuerpos celulares de neuronas eferentes y tractos de axones que llegan hacia y desde el cerebro.

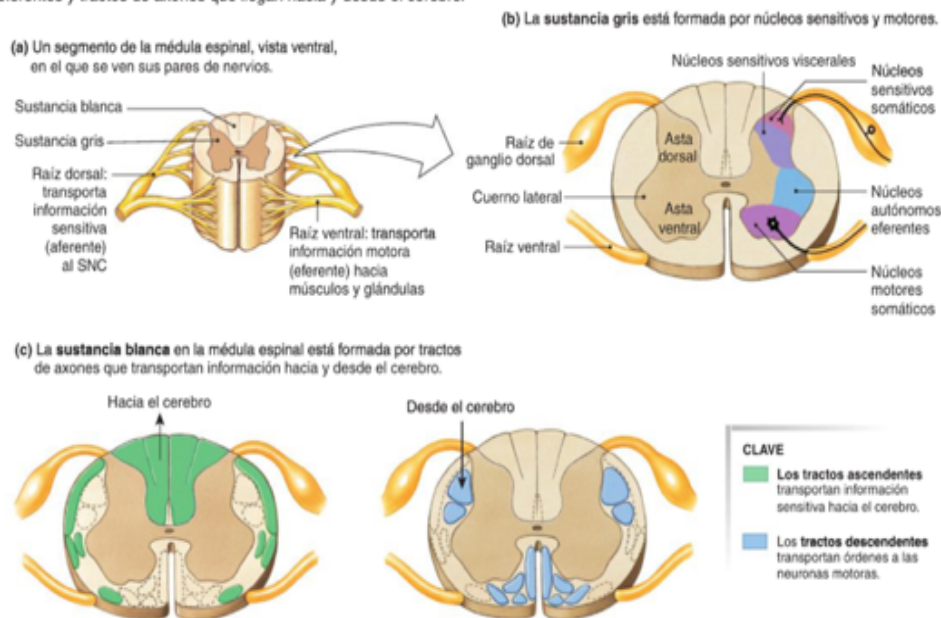


Figura 4. Organización y distribución de la Médula Espinal.

Fuente: Silverthorn DU. Sistema Nervioso Central. Fisiología humana: un enfoque integrado. 8ª ed. Buenos Aires: Panamericana; 2019. p. 271-306.

Cualquier lesión o patología que provoque reducción u oclusión de los forámenes intervertebrales o perjudique a la raíz nerviosa, puede afectar a la función del nervio asociado. Nos encontramos, en este caso, ante una lesión medular espinal (LME) que funcionalmente puede suponer la disminución o abolición de sensibilidad en piel y músculos, y la ausencia de control de estos^{1,3}.

1.2. LESIONES MEDULARES: CLASIFICACIÓN Y COMPLICACIONES ASOCIADAS

Se define LME como la interrupción o alteración de la conexión nerviosa en la médula espinal⁷ pudiendo producir una alteración en el movimiento, la sensibilidad o la función del sistema nervioso autónomo⁵.

Las LME pueden clasificarse por: etología, nivel lesional y extensión⁵.

En relación con la **etiología**, se distingue **LME no traumáticas** (médicas congénitas o adquiridas) y **LME traumáticas** (accidentes de tráfico, caídas, accidentes deportivos, etc.).

Respecto del **nivel de lesión** intra-canal medular, se diferencia **tetraplejia** (con afectación de región cervical y posibles alteraciones en tronco, extremidades superiores e inferiores y órganos pélvicos) y **paraplejia** (con afectación de región dorsal, lumbar o sacra e implicación, en función del nivel, de tronco, extremidades inferiores y órganos pélvicos).

Diferenciando por **extensión**, se encuentra **LME completas o incompletas**; con interrupción total o parcial de la conexión medular, respectivamente⁵. Algunos patrones de LME incompleta típica, son⁴:

- Síndrome del Centro Medular: lesión incompleta más frecuente, que implica mayor debilidad en miembros superiores frente a inferiores.
- Síndrome de hemisección medular o de Brown-Sequard: pérdida ipsilateral a la lesión de propiocepción y vibración, parálisis hemipléjica ipsilateral desde nivel lesional hacia abajo, y pérdida de sensibilidad contralateral respecto de la temperatura y el dolor.
- Síndrome Anterior de ME: cursa con pérdida de función motora, sensación dolorosa y temperatura en el nivel lesional y bajo él, conservándose la propiocepción y el tacto fino.
- Síndrome de Cauda Equina: parálisis flácida de miembros inferiores; el miotoma afecto dependerá de la raíz afectada. Puede llevar aparejada arreflexia en intestinos, vejiga, ausencia de reflejos sacros y pérdida total o parcial sensitiva.
- Síndrome de Cono Medular: clínicamente es difícil su distinción respecto del síndrome de Cauda Equina. Señalar como diferencias que la lesión es más caudal (L1 o L2) y pueden encontrarse preservados los reflejos sacros en lesiones por encima del cono medular.

Al interrumpirse la conducción de señales (motoras y/o sensitivas) en la localización lesional, con un examen sistemático de los dermatomas y miotomas, puede determinarse el nivel medular afectado con la LME. Para realizar esa evaluación exhaustiva se desarrollan las **Normas Internacionales para la Clasificación Neurológica de las Lesiones de Médula Espinal (ISNCSCI)**; por sus

siglas en inglés). Discriminar la gravedad neurológica en LME es posible empleando la **Escala de Deficiencia** (*Abbreviated Injury Scale; AIS*) de la Asociación Americana de Lesión Medular (*American Spinal Injury Association; ASIA*)⁴.

Aunque se encuentra patente que la influencia de la LME en el funcionamiento del sistema nervioso (funcionalidad sensitiva y motora) es indiscutible, no debe caerse en la falsa creencia de que la pérdida de la sensibilidad y/o el control muscular es el único problema que presentan las personas con LME. La sintomatología aguda y las comorbilidades asociadas a estas lesiones son extremadamente frecuentes, corporalmente extensas y de grado muy variable, en función de la gravedad y extensión de la lesión^{5,7}.

Solo considerando y comprendiendo las **comorbilidades** asociadas y complicaciones a largo plazo a la LME, se podrá brindar una atención integral y multidisciplinaria de excelencia a las personas con LME. Pueden dividirse en dos grandes esferas:

- **Física:** neurológicas (disreflexia autonómica, dolor, espasticidad, alteraciones en la termorregulación...) cardiovasculares (shock neurogénico, insuficiencia arterial, enfermedades tromboembólicas, alteración de parámetros analíticos por aumento del sedentarismo...), respiratorias (parálisis de los músculos involucrados en la respiración, embolismo pulmonar, neumonías, necesidad de soporte ventilatorio en lesiones altas...) musculoesqueléticas (pérdida de masa muscular, contracturas, osteoporosis...), digestivas (intestino neurógeno, síndrome de la arteria mesentérica superior, disfagia, hemorragia rectal...), dermatológicas (úlceras por presión), urogenitales (disminución de la función renal, mayor riesgo de infecciones del tracto urinario, vejiga neurógena...) y sexuales^{5,7,8}.
- **Psicológica:** la posible aparición de trastornos emocionales y mentales debe tenerse muy presente, ya que el paradigma vital de la persona puede cambiar por completo tras sufrir una LME, influyendo en su salud mental. Se estima que de un 20% a un 30% de personas con LME manifiestan signos clínicos marcados de depresión⁹.

Ante este conjunto tan dispar de sintomatología y gravedad de la misma, el dolor y las complicaciones relacionadas con la funcionalidad respiratoria y ventilatoria son elementos a destacar. El dolor supone una constante durante la

mayor parte de la vida de aquellas personas que sufren una LME⁹ y las complicaciones respiratorias son reportadas como complicación más frecuente y principal causa de muerte¹⁰.

En un interesante estudio multicéntrico el 95,8 % de los participantes refieren al menos un problema de salud relacionado con la LME, siendo los más frecuentes tres: la algia (77,3%), la espasticidad (73,5%) y la disfunción sexual (71,3%)¹¹. De esta llamativamente elevada tasa de complicaciones se desprende el excesivo importe económico, para el sistema sanitario y la persona, que trae aparejada la LME. Tanto es así que el coste de la atención multidisciplinar, que se requiere en personas que padecen LME, se ha estimado en un rango de 1,2 a 5,2 millones de dólares en América del Norte¹². Este altísimo valor sería abonado por la persona en algunos sistemas sanitarios, aunque no es el caso del sistema sanitario español. Sin embargo, el mencionado importe palidece en comparación con el trascendental coste personal y vital que suponen este tipo de lesiones. Además, en aquellos pacientes que las lesiones no sean leves, su universo diario (incluido su ámbito laboral) y relacional sufrirá significativos cambios. La causa principal de estas variaciones se deberá a la reducción de la actividad diaria realizada y una posible pérdida de su independencia. Es incuestionable que la LME afectará a todas las esferas de la persona, e incluso puede modificar ciertos aspectos vitales de aquellas personas que componen su red de apoyo y su entorno cercano^{5,7}.

1.3. ABORDAJE DE LA LESIÓN MEDULAR TRAUMÁTICA

1.3.1. Epidemiología y Supervivencia

La LME es una consecuencia, potencialmente letal, de haber sufrido un traumatismo grave o mayor, que tendrá un impacto devastador en la vida del paciente. Conlleva un cambio de paradigma en su entorno en los ámbitos personal, social y económico. Además, supone una importante carga en el sistema sanitario, no solo por la atención médica de la lesión aguda, sino por la atención de comorbilidades y síntomas de larga duración^{5,7,12}.

El impacto en la sociedad de la lesión medular traumática (LMT) es amplio y su incidencia ha aumentado en los últimos treinta años¹³. Aunque no es posible hallar una estimación de la prevalencia mundial de las LME fiable¹⁴, según los datos

de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se estima una incidencia de 40 a 80 casos por millón de habitantes⁹.

La LMT es el tipo más frecuente⁵, suponiendo el 90% de los casos⁹. No obstante, la tasa de LME no traumática, se encuentra en alza⁹. En el panorama mundial, se estipula una alta tasa LME de causalidad prevenible, ya que las causas más frecuentes de LMT son: accidentes de tráfico, caídas (incluyendo el suicidio) y actos violentos, siendo predominantes las dos primeras^{5,9,10,12,15,16}. Aunque la cifra anual de defunciones por accidentes automovilístico reportada por el Informe de la Situación Mundial de la Seguridad Vial en 2023¹⁷ muestra un descenso del 5%, el número es alarmante, ya que 1,19 millones de personas fallecen cada año por esta causa. Por ello, estos accidentes continúan presentando un gran reto y suponiendo una crisis sanitaria mundial. Iniciativas como el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2021-2030 describen actuaciones, en aras de la reducción mundial de la tasa de mortalidad y traumatismos¹⁸. Además, se estima que de 20 a 50 millones de personas sufren traumas no mortales, y muchos de ellos serán causa de discapacidades¹⁷.

Respecto de la etiología, se aprecian importantes diferencias entre países desarrollados y en vías de desarrollo, exceptuando la tasa de LMT como resultado de actos violentos, que se eleva en países con legalidad para la tenencia de armas y un contexto bélico activo⁵. En gran parte de los países desarrollados, posiblemente por la mejora en los dispositivos de seguridad y la normativa, las caídas en mayores de 60 años, son las principales causas de LMT en la actualidad^{5,12}. Las actividades deportivas suponen una causalidad de un 10%, siendo la más frecuente la lesión por zambullida⁵. Mientras las caídas toman protagonismo en los países desarrollados, en los países en vías de desarrollo continúa siendo la causa primordial los accidentes de tráfico¹⁴. Las estrategias para abordar la atención a la LMT, deben considerar el contexto socio-cultural, de tal manera que se adopten políticas realistas y focalizadas en suplir las diferencias^{14,16} (seguridad vial y violencia principalmente) que existen entre los diferentes países. Puede deducirse que, al ser gran parte de las causas de LMT de origen prevenible, su tasa es susceptible de reducirse enormemente con la adopción de las medidas adecuadas. Principalmente, podría lograrse este objetivo, con mejoras en la normativa y estado vial, instalación de sistemas de seguridad para prevenir caídas y políticas contra el uso de armas de fuego⁹.

El nivel lesional y nivel neurológico afecto es muy variable a nivel mundial. Aunque la mayor tasa de lesión suele identificarse con localización cervical^{5,10,16,19}, algunos autores informan de mayor frecuencia de lesión en los otros segmentos^{15,20}. El grado de afectación más común reportado es la lesión incompleta^{5,10}. La tasa en varones es más elevada que en mujeres^{12,13,16,20,21}, siendo la relación más común 3:1⁵ y como mínimo, hallándose duplicada^{9,10,15}. La distribución por grupos de edad que señalaba una mayor prevalencia en adolescentes y adultos jóvenes^{5,16}, parece estar cambiando, ya que en la edad media se reporta una tendencia al alza^{5,20,21}, lo que podría relacionarse con el aumento de LMT en mayores de 60 años²¹.

El nivel de la lesión y la gravedad de la misma tienen una influencia esencial en la supervivencia de personas que han sufrido LME, no obstante con independencia del nivel, su riesgo de mortalidad prematura es entre 2 y 5 veces más elevado que en la población general^{9,12}. Las lesiones cervicales implican mayor tasa de discapacidad a largo plazo respecto de lesiones a otro nivel^{12,13}. En el trabajo de Esclarín de Ruz, en colaboración con la Fundación del Hospital Nacional de Paraplégicos, se afirma que la supervivencia a corto plazo ha mejorado, aunque no lo ha hecho la supervivencia a largo plazo⁵.

En España, considerando el periodo comprendido entre los años 2006 y 2018 y en consonancia con los datos mundiales, se reportaba un aumento de la edad media de LME, y respecto de la LMT se ha producido un aumento de su incidencia en todos los grupos de edad, y en mayores de 65 años⁵. Con los últimos datos nacionales disponibles, correspondientes al año 2022, se observa un incremento del 8% en los casos de LME respecto al año anterior, confirmándose la tendencia al aumento. En relación al tipo, la LME médica supone el 60% del total frente a la LMT. En los datos del territorio nacional relacionados con las causas de LMT se observa concordancia con los datos mundiales; las causas predominantemente son accidentes de vehículo a motor (18% del total de lesiones) y con caídas (16%)²².

La LME representa un desafío significativo individual y colectivo que requiere estrategias de prevención y manejo apropiadas. La variabilidad en prevalencia, incidencia y causalidad a nivel mundial pone de manifiesto la importancia de desarrollar políticas de salud pública personalizadas que aborden tanto los factores de riesgo como las necesidades de rehabilitación y soporte a largo plazo. Es esencial, se debe advertir que intervenciones dirigidas, basadas en la

evidencia y culturalmente sensibles, pueden mitigar la tasa y el impacto de LME y LMT^{5,7}.

1.3.2. Fisiopatología y clasificación de los mecanismos lesionales

La afectación de los tejidos circundantes a la ME puede provocar la inestabilidad de la columna vertebral, lo que pone la ME en un elevado riesgo de lesionarse.

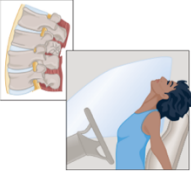





La LMT presenta dos fases: lesión primaria y lesión secundaria. La **lesión primaria** se corresponde con el momento de aparición de la fuerza. Tiene lugar lesión medular directa, compresión medular inmediata o interrupción del flujo sanguíneo en ME. La **lesión secundaria**, que puede empeorar el estado neurológico del paciente, se origina por la compresión medular desencadenada por la liberación de los componentes intervinientes en la cascada inflamatoria o el movimiento de los fragmentos óseos. Esta cascada es desencadenada por el trauma inicial sufrido por la ME. La lesión puede verse exacerbada si no se realiza una adecuada estabilización de la columna^{5,12,23,24}.

Las principales circunstancias¹² en las que siempre se debe considerar sospecha de lesión medular (SLM) son: impacto violento en cabeza, cuello, torso o pelvis, incidentes que impliquen aceleración y desaceleración repentina o fuerzas que conlleven flexiones laterales en cuello o torso, caídas desde altura, incidentes que impliquen buceo en aguas de escasa profundidad y expulsión o caída desde dispositivos de transporte motorizado o de otro tipo.

La cinemática lesional, aunque nunca debe ser el único criterio que guíe al profesional, es fundamental para establecer sospechas de la probabilidad de LME¹². Los mecanismos que más frecuentemente provocan LME son: hiperextensión, hiperflexión, compresión y rotación. La tensión lateral y la distracción son mecanismos menos habituales, pero también lesivos.

Los citados movimientos y sus lesiones asociadas son²³ (Tabla 1):

Tabla 1. Mecanismos de LMT

Hiperextensión	Movimiento posterior excesivo de la cabeza o el cuello.	
Hiperflexión	Movimiento anterior excesivo de la cabeza.	
Compresión	Impulso del peso de la cabeza o la pelvis en el cuello o torso.	
Rotación	Rotación excesiva de segmentos en direcciones opuestas.	
Tensión Lateral	Fuerza lateral directa sobre una región de la columna vertebral; suele implicar la sección del cordón medular.	
Distracción	Elongación excesiva de la columna y la ME.	

Fuente: Augustine JJ. Signal Trauma and Patient-Centered Spinal Motion Restriction. En: Pearson Education Limited. International Trauma Life Support. 8ª ed. Inglaterra; Pearson; 2018. p. 224-50.

1.3.3. Evaluación y diagnóstico

La evaluación de una LMT implica la valoración detallada de la función neurológica y la gravedad (completa o incompleta) de la lesión. Debe incluir la valoración de la fuerza muscular, la recepción de sensaciones, los reflejos y la función autónoma. La evaluación sensitiva y motora, puede no ser posible, principalmente por encontrarse el paciente inconsciente.

Algunos signos pueden hacer sospechar al sanitario evaluador de LME aguda, antes de realizar un examen completo (Tabla 2)⁸.

Tabla 2. Signos de sospecha de lesión medular

Debilidad o parálisis de extremidades
Alteraciones de la sensibilidad en tronco o extremidades
Parestesias
Hipofonía
Respiración abdominal
Hipotensión y bradicardia paradójica
Posición en flexión de codos
Dolor o deformidad en columna
Ausencia de dolor en lesiones previsiblemente dolorosas
Priapismo

Fuente: Galeiras Vázquez R, Ferreiro Velasco M E, Mourelo Fariña M, Montoto Marqués A, Salvador de la Barrera S. Actualización en lesión medular aguda postraumática. Parte 1. Med Intensiva. 2017; 41(4): 237-47.

Para la realización del examen neurológico completo se dispone, como se había comentado, de las ISNCSCI⁴ de la ASIA. Estas normas permiten evaluar el nivel y la extensión de la lesión con la exploración sistemática de las funciones sensitiva y motora, mediante un **examen sensitivo** y un **examen motor**. Con ISNCSCI se evalúan varios predictores de daño neurológico: nivel sensitivo y motor en hemicuerpo derecho e izquierdo. Se diferencia en puntuajes sensitivos (tacto superficial y algesia) y puntuajes motores (músculos clave). Todo ello nos permitirá conocer el Nivel Neurológico de Lesión (NNL)⁴.

Esta evaluación no se trata de un examen neurológico integral, ya que los elementos no determinantes para la clasificación no son evaluados, como los reflejos tendinosos. Los exámenes se realizarán con el paciente en posición supina (PS), excepto para la evaluación anorrectal (movilización en bloque hacia decúbito lateral) y con los ojos cerrados o la visión bloqueada. Debe destacarse que los nervios coccígeos no son evaluados en ISNCSCI.

En el **examen sensitivo** se realiza la exploración de **28 dermatomas** en cada hemicuerpo desde C2 hasta S4-S5. La raíz nerviosa C1 no tiene componente sensitivo, por lo que no puede evaluarse y S4-S5 se considera un único dermatoma. En cada dermatoma se valora de manera independiente el tacto fino o superficial (roce con torunda de algodón) y la sensibilidad algésica (discriminación punzante-romo) con una escala de 3 puntos (0 = ausente; 1 = alterada; 2 = intacta) en comparación con la mejilla del paciente (marco referencial). La evaluación de la sensación algésica se realiza con un alfiler de seguridad desechable que permite emplear el extremo afilado para la sensación punzante y el extremo sin filo para la sensación de toque con objeto romo. Se obtendrá una puntuación de 1 cuando, aunque se distingue entre punzante y romo, la sensación punzante se percibe con mayor o menor intensidad, respecto del marco referencial. Si se presenta al examinador imposibilidad para evaluar algún punto sensitivo (quemadura, amputación, edema...) se registrarán las letras "NE" (no examinable), en lugar de la puntuación numérica. Se evalúa también la Presión Anal Profunda (PAP), mediante tacto rectal, resultando presente o ausente. La sensibilidad de cada dermatoma se explora bilateralmente en las localizaciones:

- C2 – Al menos 1 cm lateral a la protuberancia occipital.
- C3 – Fosa supraclavicular en línea media clavicular.
- C4 – Sobre la articulación acromioclavicular.
- C5 – Cara radial de la fosa anterocubital.
- C6 – Superficie dorsal, falange proximal, primer dedo.
- C7 – Superficie dorsal, falange proximal, tercer dedo.
- C8 – Superficie dorsal, falange proximal, quinto dedo.
- T1 – Cara cubital de la fosa anterocubital.
- T2 – Ápice axilar.
- T3 – Línea media clavicular, tercer espacio intercostal.
- T4 – Línea media clavicular, cuarto espacio intercostal.

- T5 – Línea media clavicular, quinto espacio intercostal.
- T6 – Línea media clavicular, sexto espacio intercostal.
- T7 – Línea media clavicular, séptimo espacio intercostal.
- T8 – Línea media clavicular, octavo espacio intercostal.
- T9 – Línea media clavicular, noveno espacio intercostal.
- T10 – Línea media clavicular, décimo espacio intercostal.
- T11 – Línea media clavicular, onceavo espacio intercostal.
- T12 – Línea media clavicular, punto medio ligamento inguinal.
- L1 – Punto medio entre puntos sensitivos T12 y L2.
- L2 – Punto medio de la línea que conecta los puntos medios del ligamento inguinal y el cóndilo femoral medial.
- L3 – Cóndilo femoral medial.
- L4 – Maléolo interno.
- L5 – Región dorsal del pie, tercer metatarsiano.
- S1 – Calcáneo.
- S2 – Punto medio fosa poplítea.
- S3 – Tuberosidad isquiática.
- S4-S5 – Área perianal; menos de 1 cm lateral a la unión mucocutánea.

En el **examen motor** se explora la función de los músculos clave correspondientes a los 10 miotomas bilaterales: C5-T1 y L2-S1. Se valora el rango de movimiento (ROM) en una escala de 6 puntos (0 = parálisis total; 1 = contracción visible o palpable; 2 = ROM completo sin gravedad; 3 = ROM completo contra la gravedad; 4 = ROM completo contra resistencia moderada; 5 = ROM completo contra resistencia total). Los músculos evaluados son:

- C5 – Flexores del codo: bíceps braquial.
- C6 – Extensores de la muñeca: extensores radiales largo y corto del carpo.
- C7 – Extensores del codo: tríceps.
- C8 – Flexoras de los dedos de la mano hasta el tercer dedo: flexor profundo de los dedos).
- T1 – Abductores del quinto dedo: abductor minimi digiti manus.
- L2 – Flexores de la cadera: iliopsoas.
- L3 – Extensores de la rodilla: cuádriceps.
- L4 – Dorsi-flexores del tobillo: tibial anterior.

- L5 – Extensores del Hallux: extensor largo del primer dedo.
- S1 – Flexores plantares del tobillo: soleo.

Si la fuerza muscular se encuentra por encima de 4, debe valorarse algunas posiciones específicamente:

- C5 – Codo en flexión a 90°, brazo en el costado del paciente, antebrazo supinado.
- C6 – Muñeca en extensión completa.
- C7 – Hombro en rotación neutra, abducido y a 90° de flexión, codo en 45° de flexión.
- C8 – Falange distal en completa flexión.
- T1 – Dedos de la mano en abducción completa
- L2 – Cadera en flexión a 90°.
- L3 – Rodilla en flexión a 15°.
- L4 – Tobillo en dorsiflexión completa.
- L5 – Hallux en extensión completa.
- S1 – Cadera en rotación, flexo-extensión y abducción/aducción neutra, rodilla en extensión completa y tobillo en flexión plantar completa.

Se evalúa también la Contracción Anal Voluntaria (CAV), realizando tacto rectal, para poder percibir la presión generada con la contracción del esfínter anal interno, puntuándose como ausente o presente.

El **nivel sensitivo** es el dermatoma intacto (grado 2) más caudal para ambas sensibilidades (tacto fino y algesia), mientras el **nivel motor** está definido por el músculo clave más caudal con grado muscular igual o mayor a 3, siempre y cuando los músculos clave superiores presenten un grado igual a 5. En aquellas regiones (C1-C4, T2-L1 y S2-S5) en las que no hay miotoma clínicamente valorable se considera que el nivel motor es el mismo que el sensitivo, siempre que el músculo clave superior presente un grado igual a 5.

El NNL viene definido por el segmento más caudal de la médula en el que las funciones sensitiva y motora son normales bilateralmente.

La clasificación de lesiones en completas o incompletas se realiza en base a la preservación sacra. Este concepto hace referencia a la presencia de función sensitiva o motora en los segmentos sacros más caudales (sensibilidad de tacto fino o

pinchazo en dermatoma S4-S5, PAP o CAV). En base a esto, una lesión completa se define como la ausencia de preservación sacra, mientras la lesión incompleta implica la presencia de preservación sacra⁴.

La AIS⁴ de la ASIA es una herramienta estandarizada para la clasificación del grado disfuncional, en cinco niveles:

- A: lesión completa. Ausencia de preservación sacra sensitiva y motora.
- B: sensitiva incompleta. Preservación sacra sensitiva conservada. Ausencia de preservación sacra motora y funcionalidad motora en más de 3 segmentos por debajo del nivel motor, que no tiene por qué implicar bilateralidad.
- C: motora incompleta. Preservación CAV o presencia de lesión sensitiva incompleta, pero preserva la función motora en más de 3 segmentos por debajo del nivel motor.
- D: motora incompleta.
- E: normalidad.

Dentro de la evaluación de la columna, la posibilidad de descartar lesiones cervicales con una alta sensibilidad, sin pruebas de imagen, fue posible tras el desarrollo de dos algoritmos: *National Emergency X-Radiography Utilization Study* (NEXUS) y *Canadian C-Spine Rule* (CCSR).

El estudio NEXUS²⁵, descrito en 1992 por primera vez, se establece con la finalidad de ayudar, con seguridad, en la decisión clínica de discernir cuando no es necesaria la realización de estudio radiológico de la columna en pacientes que han sufrido un trauma contundente. En un estudio prospectivo observacional, que implicaba 21 centros de Estados Unidos, se empleó esta herramienta que será fundamental en el entorno clínico prehospitalario. Para obtener la clasificación de paciente de bajo riesgo de sufrir lesión cervical, y por tanto la inexistencia necesidad de pruebas de imagen, se deben cumplir cinco criterios:

- Ausencia de dolor en línea media posterior de la columna cervical.
- Ausencia déficit neurológico focal.
- Nivel de alerta normal.
- Ausencia de sospecha de intoxicación.
- Ausencia de lesión dolorosa distractora.

Posteriormente, en 2001, se llevó a cabo un estudio que definió un conjunto de conceptos clínicos para facilitar la toma de decisión concerniente a las pruebas de imágenes tras un trauma contundente. Surgen así las reglas **CCSR**²⁶ (Figura 5) aplicable a aquellos pacientes que han sufrido un trauma contundente y en los que se quiere descartar una lesión de columna cervical, encontrándose hemodinámicamente estables y neurológicamente alerta. Se diseña con el objetivo de reducir los estudios radiológicos que no sean pertinentes, optimizando así la atención a los pacientes con SLM. Del mismo modo que con NEXUS, permite cribar cuando no son necesarias las mencionadas pruebas de imagen.

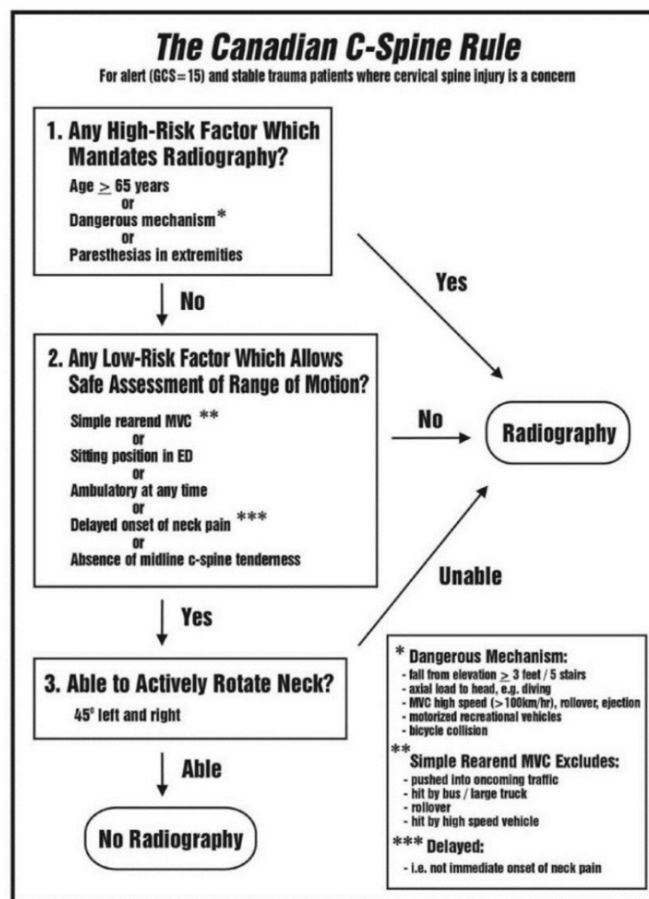


Figura 5. CCSR.

Fuente: adaptación Stiell IG, Wells GA, Vandemheen KL, Clement CM, Lesiuk H, De Maio VJ, Laupacis A, Schull M, McKnight RD, Verbeek R, Brison R. The Canadian C-spine rule for radiography in alert and stable trauma patients. *Jama*. 2001;286(15):1841-8.

Aunque estos algoritmos no se conciben con tal fin, su uso es ampliamente extendido en la atención médica extrahospitalaria para descartar posibles lesiones cervicales y así discriminar la necesidad o no de inmovilización vertebral cervical. La CCSR parece presentar mayor precisión diagnóstica que los criterios NEXUS²⁷, sin embargo, los criterios NEXUS son también altamente sensibles y podrían ser más fácilmente aplicables en el ámbito extrahospitalario, al presentar menos criterios a valorar.

Respecto a los tipos de lesiones superiores, destacar que muy recientemente (2024) ha sido validado el Sistema de Clasificación de Lesiones de la Columna Cervical Superior de *AO Spine*, el cual, incorpora todas las lesiones de la columna cervical superior en un único sistema de clasificación centrado en una progresión jerárquica desde lesiones óseas aisladas (tipo A) hasta luxaciones por fractura (tipo C)²⁸. Si bien este trabajo aún se enmarca en una pequeña región vertebral y no resulta de gran utilidad en el campo de la atención a la SLM en el ámbito prehospitalario, se considera fundamental mencionarlo, puesto que trabajos como este suponen seguir la senda que conduce a la unificación de criterios. En este caso particular, en la clasificación de las lesiones cervicales. Se perfilan como necesarias actuaciones encaminadas a estandarizar todo cuidado relacionado con la LME, lo cual incluye una clasificación detallada de los tipos de lesiones.

La Guía para evaluación y manejo inicial de la lesión medular del Instituto Nacional para la Excelencia en Salud y Atención (*National Institute for Health and Care Excellence; NICE*)²⁹ recomienda el uso de los criterios CCSR para valorar la columna vertebral cervical, aunque combina los criterios NEXUS y CCSR para las recomendaciones de inmovilización. Esta Guía NICE para la evaluación de SLM en la región torácica o lumbosacra recomienda considerar los factores²⁹:

- Edad igual o mayor a 65 años y dolor referido en esta región de la columna vertebral.
- Mecanismo de lesión peligroso. Implican: caída desde una altura mayor a 3 metros, carga axial en la cabeza o base de la columna, colisión de vehículos a alta velocidad, accidente con vuelco, cinturón de seguridad solo en región pélvica, eyección de un vehículo motorizado, accidente involucrando vehículos recreativos motorizados, colisión de bicicleta y accidentes de equitación.
- Patología espinal preexistente o riesgo de osteoporosis.

- Sospecha de fractura espinal en otra región de la columna vertebral.
- Síntomas neurológicos anormales.

En el examen exploratorio en reposo se consideran: signos neurológicos anormales (déficit motor o sensorial), deformidad o sensibilidad a la palpación en la línea media ósea no preexistente, sensibilidad a la percusión en la línea media ósea y dolor en la línea media desencadenado por tos. En el examen a la movilización (sedestación, ponerse en pie, subir escalones, deambulación) focalizar la atención en la aparición de dolor o síntomas neurológicos anormales, y detener, en este caso, el examen²⁹.

En aquellos pacientes en los que no se haya descartado la posibilidad de lesión con CCSR y/o NEXUS, no sea posible la evaluación adecuada de la columna o se encuentren inconscientes, será preciso realizar estudios por imagen. En este sentido, se recomienda un estudio radiológico completo de la columna, por la alta incidencia (20%) de fracturas múltiples⁸.

Los procedimientos comunes para el diagnóstico de LMT incluyen la radiografía simple (Rx), la tomografía axial computarizada (TAC) y resonancia magnética nuclear (RMN). Tradicionalmente se empleaba el estudio por Rx, con proyección anteroposterior y lateral, incluyendo la proyección del odontoides, aunque la tendencia actual se focaliza en el uso de TAC, por su mayor sensibilidad. Específicamente, el TAC es recomendado en aquellos pacientes mayores de 16 años que cumplan los criterios CCRS para necesidad de estudio por imagen, presentan lesión torácica o lumbosacra con afectación neurológica y/o lesión craneal con sospecha de LM cervical²⁹. La RMN suele reservarse para estudios en fase no aguda, como herramienta fundamental en análisis de la gravedad de la lesión y predictora del pronóstico. Su uso puede ser necesario, de forma urgente, en aquellos pacientes con LMT con déficit o deterioro neurológico no explicable por los hallazgos en las otras pruebas de imagen^{8,29}.

Aunque el nivel y gravedad de lesión son determinantes en la supervivencia del paciente, la calidad asistencial de la atención médica juega un papel decisivo. Tanto es así que el tiempo y el método empleado en el traslado al centro hospitalario oportuno son factores cruciales⁹. Es fundamental recordar que el tiempo es un factor crítico en el manejo de estos pacientes; tal como ocurre con aquellos que han experimentado un trauma grave, la dependencia del tiempo es clave^{12,19,23}.

1.4. ATENCIÓN EXTRAHOSPITALARIA AL LESIONADO MEDULAR.

Habitualmente, se asocia la LMT a traumatismos de alta energía o trauma grave, aunque en pacientes de edad avanzada o con patologías de columna previas, puede producirse como resultado de traumas causado por fuerzas de baja intensidad¹². Focalizando la atención en el contexto extrahospitalario, en la atención al paciente traumático, hasta que la evaluación clínica permita descartar una LMT, debe realizarse la protección de la columna. La actuación clínica considerará, hasta que sea descartado, que el paciente presenta una sospecha de lesión medular (SLM)^{8,12,23,30,29}. Además, debe tenerse presente en la atención sanitaria, que en aquellos pacientes con LMT encontraremos asociada, en una tasa del 60%, lesiones craneales³¹.

No debe olvidarse que, aunque un manejo y protección adecuadas de la columna es fundamental, es esencial llevar a cabo un abordaje inicial agresivo y completo (XABCDE) y los cuidados críticos que requiera cada paciente^{8,12,23}.

En el contexto de atención sanitaria prehospitalaria, no es necesaria la realización de un examen neurológico completo, ya que aumentará el tiempo en escena, demorándose el transporte, sin ofrecer información adicional de utilidad frente a un examen neurológico rápido. Este examen, en el que se busca identificar déficits neurológicos obvios ante la incapacidad del paciente de movilizar las extremidades, se debe repetir, siempre que se inmovilice y movilice al paciente, y al llegar al Centro sanitario receptor¹².

Como cualquier paciente que ha experimentado un trauma grave, el paciente con SLM precisa un manejo idóneo y completo que asegure un adecuado aporte ventilatorio y circulatorio, de forma inmediata^{8,12,23}.

Estos pacientes necesitarán, en líneas generales, soporte ventilatorio externo por agotamiento o parálisis de musculatura, hemorragias o edema medular ascendente. En los niveles superiores de lesión, puede presentarse ineficacia de la musculatura respiratoria (lesiones C1-C2) o agotamiento de músculos accesorios tras parálisis frénica bilateral (C3-C4). En lesiones que impliquen la región contenida entre C5 y T5, puede precisarse soporte si tiene lugar la parálisis de la musculatura intercostal y abdominal. No suele producirse insuficiencia respiratoria de origen neuromuscular en lesiones inferiores a este nivel^{12,23,24}. La perfusión puede verse comprometida por hipotensión, aunque no se encuentra

definido un abordaje específico óptimo para tratarla. El shock neurogénico, que se manifiesta de forma frecuente en pacientes con lesiones superiores a T6 consiste en la vasodilatación arterial brusca, por fallo en el sistema nervioso simpático, cursando con hipotensión sin pérdida de volemia. Este fallo, conduce a la bradicardia y la disminución de la contractilidad cardiaca. A pesar de su relativa frecuencia, se recomienda descartar otras posibles causas antes de atribuir la inestabilidad hemodinámica a esta circunstancia⁸. Si la hipotensión se acompaña de taquicardia, en ausencia de hemorragia exanguinante evidente, debe sospecharse shock hipovolémico por lesiones asociadas, prevalente en trauma grave (frecuentemente hemorragia abdominal o pélvica). Otro factor que incide y potencia la hipotensión en este tipo de pacientes, es la provocada por analgésicos narcóticos que se precisarán para paliar el dolor, síntoma frecuentemente manifestado^{12,23,24}. El riesgo de hipotermia debe preverse y controlarse, por la predisposición de estos pacientes a padecerla, debido a la disminución de su capacidad de regulación de temperatura corporal, ya mencionada¹².

Además de la atención sanitaria general al trauma, los pacientes con SLM precisan de una atención específica denominada **Restricción de Movimiento Vertebral** (RMV). Para este tipo de atención se disponen de diversas técnicas y equipos o herramientas de apoyo, que ayudan a minimizar el movimiento de la columna vertebral.

Los principales objetivos de la restricción de la movilidad son tres:

- Evitar el agravamiento. Se pretende no producir un daño adicional en pacientes que presentan lesión, como consecuencia de la atención sanitaria brindada.
- Estabilización. La estabilización de la columna vertebral preservando el eje cabeza-cuello-tronco, en especial ante la posibilidad de lesión inestable de columna (fracturas vertebrales), reduce el riesgo de lesión complementaria.
- Recuperación. Se procura la promoción de la recuperación, al restringirse el movimiento se minimiza el riesgo de inflamación y edema en la región lesionada.

La RMV presenta objetivos claros enfocados a la atención óptima del paciente con SLM, y adicionalmente ofrecen el beneficio de permitir un transporte seguro del paciente. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que también presenta aparejados

riesgos e inconvenientes nada despreciables^{12,19,32,33}. Los dispositivos empleados para la inmovilización y el transporte se asocian a complicaciones como dificultad respiratoria y ansiedad en el paciente, agitación, úlceras por presión, dificultad en el abordaje de la vía aérea, dolor, etc.^{19,32,33}, algunas de ellas experimentadas incluso por voluntarios sanos¹². Algunos dispositivos, en concreto, presentan riesgos propios asociados, como el aumento de la presión intracraneal (PIC) que ha sido ampliamente descrito en el uso del collarín cervical^{32,34-36}. Por otra parte, en algunos grupos específicos de pacientes el uso del collarín cervical puede implicar mayores complicaciones. El aumento de la sintomatología neurológica en aquellos que sufren espondilitis anquilosante, y, por tanto, aumento del riesgo de lesiones en el tronco del encéfalo, o en aquellos que padecen una luxación atlanto-occipital, son ejemplos de estos grupos de pacientes³¹. Además, su uso necesariamente implica cierto incremento en el tiempo en escena, y, por ende, la demora en el traslado⁸.

La clave, se encuentra en aplicar adecuadamente la RMV para alcanzar un equilibrio que permita minimizar los riesgos y optimizar los beneficios. Por ello, puede apreciarse como las recomendaciones disponibles en la literatura científica han ido evolucionando. La restricción completa de movimientos o inmovilización completa tradicional con tablero largo rígido que históricamente suponía la atención de elección y excelencia al paciente con SLM, ha sido ampliamente cuestionada en términos de seguridad y adecuación por los investigadores. La necesidad de un cambio de paradigma se hace evidente y nace la tendencia actual, en la cual se realiza una estabilización manual hacia posición neutra del paciente con SLM. Posteriormente, se realiza la evaluación del paciente para valorar la necesidad de restricción de movimiento en la columna¹². Ya desde hace algunos años, se aboga por la inmovilización selectiva (IS)⁸. El concepto IS se refiere a la RMV tras una evaluación completa y adecuada del paciente, tras la que se decida que es pertinente la inmovilización. El conocimiento que cimienta este enfoque, diametralmente opuesto a la consideración tradicional, radica en que no todos los pacientes que sufren un trauma mayor precisan una inmovilización espinal completa^{12,26,19,24}. En relación con este tema, debe mencionarse que hay autores que reportan un incremento del riesgo de lesión neurológica, aumento del tiempo de estancia en el Servicio de Cuidados Intensivos, y de mortalidad intrahospitalaria, por la presencia de inmovilización cervical durante la reanimación de un paciente que ha sufrido un trauma mayor³⁷.

Tras la evaluación física y teniéndose en consideración el mecanismo lesional, debe tomarse la decisión de RMV empleando el juicio clínico del profesional; no obstante, debe remarcarse que el mecanismo lesional no debe ser el único elemento para determinar la citada restricción¹². Con la estabilización de la columna e inmovilización se busca una reducción del tiempo en escena, mayor comodidad en el paciente, menor tasa de complicaciones y disminuir la necesidad de futura rehabilitación de los pacientes. Considerar que las lesiones contundentes pueden llevar aparejado una inestabilidad espinal, con lo que se precisará de la alineación y estabilización de la columna. Por otra parte, las lesiones penetrantes o incisivas no representan una indicación de RMV, puesto que el riesgo de afectar a ligamentos o tejido óseo provocando inestabilidad, es mínimo^{12,30,24}; suponiendo solo un 0.2% del total y aumentando la mortalidad el empleo de RMV, al aumentar el tiempo en escena³¹. En el punto crítico que supone la toma de decisiones respecto de la RMV, además de los algoritmos NEXUS y CCSR, son frecuentemente seguidas las recomendaciones de la Guía NICE para la atención a la lesión medular. Las recomendaciones de la Guía NICE²⁹ respecto de la inmovilización de la ME alineada consideran que debe realizarse si se cumple factor de alto riesgo de CCSR, se identifica un factor de bajo riesgo de CCSR y el paciente no es capaz de realizar rotación cervical a derecha e izquierda en 45° o lo indican uno o más factores de las recomendaciones marcadas por la guía en referencia a la lesión espinal torácica o lumbosacra.

Aunque la IS, en la actualidad es la actuación de elección con tendencia al alza³⁸, no se encuentra un consenso sobre los criterios a seguir para llevarla a cabo⁸. La inclusión del mecanismo lesional como un riesgo a incluir en los criterios, la diferenciación entre paciente consciente e inconsciente, la ineficacia y complicaciones asociadas al collarín cervical o el autorrescate son elementos que generan controversia en las recomendaciones para la práctica asistencial en atención extrahospitalaria^{8,39}. Algunos expertos alcanzan consenso en proponer cambios en las recomendaciones de atención prehospitalaria al trauma, con el enfoque puesto en el empleo de métodos flexibles y basados en la evidencia^{40,41,42}. La atención al trauma grave y al paciente con SLM se encuentra en un momento de avance y cambio; los profesionales abogan por perseguir la evidencia científica que sustente la práctica médica extrahospitalaria de máxima calidad y seguridad. Tanto es así que surgen enfoques a priori sorprendentes, como el sugerido por Dixon et

al. que proponen⁴³ y ratifican⁴⁴ en paciente consciente y estable con SLM, tras accidente automovilístico, la hipótesis de la auto-extracción (AE) o autorrescate como una posible alternativa a la extracción tradicional por rescatadores. En un trabajo anterior⁴⁵ ya se había analizado el movimiento cervical en extracción de una víctima simulada por paramédicos, y de la víctima sin asistencia con y sin collarín cervical. Se concluye que el menor movimiento se registra con la AE de la víctima portando collarín, frente a las otras dos intervenciones. El concepto de AE se refiere a la capacidad de un paciente con LMT de liberarse del espacio confinado en situaciones de emergencia. En los trabajos de Dixon et al.^{43,44} y algunos posteriores^{46,48,49}, la AE es una maniobra que consiste en proporcionar a la víctima accidentada unas ordenes sencillas y concisas, que debe seguir para salir del vehículo por su propio pie, en lugar de ser extraído del habitáculo con métodos convencionales por rescatadores. En el trabajo piloto⁴³ se emplea el análisis biomecánico del movimiento de la columna cervical, reportando cuatro veces menos movimiento con AE respecto de técnicas de rescate convencionales, con diferentes dispositivos. En un estudio posterior⁴⁴, con una muestra algo mayor, los datos parecen corroborar la tesis de que el movimiento en AE es menor en la columna, por lo que podría beneficiar al paciente en el que existe una SLM, al disminuir la desalineación cervical respecto del eje neutro. Los prometedoros resultados, han dado pie a que otros autores empleen también análisis biomecánicos para explorar el movimiento comparando AE con extracción por rescatadores mediante diversas maniobras y empleando diferentes dispositivos^{46,47}. Aunque los resultados de los estudios citados deben ser tratados con cautela, al no presentar muestras amplias y encontrarse acotados dentro del campo de la simulación clínica, los datos apoyan la AE como la técnica de extracción que origina menor movimiento cervical. También se ha estudiado la AE con diversos collarines cervicales y con y sin collarín cervical, obteniéndose resultados variados^{48,49}. En la actualidad surge un enfoque que aboga la supresión del uso del collarín cervical en favor de la alineación cervical con control cervical bimanual. En un trabajo sobre la reanimación del trauma mayor, se defiende esta idea promoviéndose la modificación de las recomendaciones existentes³⁷. En otro trabajo que estudia la atención al trauma en rescate en esquí alpino, se afirma que el uso del collarín cervical no ofrece ventajas en lo concerniente a la RMV, frente al control cervical bimanual, aunque sí que aumenta el tiempo de la atención⁵⁰. Puede apreciarse como

el enfoque de la atención al paciente con SLM es complejo y cambiante. El uso del análisis biomecánico juega un papel de esencial importancia, pudiendo ser la herramienta que posibilite alcanzar una revolución del conocimiento que se tiene en este ámbito. Su utilización proporcionaría datos objetivos que fundamenten la adopción de técnicas innovadoras para el tratamiento de la SLM, superando el enfoque tradicional, en aras de adaptar la práctica clínica a los dictados pertinentes nutridos de la mejor evidencia científica disponible.

En la actualidad, sin embargo, no se dispone de datos objetivos resultantes del análisis y comparativa exhaustivas de todas las técnicas y dispositivos disponibles, con el objetivo de conocer cual provoca menos movimiento en el paciente. Los dispositivos de extracción, transporte y traslado, se encuentran diseñados para proporcionar estabilidad y reducir la movilidad de la columna vertebral en pacientes con LMT o SLM. El uso de estos dispositivos necesariamente consume tiempo durante su colocación y manejo postergando el tiempo en la escena. Además, algunas circunstancias, como el espacio físico disponible, pueden limitar su uso o incrementar el número de maniobras y la dificultad en las mismas. Del mismo modo, en pacientes con características físicas particulares, como cuello corto o deformidades en la columna, o estados de agitación se ve dificultada la colocación y manejo de estos dispositivos⁸. Las circunstancias de la escena y el objetivo perseguido con el dispositivo (extracción, transporte o traslado) requerirán el uso de un dispositivo u otro, o el uso combinado de varios de ellos. Los dispositivos disponibles incluyen: Tablero Espinal (TE) o Tabla de Rescate, Tabla Deslizante (TD), Camilla Cuchara (CC) o Camilla de Palas o Robertson, Collarín Cervicales, Inmovilizador Tetracameral (ITC) o comúnmente denominado "Dama de Elche", Colchón de Vacío (CV), Chaleco de Extracción, férulas y cinchas de inmovilización.

El dispositivo elegido y la técnica particulares dependen del criterio del profesional que proporciona la atención extrahospitalaria y del curso clínico y el contexto de la escena^{12,23}. Ante sospecha de lesión inestable de columna vertebral, la columna del paciente debe ser protegida y estabilizada, de modo que todos los movimientos se encuentren restringidos tras la aplicación de las cinchas, independientemente del dispositivo empleado^{12,24,30}.

Algunos pacientes, presentan circunstancias especiales que requieren consideración a la hora de inmovilizarlos. En el paciente bariátrico debe intentar

reducirse el riesgo de dificultad respiratoria, frecuentemente manifestado. Debe colocarse al paciente, una vez inmovilizado, en Posición Anti-trendelenburg o Morestin, para disminuir presión ejercida por tejido adiposo y las víceras en el diafragma, lo que puede generar esa dificultad respiratoria. En gestantes se debe colocar a la paciente en decúbito lateral izquierdo relativo, buscando desplazar el útero y evitar, así, la compresión de vena cava inferior y por tanto el síndrome de hipotensión supina^{12,26}.

Al margen de las consideraciones especiales, existe una importante controversia en la elección del dispositivo para un abordaje óptimo del paciente con SLM. Aunque, debe ponerse el foco en que, de acuerdo con la Asociación Nacional de Técnicos en Emergencias Médicas (*National Association of Emergency Medical Technicians; NAEMT*), la estabilización de la columna consiste en encontrar el equilibrio entre las necesidades de proteger e inmovilizar la columna, mantener y proteger el acceso a vía aérea, iniciar con rapidez el transporte y conseguir que la experiencia sea tolerable para nuestro paciente¹².

Algunos profesionales consideran que el uso de una TD para transferencia del paciente y mantenimiento del paciente en horizontal sobre la camilla de la ambulancia es adecuado, mientras otros consideran que el uso de TE, CC o CV reduce el riesgo de que la columna sufra movimientos¹². Algunos autores afirman que no existe suficiente evidencia científica que sustente la eficacia y seguridad que brindan los collarines cervicales rígidos y el TE³³, aunque otros consideran el TE la opción más efectiva para la RMV⁵¹. Aunque las recomendaciones sobre dispositivos se encuentran en constante revisión y modificación, las recomendaciones generales sobre la atención al trauma grave sí que se encuentran firmemente establecidas. El método habitual de inmovilización y extracción del paciente con SLM consiste en el uso de TE⁸. Se fija al paciente con correas al TE, portando un collarín cervical. Debe tenerse en consideración que, algunos trabajos, defienden que el TE no es un dispositivo apto para el transporte⁸, aunque importantes manuales¹² lo describen como apto para transportes de escasa duración, sin ser recomendable en transportes prolongados por las complicaciones asociadas. Además de la extrema incomodidad y riesgo de compromiso respiratorio (principalmente en pacientes bariátricos), el contacto de prominencias óseas con la superficie rígida de TE implica un compromiso en la circulación cutánea y el riesgo de aparición de úlceras por presión, tras varias horas^{12,19,23,30,52}. Por ello, se recomienda el uso de acolchados

entre el cuerpo del paciente y la superficie del tablero y minimizar el tiempo en TE, en la medida de lo posible^{12,26}. En este sentido, se reporta que el CV proporciona una inmovilización igual o superior al TE y resulta más confortable para el paciente^{8,12,53}. En la literatura ha sido plasmado el uso de CV y CC frente a TE como una opción más cómoda y de manejo más sencillo para el operador. En alguna referencia se atribuye un menor movimiento de la columna vertebral empleando CC frente a TE¹² y algunos autores desaconsejan el uso rutinario de TE por las complicaciones que supone⁵². El uso de TE ha sido paulatinamente reducido en Estados Unidos y Europa, aunque no hay evidencia científica de que su uso implique un aumento en la lesión neurológica secundaria¹². Debe tenerse en cuenta que algunos autores, habiendo comparado el movimiento resultante del uso de CC, TE y CV, reportan que las diferencias no son significativas respecto de su uso, por lo que el uso de uno u otro dependerá del clínico⁵⁴.

La movilización del paciente se realiza tratando de preservar la alineación de la columna completa respecto del eje neutro, disponiéndose también de distintas técnicas para ello. La elección de la técnica que entrañe una menor desalineación de la columna respecto del eje neutro, también es fuente de debate. Las técnicas descritas y habitualmente empleadas presentan variaciones en la ejecución en función de las circunstancias ambientales y el número de intervinientes disponibles. A grandes rasgos, se diferencian dos grandes grupos: las técnicas que implican *log-roll* o volteo y las técnicas que suponen elevación controlada del paciente. Algunos autores, tras emplear análisis biomecánico en sus estudios, defienden que la maniobra clásica de volteo debe eliminarse de las recomendaciones por suponer mayor desalineación del eje cabeza-cuello tronco que otras alternativas disponibles^{39,55}. Un estudio reporta que, en torno al 55% del movimiento vertebral cervical generado en la maniobra de transferencia, se produce en la fase del volteo⁵⁶. En contraposición, esta maniobra sigue siendo descrita para su empleo en manuales de referencia para la atención médica prehospitalaria a nivel mundial^{12,23}. La maniobra de volteo es ampliamente empleada, y específicamente señalada como tan segura y eficiente como otras técnicas, excepto en el supuesto de pelvis inestable²³. El transporte del paciente desde el lugar del accidente hasta el entorno de atención médica y su transferencia entre servicios, son actuaciones necesarias, pero implican riesgo de movimiento e inestabilidad de la columna²⁴. De hecho, desde el momento del accidente hasta la

estabilización completa del paciente (tratamiento en unidad de cuidados específicos o estabilización quirúrgica de la lesión y cuidados postquirúrgicos en la unidad) en el hospital, el paciente pasará por numerosas y sucesivas transferencias (Figura 6), y cada una de ellas implicará un alto riesgo de disrupción en la congruencia vertebral, de vital importancia si nos encontramos ante una columna inestable^{24,39}. La inmovilización, en este aspecto, es una herramienta fundamental, ya que protege la columna aportando seguridad al paciente.

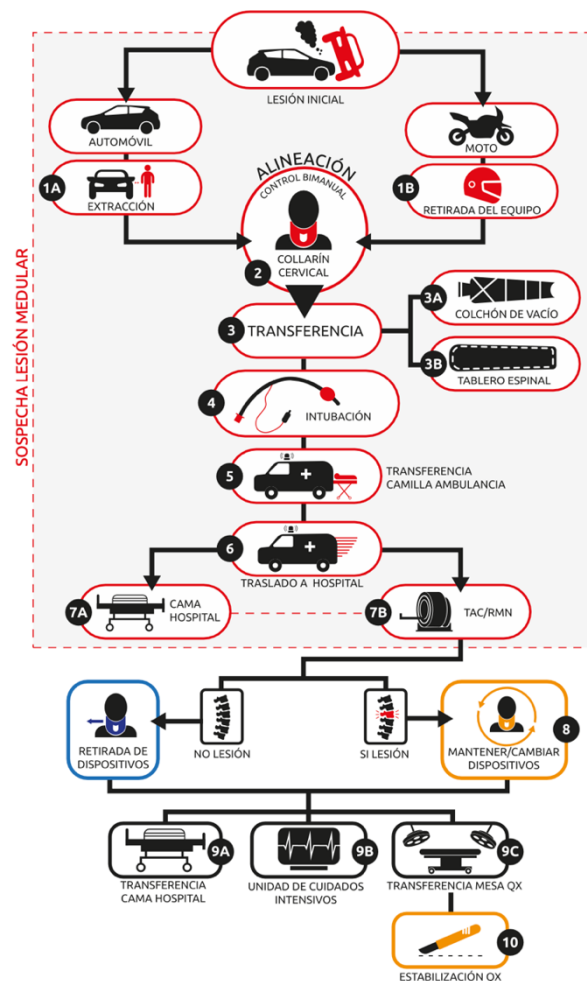


Figura 6. Esquema de la secuencia de atención al paciente con SLM, con transferencias y técnicas que suponen riesgo de desalineación en la columna vertebral.

Fuente: adaptación infográfica de Conrad BP, Del Rossi G, Horodyski MB, Prasarn ML, Alemi Y, Rehtine GR. Eliminating log rolling as a spine trauma order. Surg Neurol Int. 2012; 3 Suppl 3: S188-97.

Es importante tener presente que solo con una comprensión de los principios anatómicos y la capacidad de adaptar los principios RMV a las circunstancias específicas del paciente, puede alcanzarse unos cuidados óptimos; un método inflexible no logrará cumplir satisfactoriamente las condiciones que se precisan¹².

Los principios generales^{12,30} a contemplar tras decidir inmovilizar al paciente son:

- Estabilización manual alineada: llevar la cabeza del paciente a posición neutra manteniendo alineación del eje cabeza-cuello-tronco. No debe realizarse la estabilización si se presentan las siguientes contraindicaciones: resistencia al movimiento, espasmo muscular en cuello, incremento del dolor, comienzo o aumento del déficit neurológico, compromiso de la vía aérea o la ventilación y/o desalineación cefálica tal que no se aprecie una continuidad entre el eje del cuello y la línea media de los hombros.
- Evaluación primaria del paciente y realización de intervenciones inmediatas.
- Evaluación en las cuatro extremidades de las capacidades motora, sensorial y circulatoria.
- Examen completo del cuello del paciente y aplicación de collarín de tamaño correcto y con el grado de ajuste adecuado.
- Transferencia al paciente al dispositivo inmovilizador adecuado, minimizando el movimiento en lo posible.
- Cinchado para estabilización del torso del paciente.
- Uso de acolchado en la parte posterior de la cabeza. Habitualmente la cabeza en posición supina implica hiperextensión del cuello. Para mantenimiento de la alineación en eje neutro puede precisarse almohadillado o uso de toallas, con adaptación del requerimiento a las condiciones del paciente de manera individual.
- Estabilización de la cabeza del paciente en el dispositivo. Tras fijar el torso del paciente al dispositivo rígido seleccionado, debe procederse a la fijación cefálica, que puede realizarse con ITC, almohadillado o mantas enrolladas. La práctica de uso de sacos de arena queda desaconsejada por el alto riesgo de lesión que supone ante movimiento de los pesos como consecuencia de la aceleración y

desaceleración, pero también, y principalmente, en contexto de lateralización del paciente ante la aparición de vómito. El uso de cincha para fijación del mentón se encuentra desaconsejado por impedir la apertura bucal, imposibilitando su manipulación.

La inmovilización nunca es total en RMV, ya que el tejido muscular presenta cierto movimiento, aunque el paciente se encuentre extremadamente bien fijado al dispositivo. Por ello, debe tenerse presente que algunos movimientos se derivan de la atención sanitaria y son inevitables: cierto movimiento en la extracción del paciente (si lo requiere), transporte y transferencia a la ambulancia, movimiento derivado de las aceleraciones y desaceleraciones normales de la conducción y todas las transferencias mencionadas, que serán requeridas en el hospital, hasta la total estabilización^{12,39}.

1.5. LESIÓN MEDULAR TRAUMÁTICA EN MOTORISTA ACCIDENTADO

Los accidentes automovilísticos implican vehículos de dos y tres ruedas en un alto porcentaje, contribuyendo a la fatalidad los motoristas en un 21%. La mortalidad, que se ha reducido en un 2% respecto de los datos anteriores proporcionados por la OMS⁵⁷, continúa siendo muy variable por regiones, abarcando desde el 48% correspondiente al Sudeste Asiático, hasta el 9% de la Región Mediterránea Este¹⁷. Las lesiones en la cabeza y cuello son la principal causa de muerte en accidentes de motocicleta. El uso adecuado de un casco de calidad puede reducir en una sexta parte el riesgo de morir y el de sufrir lesiones cerebrales hasta en un 74%^{17,57}. Sin embargo, se identifican importantes barreras que impiden el uso del casco de forma adecuada y universal, como se considera fundamental. Esos obstáculos implican: disponibilidad y asequibilidad económica de cascos de calidad, correcta fijación del casco, clima demasiado cálido y desinformación de la población¹⁷.

Los resultados del último Informe de la OMS comunican, en relación con los países encuestados (Figura 7), un total de 54 países, con un incremento de 5 países respecto del informe de 2018, en el cumplimiento de las mejores prácticas dictadas por la OMS: existe legislación sobre el casco aplicable tanto a conductor como a pasajero, en todas las carreteras y todos los tipos de motor, con una fijación correcta y con certificación¹⁷.

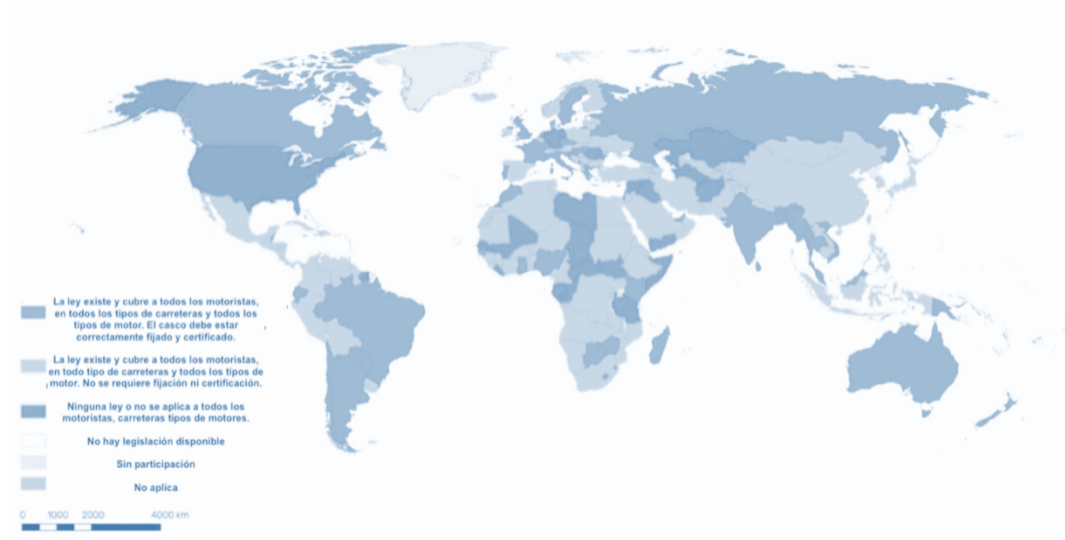


Figura 7. Estado de la legislación por países, sobre el uso de casco en motorista en 2022 (traducción de la versión original en idioma inglés).

Fuente: Organización Mundial de la Salud. Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2023. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2023.

Como puede apreciarse en el Informe de la Situación Mundial de la Seguridad Vial en 2023¹⁷, la adecuada protección de motoristas mediante la legislación en el uso de casco, se ha intentado incrementar en los últimos años, pero aún se presenta un largo camino por recorrer, sobre todo en aquellos países que no pertenecen a la Unión Europea. Debe tenerse en cuenta además, que los vehículos de dos y tres ruedas motorizados a nivel mundial, se encuentran registrados en su mayoría (88%) en países con ingresos medios y bajos⁵⁷.

En el estudio llevado a cabo por Allen et al.²⁰ se analizan las LMT discriminando entre motoristas *on-road* (en carretera) y motoristas *off-road* (fuera de carretera). Se aprecia una diferencia sustancial entre las LMT en motoristas de *off-road* (82.7%) respecto de los motoristas *on-road* (53.4%), lo que podría deberse al terreno y a la laxitud de las normas en el contexto *off-road*. De cualquier manera, debe considerarse que el volumen de pacientes *off-road* es una séptima parte de la muestra de sujetos que practican *on-road* y que no se reporta significancia estadística en este dato.

En España, aunque la mortalidad global ha aumentado un 14% (1.145 personas han fallecido en accidentes de tráfico) en 2022, en motoristas se ha reducido un 12%, de acuerdo con los datos de la Dirección General de Tráfico (DGT), posiblemente relacionado al hecho de que los accidentados que no llevaban casco se ha reducido en los últimos años al 2%⁵⁸.

Los accidentes de motocicleta pueden provocar una amplia variedad de lesiones. Debe destacarse que, aunque la ausencia de casco es decisiva en el incremento del riesgo de mortalidad y lesiones cerebrales^{17,57}, el uso de un casco no homologado, de mala calidad, de talla incorrecta o inadecuadamente fijado también aumenta este riesgo^{57,59,60}. El tipo de casco (Figura 8) es una variable fundamental en las lesiones asociadas. El uso de casco integral, respecto de los cascos de cobertura parcial, reduce la tasa de lesiones faciales (mandibulares, zigomáticas...), traumatismo craneoencefálico (TCE) y lesión espinal cervical⁵⁹⁻⁶⁴, aunque en comparación con otros cascos la protección que ofrece al cuello no es muy superior⁶². Las lesiones más frecuentes de motoristas accidentados comprenden lesiones en cabeza, pelvis y extremidades inferiores; tendiendo a una mayor gravedad estas lesiones cefálicas respecto de otro tipo de accidentados⁶⁵. Las lesiones craneales son las más comunes en las víctimas de accidentes de motocicleta, representando el 50.7% de la mortalidad⁶¹, y siendo el uso de casco el principal factor de prevención en estas lesiones y específicamente en la prevención de TCE⁶⁶. Se pone de manifiesto la importancia del uso del casco integral.

La existencia de legislación, como se ha visto, es frecuente en la mayoría de países de ingresos altos, donde, en líneas generales, se contempla su cumplimiento. En algunas regiones del planeta, sin embargo, el cumplimiento y preservación de la ley encuentra dificultades y el tipo de casco que debe portarse no se encuentra contemplado^{61,66}. Araujo et al. en su trabajo reportan que la tasa de mortalidad con la existencia o introducción de leyes que obligan al uso del casco de conductores y pasajeros, se ve reducida. En algunos estados miembros de los Estados Unidos de América, las leyes sobre la obligatoriedad del casco han sido extensamente modificadas y revocadas; de lo cual se deriva un aumento de la mortalidad oscilante del 12% al 23% en estos estados⁶⁷.

Por otra parte, en algunos lugares existe legislación, pero no hay una alta tasa de cumplimiento de la misma, bien por inexistencia de sanciones o por baja sensibilización de la población a la necesidad de su uso⁵⁷.



Figura 8. Tipos de casco comercializados

Fuente: Organización Mundial de la Salud. Seguridad de los vehículos de motor de dos y tres ruedas: Manual de seguridad vial para decisores y profesionales. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2017.

Los motoristas accidentados, tanto conductores de vehículos de dos ruedas como pasajeros, presentan un reto particular para los servicios médicos de emergencias (SEM). El accidentado, en el contexto de paciente que ha sufrido un trauma mayor y en el que se presenta SLM, precisa habitualmente la retirada de elementos de autoprotección (casco). La retirada de casco supone un importante desafío debido a que se presenta el riesgo de agravar la lesión inicial. El casco integral debe ser retirado en el inicio del proceso de evaluación¹², siendo la única contraindicación el desconocimiento de la técnica⁶⁸. La retirada de casco integral siempre será llevada a cabo por personal capacitado para ello. Permite en la atención inicial, el acceso a la vía aérea para un adecuado manejo de la misma si fuera necesario, evaluar la presencia de hemorragias no apreciables por la presencia del casco y la correcta alineación de la columna en su eje de neutralidad. En un segundo tiempo, brinda la posibilidad de una evaluación secundaria completa de la cabeza y el cuello del paciente y la correcta alineación e inmovilización de la columna vertebral^{4,12,23,30,60,65,68-70}.

En los Manuales de referencia internacional *Prehospital Trauma Life Support* (PHTLS) e *International Trauma Life Support* (ITLS) se expone que la retirada de casco, en paciente en PS, garantiza poder llevar la cabeza a posición neutra respecto del eje, desde la posición de flexión en la que se encuentra por el volumen del casco^{12,23}.

En el ámbito de la literatura científica disponible en la atención sanitaria al motorista accidentado se considera únicamente para retirada de casco la PS. Si un

paciente es hallado en posición prona (PP) o semi-prona se recomienda el volteo del mismo, preservando el eje neutro de la columna, hasta PS^{12,23,68,69}.

La técnica para la retirada de casco integral debe ser llevada a cabo necesariamente por dos rescatadores⁷⁰, idealmente por profesionales en atención prehospitalaria^{23,29,60,68}. Antes de iniciar las maniobras de retirada de casco debe tratar de extraerse parcialmente el acolchado interior, en aquellos casos en los que es extraíble, lo cual facilita llevar a cabo la maniobra de retirada de casco con éxito⁶⁰. Es fundamental considerar que las actuaciones son coordinadas y que ambos intervinientes no pueden mover las manos a la vez, para preservar el eje neutro de la columna. Las intervenciones secuenciales a seguir en la **técnica estándar** son (Figura 9)¹²:

1. **Estabilización de la cabeza y cuello del paciente.** El considerado como primer rescatador (R1) se coloca tras la cabeza del paciente para estabilización de casco, cabeza y cuello y mantiene la posición alineada más cercana a la posición neutra (PN) que pueda lograr con el casco. Para ello, posiciona las palmas de las manos en los laterales-inferiores del casco y sus dedos se flexionan sobre el margen inferior del mismo apoyándose en el arco mandibular. El segundo rescatador (R2) realiza la apertura del protector facial y corta o desabrocha el barboquejo o cincha mentoniana.
2. **Control bimanual cervical.** El R2 abarca con una mano la parte posterior del cuello del paciente (occipucio) y con la otra sujeta al ángulo mandibular empleando el primer dedo y los dedos segundo y tercero.
3. **Extracción del casco.** El R1 tracciona del casco lateralmente para ampliar el ángulo del mismo, y empieza la extracción con movimientos oscilantes hacia arriba y hacia abajo, con direccionalidad posterior. Debe tenerse presente que el casco se extrae con movimientos lentos y controlados, y que debe prestarse atención al momento de paso del casco por la región prominente de la nariz.
4. **Transferencia y mantenimiento de la estabilización.** El casco ha sido extraído y se precisa colocar un acolchado bajo la cabeza del paciente para mantenimiento del eje neutro. El control bimanual es transferido, R2 asume el control cervical y R1 coloca un collarín del tamaño adecuado.

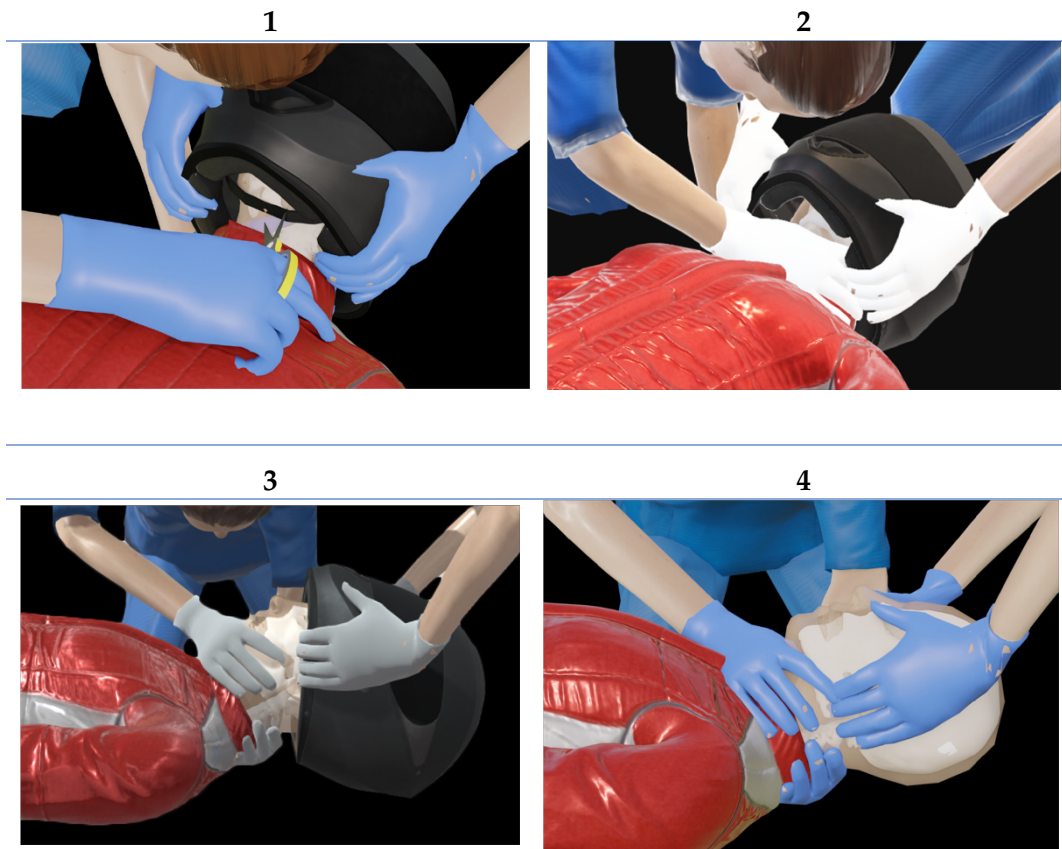


Figura 9. Intervenciones secuenciales en la retirada de un casco en motorista accidentado hallado en posición supina.

Fuente: adaptación infográfica de Ludwig SC, Thomson AE, Ye I. Trauma espinal. En: Comité de Trauma, coordinador. PHTLS: soporte vital prehospitalario para traumatismos. 10ª ed. Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning; 2023. p.303-50.

Existe una variación de la técnica estándar de retirada en la que, se sigue la misma secuencia de acciones, pero el casco, en lugar de ser retirado con movimientos oscilantes arriba y abajo, se retira con tracción continua ampliando el ángulo de retirada con tracción en dirección posterior, para liberar la nariz de la víctima. Es importante mencionar que esta variación es realizada por algunos profesionales y se desprende de lo expuesto en diversos trabajos, pero la descripción de la técnica es cuanto menos vaga y sin apenas explicación en alguno de los trabajos^{30,68-70}. En cualquier caso, en ambas intervenciones es de suma importancia que el R1 reposicione la mano posterior abarcando mejor el cráneo

antes de extraerse el casco por completo, por la tendencia de la cabeza de caer hacia atrás al finalizar la extracción^{30,68-70}. En el presente documento se hará referencia a las técnicas, que no disponían de un nombre específico descrito en trabajos de otros autores, como “Técnica Dientes de Sierra” (TDS) y “Técnica de Tracción Continua” (TTC), respectivamente. Ambas técnicas son conocidas y aplicadas por rescatadores entrenados para ello. A pesar de ello, se ha encontrado un único estudio que evalúa la desalineación cervical (DC) producida en la retirada de casco integral con TDS⁷¹.

La retirada de casco en motorista accidentado es una técnica necesaria, muy específica y que supone un importante riesgo a la hora de agravar una LME primaria, debido al movimiento que requiere. Desafortunadamente las técnicas disponibles para retirada de casco integral en motorista accidentado no son extensamente descritas en la literatura, ni han sido testadas de forma comparativa con estudios de análisis biomecánico o cualquier otro método que pudiera esclarecer que técnica resulta idónea en la atención al accidentado.

II – JUSTIFICACIÓN

II - JUSTIFICACIÓN

Los traumas graves involucran gran cantidad de riesgos y una alta tasa potencial de morbilidad, que debe tenerse muy presente al realizar nuestra labor profesional. Entre las posibles lesiones asociadas que comprometen la vida de estos pacientes, la LMT es una patología frecuente y de muy difícil manejo. Supone un gran coste económico social y personal, y un devastador acontecimiento que puede modificar todos los aspectos vitales del paciente y su entorno.

La atención al paciente con LMT o SLM, es un importante reto para todos los profesionales y, en especial, para aquellos que ejercen su labor profesional en el ámbito extrahospitalario. La LME debe ser abordada con maestría para evitar posible agravamiento de lesiones existentes y aparición de lesiones secundarias. La comprensión de las técnicas de RMV, sus objetivos, los dispositivos utilizados y los beneficios y riesgos asociados, es fundamental para el manejo adecuado de pacientes con LMT. Este conocimiento asegura una mayor probabilidad de llevar a cabo un tratamiento seguro y efectivo, al tiempo que se procura la prevención de daños adicionales y la promoción de la recuperación. Para ello, es fundamental la adecuada movilización e inmovilización del paciente, pero, desafortunadamente, existen lagunas de conocimiento y una importante controversia acerca de que técnicas e instrumentos suponen el manejo óptimo, para conseguir el menor movimiento en la columna potencialmente lesionada. La técnica de movilización, aunque en debate, parece conducirse siempre hacia la atención del paciente en decúbito supino y la posición anatómica, pero ¿Es esta la mejor actuación en todos los casos, o se sigue esta tendencia por ser lo usualmente aplicado y hay determinados pacientes que podrían beneficiarse de otro proceder?

La desalineación respecto del eje neutro de la columna es un factor fundamental, pero, no debe olvidarse la importancia primordial que desempeña el tiempo en todos los pacientes que han sufrido un trauma mayor, y por ende en aquellos con SLM. El análisis biomecánico podría suponer la herramienta adecuada para explorar un vasto paraje de conocimiento, que trajera un cambio de paradigma en la atención al paciente con SLM en la atención sanitaria, tanto hospitalaria como extrahospitalaria.

CAPÍTULO II- JUSTIFICACIÓN

En palabras de la OMS, en referencia a los accidentes de tráfico, de los que sabemos que buena parte implican a motoristas: *“en la atención de esos traumatismos, el tiempo de reacción desempeña un papel extremadamente importante: unos pocos minutos de demora pueden decantar la balanza entre la vida y la muerte”*¹⁷. El uso de casco integral reduce la morbimortalidad y su tendencia de uso se encuentra al alza. Para una adecuada valoración y evaluación del motorista accidentado es requerida la retirada del casco. Todo ello implica que los profesionales sanitarios proveedores de atención extrahospitalaria deben encontrarse entrenados en técnicas de retirada de casco, para proporcionar al motorista accidentado una atención de máxima calidad, atendiendo a la mejor estabilización de la columna disponible en el menor tiempo posible.

En resumen, la investigación mediante análisis biomecánico de diferentes técnicas, en aras de alcanzar el conocimiento que permita a los profesionales un manejo óptimo del paciente con SLM, se perfila como una necesidad de vital importancia.

III – HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

III - HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. HIPÓTESIS

La hipótesis general del presente trabajo es que el estudio y descripción de nuevas técnicas que reduzcan la desalineación de la columna vertebral cervical, mejorará la atención de emergencias de excelencia, en el contexto de pacientes que presentan sospecha de lesión medular traumática.

Las hipótesis específicas de esta tesis doctoral son:

1. Como primera hipótesis, en contexto de motorista accidentado, se plantea que, retirar el casco en decúbito supino, en motorista hallado en decúbito prono, aumenta la desalineación cervical al provocarse una flexión cervical forzosa por efecto palanca contra un plano rígido (el suelo). Por ello, se considera que la retirada de casco en posición prona podría ser beneficiosa para estos pacientes, al reducirse la desalineación cervical resultante de la asistencia médica.
2. Como segunda hipótesis de estudio se propone que la desalineación cervical resultante de la retirada de casco en motorista accidentado puede verse reducida con la Técnica de Tracción Continua.
3. La tercera hipótesis de estudio reside en que la transferencia de pacientes con Tablero Deslizante produce menor desalineación cervical que el uso de Camilla Cuchara, al reducirse a la mitad el número de volteos.

3.2. OBJETIVOS

3.2.1. Objetivo general

Evaluar el movimiento de la columna vertebral cervical a pacientes simulados con sospecha de lesión medular traumática, al que se han aplicado diferentes técnicas y recursos, y el tiempo requerido para ellas.

3.2.2. Objetivos Específicos

1. Analizar la desalineación cervical producida durante la retirada del casco en motorista accidentado, en posición supina frente a posición prona. También, se evalúa, si la posición supina produce algún grado de alteración en comparación con la posición neutra del paciente
2. Determinar la maniobra óptima para retirada de casco en motoristas accidentados hallados en decúbito supino, por personal sanitario. Para ello, se analiza el tiempo y la desalineación de la columna cervical durante la retirada de casco mediante la Técnica Dientes de Sierra y la Técnica de Tracción Continua.
3. Comparar el grado de desalineación de la columna vertebral cervical durante la transferencia de pacientes con sospecha de lesión medular, usando Tablero Deslizante frente a Camilla Cuchara, y evaluar el tiempo empleado en la transferencia del paciente con ambas herramientas.

IV – METODOLOGÍA

IV -METODOLOGÍA

Se desarrollaron tres estudios de tipo transversal comparativo de simulación clínica. Con ellos, se realizó el análisis del movimiento de la columna vertebral cervical en diversas actuaciones, en pacientes simulados con el rol de víctima accidentada con SLM. Para el análisis biomecánico de la DC se emplearon sistemas de captura de movimiento tipo Sensores Inerciales (SI). Los tres estudios han sido publicados (Anexo 2) en revistas indexadas en *Journal Citation Reports* (JCR) (Apéndice 1).

Los tres estudios se encuentran bajo la aprobación del Comité de Ética de la Universidad Católica San Antonio (UCAM), con el número de registro 6.118. En el transcurso de los estudios se siguieron, rigurosamente, las pautas de la Declaración de Helsinki. A cada participante se le proporcionó un formulario de consentimiento informado del experimento a realizar, el cual firmó expresando su conformidad con el mismo.

4.1. ESTUDIOS Y SELECCIÓN MUESTRAL

La muestra de participación de los estudios se compuso de voluntarios y se obtuvo mediante convocatoria abierta. En los tres estudios se fijaron como criterios de inclusión:

- Ser mayor de 18 años.
- Firmar el formulario de consentimiento informado.

Como criterios de exclusión, se consideraron:

- Sufrir algún tipo de lesión física que haga imposibles el desarrollo de la fase experimental.
- Falta de actitudes o aptitudes para desempeñar el rol pertinente, de acuerdo con el criterio de los investigadores.

4.1.1. Estudio I

En el primero de los estudios se realizó la extracción de casco en motorista accidentado en dos posiciones (PS y PP) para la comparativa del movimiento en ambos escenarios. Además, se efectuó la medición de la posición neutra de la columna cervical portando el casco de motorista y hallándose en contacto con un plano rígido.

La muestra de voluntarios se compuso de 30 participantes, en el rango adecuado definido por el Teorema del Límite Central^{72,73}. Los voluntarios desempeñaron el rol de motorista accidentado, inconsciente portando casco y sin otras lesiones aparentes, en dos contextos diferentes: motorista accidentado hallado en PP y PS.

Como criterio de inclusión específico se señaló la cumplimentación de una hoja de filiación con datos antropométricos básicos: sexo, edad, altura (cm) y peso (Kg). Como criterio específico de exclusión se marcó la aparición de algún tipo de dolor o malestar durante el transcurso del experimento.

Además de la información que aportaron los voluntarios, en la hoja de datos básicos se registró, previa medición, el perímetro cefálico (PC) de cada voluntario (cm). En base a la citada medición, se les proporcionó un casco de motorista del tamaño adecuado. De acuerdo a las especificaciones del fabricante, los tamaños disponibles eran tallas: S (PC 55-56 cm), M (PC 57-58 cm), L (PC 59-60 cm) y XL (PC 61-62 cm).

4.1.2. Estudio II

En el segundo de los estudios, se analizó el movimiento vertebral cervical, en el contexto de extracción de casco de motocicleta, en motorista accidentado hallado en PS mediante dos técnicas: TDS y TTC.

Entre los participantes del estudio se aprecian en dos clases de intervinientes: voluntario con rol de víctima accidentada y voluntarios intervinientes como rescatadores.

El rol de víctima accidentada lo representó un voluntario con características antropométricas: talla 168 cm, peso 72 Kg e Índice de Masa Corporal (IMC) 25.5. El

papel a desempeñar consistió en motorista accidentado inconsciente hallado en PS, portando casco integral y sin otras lesiones aparentes.

La muestra de voluntarios intervinientes, rescatadores, se compuso de 34 profesionales sanitarios expertos en emergencias prehospitarias. Considerada suficiente de acuerdo, también, con el Teorema Central del Límite^{72,73}. Todos ellos, presentaban más de 3 años de experiencia en la atención de urgencias y emergencias y habían recibida formación específica respecto del Soporte Vital Avanzado al Trauma (SVAT).

4.1.3. Estudio III

Este estudio piloto, de análisis de movimiento de la columna cervical, se contextualizó en el ámbito de transferencia del paciente. Se evaluó el mismo, durante la retirada del dispositivo inmovilizador (CV) y la movilización del paciente con dos dispositivos de transferencia: TD y CC.

Para la realización de estudio piloto, como criterio de inclusión específico, se detalló ser profesional sanitario experto en SVAT, que contara, al menos, con 5 años de experiencia profesional en SEM. Se logró una muestra de 10 voluntarios intervinientes como rescatadores. Un voluntario interviniente representaba el papel de paciente-víctima simulada, con una antropometría correspondiente a: talla 170 cm, peso 70 Kg e IMC 24.2. El actor tuvo el rol de paciente inconsciente, hallado en PS con LME cervical.

4.2. ANÁLISIS BIOMECÁNICO MEDIANTE CAPTURA DE MOVIMIENTO

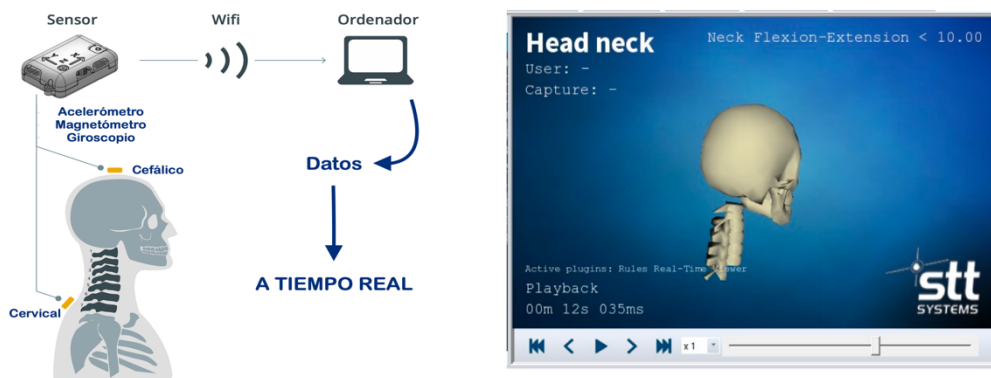
El análisis del movimiento vertebral, en los tres estudios, se realizó mediante el uso de SI tipo *STT-IWS iSen 3D Motion Analyser*® (*STT Systems*). Para la recolección de datos se precisan de los SI y del sistema *iSens*, conjunto (Figura 10) que permite seguir el movimiento de los segmentos individuales del cuerpo, integrar el movimiento en los diferentes ejes del espacio y generar los datos del ROM, que se pretende analizar.

Los *STT-IWS* son complejas Unidades de Medición Inercial (IMUs) que realizan la medición de diversas variables físicas. La medida de estas variables, es posible debido principalmente a tres sensores primarios que contienen estos SI:

acelerómetro, giroscopio y magnetómetro. Todos estos componentes se encuentran alojados en el interior de una carcasa rígida (dimensiones: 56 mm × 38 mm × 18 mm). Cada SI, con un peso total de 46 g., determina la orientación angular, al obtener datos de las tres coordenadas del espacio (X, Y, Z). Entre sus características técnicas cabe destacar cuatro aspectos: su frecuencia de recogida de datos (25-400 Hz) su frecuencia de transmisión (8 kHz/10-bit), su precisión (Pitch estática <math>< 0.5^\circ</math>; Roll estático <math>< 2^\circ</math>; Heading estático <math>< 2^\circ</math>) y su latencia (<math>< 0,004</math> segundos)

Respecto del funcionamiento de los SI; los datos sobre el grado de DC se generan automáticamente durante la adquisición de los movimientos, y en tiempo real. La comunicación de los sensores es inalámbrica, mediante el uso de una red local estándar (Wi-Fi). Se aporta esquematización de componentes y funcionamientos de los SI (Figura 10 a) y muestra de la interfaz de *iSens* (Figura 10 b).

En cada estudio se seleccionó el modelo biomecánico de análisis de movimiento cervical y dos SI se colocaron en la víctima-simulada (Figura 10 a): uno cefálico (parte superior de la cabeza) y uno en la espalda (entre las vértebras cervicales C6 y C7).



10 a. Esquematización de ubicación y funcionamiento SI.

10 b. Interfaz *iSens* durante recolección de datos.

Figura 10. Conjunto STT-IWS - *iSen 3D Motion Analyser*®.

Fuente 10 a: elaboración VR/AR Lab / Fuente 10 b: © STT SYSTEMS.

4.3. DESARROLLO DEL EXPERIMENTO-SIMULACIÓN.

4.3.1. Estudio I

La retirada de casco integral en los voluntarios fue ejecutada por dos instructores PHTLS. Además, ambos profesionales eran trabajadores SEM en activo, con más de 5 años de experiencia laboral en prehospitalaria y amplio entrenamiento en SVAT. Por todo ello, se considera que presentaban gran habilidad en las técnicas a realizar. La retirada de casco integral en los voluntarios, se produjo, en todos los casos, mediante la TTC.

A cada participante en su rol de víctima, se le realizó cada una de las intervenciones 3 veces; siendo las intervenciones: retirada de casco en posición supina (RCPS), retirada de casco en posición prona (RCPP) y medición de la desalineación en posición supina (DPS).

El cálculo de la DPS se determinó mediante el ROM existente desde la posición neutra (PN) del paciente portando el casco integral en bipedestación, hasta el apoyo de la superficie posterior de su cuerpo, en bipedestación, contra un plano rígido (pared). La PN se definió como la posición erguida en bipedestación del voluntario, con las extremidades relajadas y la vista al frente. La representación gráfica de las intervenciones puede verse en la Figura 11.

La DC total a la que se encuentra sometido un motorista en PS al que se le quita el casco en esta posición, se calculó realizando el sumatorio de la DC producida por la RCPS y la DPS. A este sumatorio se le denominó Suma PS.

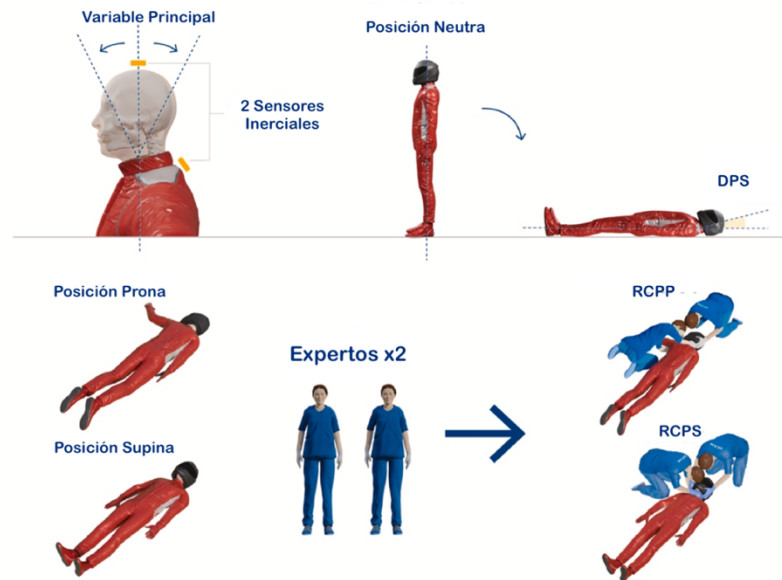


Figura 11. Diagrama de intervenciones del estudio.

DPS (desalineación en posición supina); RCPP (retirada de casco en posición prona); RCPS (retirada de casco en posición supina)

Fuente: elaboración VR/AR Lab

4.3.2. Estudio II

Los voluntarios se asignaron a un equipo de intervención, mediante aleatorización simple, compuesto por dos miembros. Uno de los expertos del equipo representaba el rol de R1 liderando la maniobra y realizando la extracción del casco de motorista mediante ambas técnicas (TDS y TTC); mientras el otro rescatador representaba el rol de R2, realizando la estabilización cervical bimanual. Los voluntarios intercambiaron sus roles, actuando los dos tanto de R1 como de R2.

4.3.3. Estudio III

Los voluntarios se distribuyeron, mediante aleatorización simple, a un equipo de 5 miembros, para realizar las maniobras. La intervención consistió en retirar el dispositivo de inmovilización espinal (CV) y proceder a la transferencia del paciente, empleando TD o CC, desde una camilla a una cama (Figura 12).

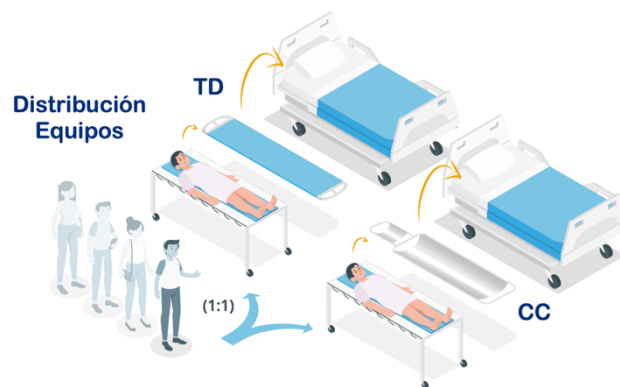


Figura 12. Diagrama del desarrollo del estudio.

Fuente: elaboración VR/AR Lab

Se constituyeron 9 equipos en los que los miembros rotaban su rol. Cada uno realizó la transferencia del paciente 4 veces empleando CC y otras 4 veces sirviéndose de TD. Un rescatador desempeñaba el rol de líder realizando el control bimanual cervical y dirigiendo la maniobra, mientras los otros 4 rescatadores ejecutaban las maniobras, asumiendo 2 el control a nivel de cintura escapular y otros 2 el control a nivel de cintura pélvica.

4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos se exportaron al programa *Microsoft Excel*® y se analizaron con el programa *IBM SPSS Statistics*® versión 21, en el primero de los estudios, y versión 24, en los otros dos trabajos. Se consideró, en todos los casos, diferencia estadísticamente significativa si $p < 0.05$.

La variable principal analizada es el ROM de la columna vertebral cervical en flexo-extensión (F-E). Las variables secundarias de análisis fueron: ROM de la columna vertebral cervical en flexión lateral (FL) y rotación (R) y género de los

participantes. Para el análisis de las citadas variables se registró el ROM de columna vertebral cervical correspondiente a: flexión (F), extensión (E), flexión lateral derecha (FLD), flexión lateral izquierda (FLI), rotación derecha (RD) y rotación izquierda (RI).

En el estudio I las variables secundarias comprendieron, además: edad, IMC, PC y talla del casco. Los datos se mostraron con frecuencias, rangos, medias, DE y IC al 95%. Dado que se propuso un nuevo método (RCPP), respecto a uno ya establecido para la retirada de casco integral (RCPS), se realizó una medición de calidad-fiabilidad con el método de *Bland-Altman*. La comparativa de resultados se ejecutó mediante una prueba ANOVA de medidas repetidas.

En el estudio II las variables secundarias incluyeron, también, tiempo de intervención, formación académica y años de experiencia del rescatador en el ámbito de urgencias y emergencias. Los datos se expusieron mediante frecuencias, rangos, medias y desviaciones estándar (DE). Para las pruebas de normalidad se empleó el *test de Shapiro Wilk* y para la comparación de las variables se utilizó la prueba *U de Mann-Whitney*, para variables independientes.

En el estudio III se incorporaron también las variables secundarias: tiempo, desalineación media (DM), edad, formación académica y años de experiencia de manejo de pacientes con SLM. Los datos se presentan mediante frecuencias, rangos, medias, DE e intervalo de confianza (IC) al 95%. Se realizó la comparativa entre variables con la prueba *t de Student* para muestras emparejadas.

4.5. RECONSTRUCCIÓN DIGITAL 3D

En el primero de los estudios, se consideró oportuno el diseño de una reconstrucción digital 3D de las técnicas de RCPP y RCPS. El diseño se llevó a cabo con el programa *Blender* y se exportó en formato GLB.

Los modelos anatómicos mostrados guardan las proporciones normales del cuerpo humano. Esto se consiguió con la modificación, llevada a cabo por los diseñadores 3D del Laboratorio de Realidad Virtual de la UCAM (VR/AR Lab), de objetos básicos. Tras finalizar el diseño, los archivos se cargaron en la plataforma *Sketchfab* para posibilitar la interacción con ellos.

Mediante el enlace QR (Figura 13), es posible visualizar el desarrollo de ambas técnicas (RCPS y RCPP) mediante realidad aumentada (RA). Para ello, la

ruta a seguir, paso a paso, es la siguiente: *escanear el QR con un dispositivo smartphone o tablet > ir al enlace QR > autorizar permisos de uso > hacer clic en "Toca aquí para colocar en tu espacio" > seguir las instrucciones que aparecen en el terminal para posicionar el objeto*. Una vez posicionado el objeto, se puede mover y girar, ampliar y reducir y tomar fotos mediante captura de pantalla.



Figura 13. Diagrama de extracción de casco en posición supina y prona, y códigos QR con reconstrucción digital en realidad aumentada de ambas.

Fuente: elaboración por VR/AR Lab.

Figura 14. Fotografías de la fase experimental.



V – RESULTADOS

V - RESULTADOS

Para los estudios, las unidades empleadas para mostrar los resultados fueron, respecto del ROM, en grados y, respecto del tiempo, en segundos.

5.1. RESULTADOS DEL ESTUDIO I

La medición el movimiento vertebral cervical se analizó en este estudio en el contexto de extracción de casco en motorista accidentado en PS y PP, y la medición del movimiento cervical resultante en PN al contactar la parte posterior del cuerpo con un plano rígido (pared).

No se muestra resultados de las variables secundarias FL y R, debido a que el ROM correspondiente a FLD, FLI, RD y RI, se excluyó de los resultados al presentar rangos muy pequeños y no exhibir diferencias significativas ni correlaciones con otras variables analizadas.

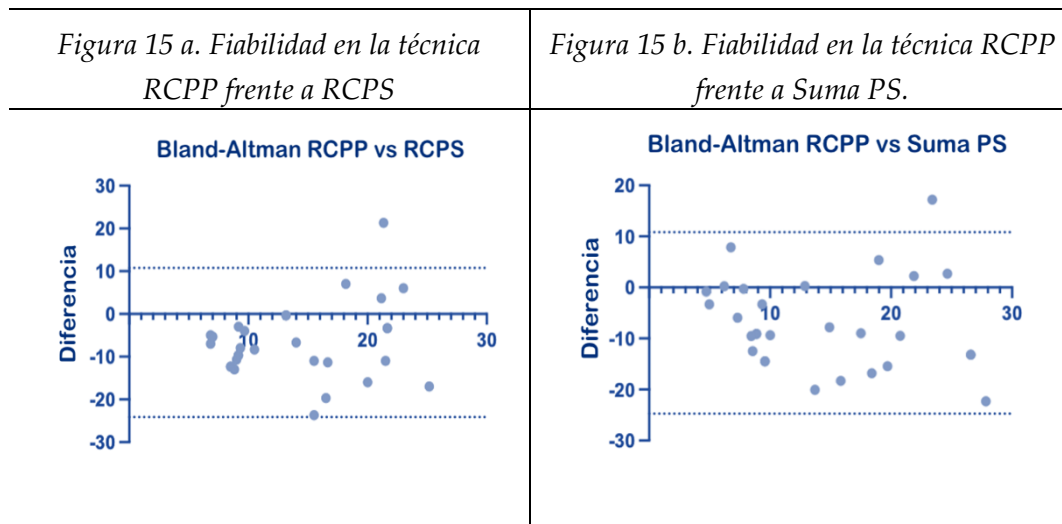
Se tomaron en cuenta las variables descriptivas: edad, género, IMC y talla del casco. La composición de género de los participantes fue en un 43% de mujeres y un 57% de hombres. La edad promedio se situó en 29 años ($DE \pm 9$ años) y los participantes se dividieron en cinco categorías de edad: menos de 20 años (3.3%), de 21 a 29 años (80%), de 30 a 39 años (3.3%), de 40 a 49 años (3.3%) y de 50 a 59 años (10%). La distribución según el IMC, con un promedio, dentro del rango de normalidad, de 24.74 ($DE \pm 5.48$) fue: 3.3% bajo peso, 63.3% peso normal, 20% sobrepeso y 13.3% obesidad. Respecto a la distribución de talla del casco integral, el más común fue el mediano (30% S, 37% M, 33% L, 0% XL), determinación ratificada por la medición del PC, con un promedio de 57.13 cm ($DE \pm 2.39$ cm).

La muestra de datos para análisis se compuso de 270 intervenciones. Cada intervención se realizó 3 veces sobre cada uno de los voluntarios de experimento ($n = 30$). Por ello, se extrajo el casco 90 veces empleando la técnica de RCPS y otras 90 con la técnica de RCPP. Además, se midió 90 veces la DPS.

Se llevó a cabo una evaluación de la precisión y fiabilidad de las extracciones de casco, utilizando el método de Bland-Altman. Se obtuvieron resultados que respaldan la reproducibilidad de las técnicas empleadas, avalando su fiabilidad (Figura 15).

CAPÍTULO VI – RESULTADOS

Figura 15. Comparativa de la fiabilidad (Bland-Altman) de la técnica de retirada del casco en motorista estudiadas.



Los resultados que corresponden a la variable principal de estudio, ROM de F-E, ilustrada en la Figura 11. Los hallazgos descriptivos del experimento se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados estadístico descriptivo de la variable principal.

Variable	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media ± DE	IC 95%
DPS	30	24.33°	- 14.50°	9.83°	0.29° ± 5.01°	(- 1.58°; 2.16°)
RCPS	30	24.34°	9.33°	33.67°	17.51° ± 6.49°	(15.04°; 19.97°)
RCPP	30	29.67°	2.33°	32.00°	10.82° ± 8.05°	(7.75°; 13.88°)
Suma PS	30	43.17°	2.83°	46.00°	18.72° ± 10.23°	(14.91°; 22.54°)

DE: desviación estándar; IC: intervalo de confianza. Los valores de p en negrita denotan significación estadística ($p < 0,05$).

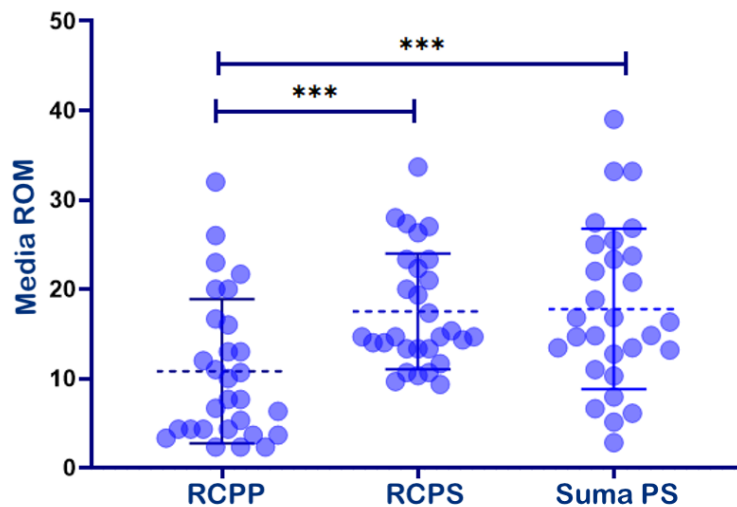
El resultado obtenido tras el análisis comparativo de las técnicas de retirada de casco integral puede verse representado con cifras (Tabla 4) y gráficamente (Figura 16).

Tabla 4. Análisis comparativo de resultados obtenidos respecto de la variable principal con las posiciones de retirada de casco estudiadas.

Variable	N	Media (\pm DE)	Comparativa	p
DPS	90	1.29° \pm 5.01°	-	-
RCPS	90	17.51° \pm 6.49°	RCPP vs RCPS	0.0003*
RCPP	90	10.82° \pm 8.05°		
Suma PS	30	18.72° \pm 10.23°	RCPP vs Suma PS	0.0087*

DE: desviación estándar. Los valores de p en negrita denotan significación estadística ($p < 0,05$).

Figura 16. Comparativa del rango medio de movimiento cervical (en grados) durante la retirada del casco en motorista en cada una de las técnicas estudiadas.



Del resultado del estudio se reportó un menor ROM de F-E con la técnica RCPP, con un valor de 10.82° (DE \pm 8.05°), en contraste con la RCPS, que mostró un valor de 17.51° (DE \pm 6.49°) ($p = 0.0003$). Este hecho indicó que la retirada de casco en PS aumentó el ROM de F-E en un 66% en comparación con la PP.

En el contexto de paciente que se halla en PP y se voltea para retirada de casco en PS, se empleó la combinación de los datos de ROM F-E producida por el casco, 1.29° (DE \pm 5.01°), al pasar de PN a PS, y la ya descrita por la RCPS. Su suma,

CAPÍTULO VI – RESULTADOS

definida como Suma PS, reportó un ROM de 18.72° (DE ± 10.23°). Al realizar la comparativa entre la Suma PS y la técnica de RCPP, se observó un incremento del ROM cervical ($p = 0.0087$). Esto implicó un aumento en el movimiento de la variable principal; el ROM de F-E fue un 73% mayor en comparación con la extracción del casco en PP.

5.2. RESULTADOS DEL ESTUDIO II

Se analizó el movimiento vertebral cervical, en el contexto de extracción de casco integral de motorista accidentado, hallado en PS, mediante TDS y TTC.

Se consideraron las variables descriptivas: género, edad, formación académica del rescatador y años de experiencia profesional en el ámbito de urgencias y emergencias. Respecto del género, la muestra de rescatadores ($n = 17$), se compuso en un 59% de mujeres y un 51% hombres. La distribución de la muestra, en relación con la formación académica, fue de 82% enfermeros y 18% técnicos en emergencias sanitarias (TES), con una media de experiencia profesional del rescatador de 11.5 años.

Las intervenciones se cuantificaron en un total de 34 experiencias, de las cuales se analizaron, tras descartar los errores en el sensor de medición, 33 intervenciones retirando el casco empleando TDS y 32 con TTC.

No se hallaron diferencias en relación con el género, la formación académica del rescatador ni los años de experiencia profesional. Respecto de las variables, principal y secundarias, relacionadas con los diversos ROM y el tiempo de ejecución de las técnicas (Tabla 5), sí que se registraron diferencias (Tabla 6).

Tabla 5. Resultados estadístico descriptivo.

Variable	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media ± DE
F	65	36.11°	0°	36.11°	9.93° ± 7.68°
E	65	39.89°	0°	30.89°	14.41° ± 9.37°
FLD	65	25.59°	0°	25.59°	7.12° ± 6.26°
FLI	65	27.71°	0°	27.71°	7.58° ± 6.18°

RD	65	21.46°	0°	21.46°	8.96° ± 5.15°
RI	65	22.56°	0°	22.56°	6.17° ± 4.93°
Tiempo	65	56.44"	17.35"	73.79"	36.06" ± 11.68"

DE: desviación estándar.

Tabla 6. Análisis comparativo de resultados obtenidos de TDS frente a TTC.

Variable	Técnica	N	Media ± DE	p
F	TDS	33	10.97° ± 7.44°	0.202
	TTC	32	8.85° ± 7.87°	
E	TDS	33	13.88° ± 10.26°	0.758
	TTC	32	14.96° ± 8.47°	
FLD	TDS	33	6.67° ± 6.20°	0.499
	TTC	32	7.57° ± 6.37°	
FLI	TDS	33	8.41° ± 7.42°	0.646
	TTC	32	6.71° ± 4.52°	
RD	TDS	33	9.08° ± 4.85°	0.942
	TTC	32	8.83° ± 5.52°	
RI	TDS	33	8.42° ± 5.13°	0.723
	TTC	32	5.90° ± 4.78°	
Tiempo	TDS	33	38.90" ± 11.71"	0.010
	TTC	32	33.11" ± 11.18"	

DE: desviación estándar. Los valores de p en negrita expresan significación estadística ($p < 0,05$).

El ROM de F presentó un rango medio de 11° (DE ± 7°) mediante TDS; mientras que con TTC es de 8° (DE ± 8°). Por otra parte, en el ROM de E, con TDS se registró una media de 14° (DE ± 10°) y mediante TTC se obtuvo una media de 15° (DE ± 8°). Por lo tanto, para la variable principal del estudio, ROM de F-E, no se encontraron diferencias (F $p = 0.202$; E $p = 0.758$). Esta variable, se representa

gráficamente en la Figura 11, con un ejemplo de una de las intervenciones realizadas, durante una de las simulaciones de retirada de casco.

En el análisis cualitativo de las curvas de la variable principal (Figura 17), se observó un importante registro de movimientos repetitivos en TDS, mucho mayor que en TTC.

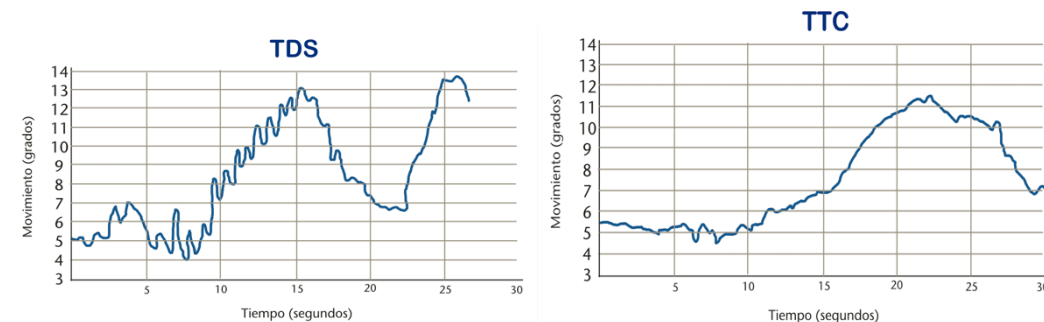


Figura 17. Imagen del ROM de flexo-extensión durante simulaciones de retirada del casco integral en motorista accidentado, para las dos técnicas estudiadas.

El ROM de FLD mostró un rango medio de 7° ($DE \pm 6^{\circ}$) con TDS; entre tanto con TTC fue de 8° ($DE \pm 6^{\circ}$). Con respecto al ROM de FLI mediante TDS se anotó una media de 8° ($DE \pm 7^{\circ}$) y con TTC se logró una media de 7° ($DE \pm 5^{\circ}$). Para la variable secundaria FL no se encontró diferencias significativas (FLD $p = 0.499$; FLI $p = 0.646$). El ROM de RD exhibió un rango medio de 9° ($DE \pm 5^{\circ}$) con TDS; mientras con TTC fue de 9° ($DE \pm 5^{\circ}$). El ROM de RI, con ambas técnicas, presentó una media de 6° ($DE \pm 5^{\circ}$). Para la variable secundaria R no se encontraron diferencias significativas (RD $p = 0.942$; RI $p = 0.723$). El tiempo empleado presentó una media de $38.9''$ ($DE: \pm 11,7''$) por medio de TDS; sin embargo, con TTC fue de $33.1''$ ($DE: \pm 11,1''$). Para la variable secundaria tiempo de realización de la maniobra se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.01$) con menor tiempo empleado en retirada de casco mediante TTC respecto de TDS.

Se muestra el resumen de las hipótesis de estudio analizadas (Tabla 7), con el correspondiente valor de "p", y la representación gráfica, mediante *box plots*, del análisis de ambas técnicas (TDS y TTC) en relación al tiempo y los ROM objeto de estudio (Anexo 3).

Tabla 7. Resumen de contraste de hipótesis; análisis mediante prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes.

Hipótesis Nula	Significancia Estadística
La distribución de <u>F</u> es la misma entre ambas técnicas.	0.202
La distribución de <u>E</u> es la misma entre ambas técnicas.	0.758
La distribución de <u>FLD</u> es la misma entre ambas técnicas.	0.499
La distribución de <u>FLI</u> es la misma entre ambas técnicas.	0.646
La distribución de <u>RD</u> es la misma entre ambas técnicas.	0.942
La distribución de <u>RI</u> es la misma entre ambas técnicas.	0.723
La distribución del <u>tiempo</u> es la misma entre ambas técnicas.	0.010

Los valores de p en negrita expresan significación estadística ($p < 0,05$).

5.3. RESULTADOS DEL ESTUDIO III

Estudio de análisis de movimiento de la columna vertebral cervical, durante la retirada de CV y posterior transferencia de un paciente con TD y CC.

Se consideraron, como variables descriptivas, en este estudio: género, edad formación académica y años de experiencia de manejo de pacientes con SLM. La muestra de participantes ($n = 10$) exhibió una mayoría femenina (60% mujeres; 40% hombres), y una media de edad de 34 años ($DE \pm 3.7$ años). La distribución, en base a la formación académica, fue dispar, siendo un 20% de los voluntarios médicos, un 70% enfermeros y un 10% TES. En relación con los años de experiencia se registró una media de 11.3 años ($DE \pm 3.7$ años)

La muestra de datos para análisis se compuso de 72 intervenciones. Se llevaron a cabo, por cada equipo, 4 transferencias con cada método, resultando 36 medidas diferentes del tiempo empleado y los diferentes ROM con cada instrumento.

El género, la formación académica y los años de experiencia de manejo de LME del rescatador, no reportaron diferencias respecto de otras variables. Los resultados, de las variables principal y secundarias relacionadas con el tiempo y los movimientos vertebrales, se plasman en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis comparativo de resultados obtenidos de CC frente a TD.

Variable	Media (\pm DE)		Diferencia de Medias (CC - TD) IC 95%	p
	CC (N= 36)	TD (N= 36)		
F	10.25° \pm 8.99°	13.34° \pm 10.60°	- 3.09° (- 8.04°; 1.86°)	0.214
E	5.15° \pm 2.80°	5.89° \pm 2.58°	- 0.74° (- 1.91°; 0.42°)	0.203
FLD	6.27° \pm 5.69°	4.35° \pm 4.00°	1.92° (- 0.48°; 4.32°)	0.113
FLI	10.55° \pm 6.63°	10.38° \pm 5.73°	0.17° (- 2.57°; 2.92°)	0.901
RD	12.11° \pm 4.80°	7.31° \pm 4.95°	4.79° (2.33°; 7.27°)	< 0.001
RI	9.01° \pm 6.89°	12.57° \pm 8.09°	- 3.56° (- 6.87°; - 0.25°)	0.035
DM	8.89° \pm 3.35°	8.98° \pm 3.54°	- 0.09° (- 1.55°; 1.72°)	0.916
Tiempo	81" \pm 32"	41" \pm 7"	40" (29"; 50")	< 0.001

DM = (F + E + FLD + FLI + RD + RI) / 6. DE: desviación estándar; IC: intervalo de confianza. Los valores de p en negrita denotan significación estadística ($p < 0,05$).

En el ROM de F se registró una media de 10° (DE \pm 9°) con CC; mientras que con TD fue de 13° (DE \pm 11°). Con datos algo menores, el ROM de E empleándose CC reportó una media de 5° (DE \pm 3°) y un rango medio de 6° (DE \pm 3°) con el uso de TD. En la comparativa de ambos métodos, para la variable principal de estudio, ROM de F-E, no resultaron diferencias estadísticas (F $p = 0.214$; E $p = 0.203$).

El ROM de FLD fue 6° (DE \pm 6°) de media con CC; reportándose, con TD, un rango medio de 4° (DE \pm 4°). Los ROM FLI, con ambos métodos, ofrecieron una cifra similar; 10° (DE \pm 7°) para CC y 10° (DE \pm 6°) para TD. No se detectaron diferencias significativas para la variable secundaria FL (FLD $p = 0.113$; FLI $p = 0.901$). El ROM RD exhibió un rango medio de 12° (DE \pm 5°) con CC mientras con TD fue de 7° (DE \pm 5°). El ROM RI, presentó una media de 9° (DE \pm 7°), mientras con TD anotó 13° (DE \pm 8°). Respecto a la variable secundaria R fue hallada diferencia estadísticamente significativa. Con el ROM RD hubo mayor rotación con CC ($p < 0.001$); mientras con ROM RI fue mayor la rotación con TD ($p = 0.035$). El análisis de la DM no aportó datos significativos (0.916) que sustente alguno de los

dos métodos. La DC producida fue tan similar, 9° (DE $\pm 3^\circ$) con CC y 9° (DE $\pm 4^\circ$) con TD, que la diferencia de medias exhibió un valor extremadamente pequeño (-0.09°).

En la cuantificación del tiempo consumido, por los rescatadores para completar cada intervención, se registró una media de 81" (DE ± 32 ") con CC frente a una media de 41" (DE ± 7 ") con TD. En esta variable secundaria también se encontró una diferencia estadísticamente significativa; la transferencia del paciente con CC precisó casi el doble de tiempo en comparación con TD ($p < 0.001$).

Gráficamente, se exponen los resultados del tiempo y todos los movimientos vertebrales descritos, mediante los *box plot* correspondientes (Anexo 4).

CAPÍTULO VI – RESULTADOS

VI – DISCUSIÓN

VI - DISCUSIÓN

En el momento que tiene lugar un accidente de tráfico en el que hay víctimas implicadas, se debe de considerar que presentan SLM hasta que pueda descartarse la LME¹². Por ello, deben realizarse maniobras y aplicarse dispositivos que garantice la protección de la columna vertebral, principalmente mediante la RMV. Desde la primera asistencia hasta que la víctima es admitida en el centro asistencial pertinente, se producen varias maniobras, tanto de rescate como de asistencia, que pueden fomentar o empeorar una LME existente, debido a la potencial desalineación vertebral producida durante la manipulación. En el presente trabajo, al centrarse en los accidentes de tráfico de motoristas, los puntos críticos de esta secuencia, en los que la desalineación vertebral o su rango de movimientos puede incrementarse son: maniobra de retirada del casco integral en la escena y transferencia del paciente a su llegada al hospital, donde recibirá el tratamiento definitivo. En un paciente con LME, el punto o grado exacto de movimiento en el que se produce una lesión mayor o secundaria es imposible de determinar. Ante este hecho, y siguiendo el principio *primum non nocere*, se debe hacer uso de aquellas maniobras, técnicas y dispositivos que supongan el menor grado de movimiento.

Otro factor en la asistencia de este tipo de pacientes es el tiempo; al igual que en cualquier otro paciente crítico o potencialmente crítico, es un factor de vital. Se expresa en la literatura científica que el tiempo en escena, desde que se llega al lugar del incidente hasta que se inicia el traslado del paciente al centro útil, debe limitarse tanto como sea factible en las víctimas que sufren un trauma mayor; sobre todo en aquellos que son pacientes críticos^{12,23}. El “periodo dorado” no debe ser consumido en la escena, en la medida de lo posible; puesto que el tiempo fuera del ámbito hospitalario se asocia con peores resultados en trauma^{12,23,74} y aumento de la mortalidad^{75,76}. En el estudio de cohortes retrospectivo, realizado por Ashburn et al.⁷⁴, se examinaron los intervalos de tiempo prehospitalarios en 2.077 pacientes de trauma. Se propuso un tiempo en escena menor a 10 minutos, y se concluyó que la población del estudio raramente alcanza el objetivo de tiempo. Por todo ello, se considera clave cualquier reducción temporal, asociada a la atención al paciente, que pueda proporcionarse. Esto incluye cifras que, a priori, podrían parecer

superfluas, sin embargo, si no se recomienda emplear en la escena ni tan siquiera 10 minutos⁷⁴, una reducción de segundos en cada técnica abordada puede marcar la diferencia.

6.1. DISCUSIÓN DEL ESTUDIO I. COMPARATIVA EN LA RETIRADA DE CASCO INTEGRAL EN DOS POSICIONES: PP Y PS

De la retirada de casco integral en motorista comparando dos posiciones en la víctima, respecto del movimiento vertebral, se recabaron interesantes resultados. La mayoría de los manuales y protocolos indican realizar una RCPS. En primer lugar, los resultados de este trabajo evidenciaron que ambas técnicas de extracción de casco probadas (PP y PS), provocaron cierto grado de movimiento, especialmente en relación con el ROM F-E. Se determinó que todas las posiciones de extracción causarían cierto grado de movimiento, y por tanto potencialmente pueden causar lesión. Se debe seleccionar, en la práctica profesional, la técnica menos perjudicial; esto es, la que menos movimiento provoque. Con los resultados hallados, esta técnica sería RCPP mediante TTC.

Con respecto a la RCPS, se observó en este estudio un ROM casi 4 veces menor, en comparación con el rango encontrado en el estudio de Gordillo et al.⁷¹, en el que la extracción del casco del motorista lesionado se midió también en víctima simulada mediante SI y en posición supina⁷¹. Una posible explicación para esta diferencia de resultados podría ser el uso de la TDS en su estudio, frente a nuestro uso del TTC. Otra justificación de la diferencia sería la realización de la técnica, en nuestro estudio, por parte de dos expertos en PHTLS.

Respecto de la comparativa de maniobras, los resultados fueron mejores para RCPP en comparación con RCPS. Con RCPS aumentó el ROM F-E en un 66%. Quizás esto podría deberse al efecto palanca de la parte posterior del casco contra el suelo; al girar el casco para evitar tocar la nariz, el casco empuja contra la parte posterior de la cabeza, provocando cierta flexión en la región cervical. Este efecto no sucede en la PP, dado que, en esta posición, el casco se gira en un eje de movimiento paralelo al suelo, y no perpendicular a él. Hasta dónde llega el conocimiento de la autora de la tesis, no hay publicaciones científicas que hayan abordado la posibilidad de quitar un casco en la PP, por lo tanto, no hay estudios disponibles que se pudieran usar para comparar nuestros resultados. Algunos

manuales recogen que el paso de una PN a una PS podría provocar una ligera flexión cervical debido al gran volumen de la parte posterior del casco; es decir, la columna no se encontraría en PN sino en ligera flexión^{12,23}. Los datos que se obtuvieron tras el análisis biomecánico mediante captura de movimiento, se encuentran en consonancia con esta afirmación. Dado que la DC observada por la suma de RCSP y la flexión forzada de la PN a la PS aumentaron el ROM F-E en un 73% con respecto a RCPP, los datos que se obtuvieron, respaldan la extracción del casco en la PP cuando el paciente se encuentra en esa posición. Entendemos que esta propuesta de extracción de casco en la PP refuta lo que se ha publicado previamente sobre la técnica en la PS. Sin embargo, hasta donde sabemos, es la primera vez que se realiza un estudio biomecánico que ratifica esta variación de la aplicación de la posición de extracción del casco. El establecimiento de los niveles máximos de flexión cervical aceptable antes del análisis de datos, a través del método de Bland-Altman, respalda la fiabilidad de los datos obtenidos en la simulación.

En cuanto a la retirada de casco si nos encontramos al paciente en decúbito prono, la nueva posición RCPP provoca menos movimiento de la columna vertebral en comparación con la posición habitual RCPS. No obstante, debe destacarse que voltear al paciente de una posición PS a una PP no se recomienda, ya que la maniobra de volteo registra más movimiento que la diferencia entre ambas posiciones^{39,78,81}. Por lo tanto, se recomienda quitar el casco en cualquier posición en la que se encuentre la víctima, y más específicamente, si la víctima se encuentra en la PP, no girar al paciente a la PS antes de quitar el casco.

6.2. DISCUSIÓN DEL ESTUDIO II. COMPARATIVA EN LA RETIRADA DE CASCO INTEGRAL EN PS DE DOS TÉCNICAS: TDS FRENTE A TTC.

Con los resultados que se obtuvieron en este estudio, de evaluación comparativa TDS y TTC, no puede afirmarse que una maniobra sea superior a la otra. Considerando el ROM cervical, las medias que se registraron con ambas técnicas, fueron similares. No obstante, se observó que TDS provoca una mayor acumulación de movimientos respecto de TTC. Los ROMs que se hallaron en este estudio, son similares al de Gordillo et al.⁷¹, que ya se ha mencionado. En un futuro se podría medir la desalineación total acumulada para determinar si existe mayor

movimiento acumulado en TDS, como parece indicar el dibujo de la curva de ROM F-E, respecto de TTC.

Focalizando la atención en el tiempo para cada maniobra, la TTC parece ser la más rápida de las dos técnicas. La media de tiempo en las intervenciones con TDS que se midió en este estudio, frente al único estudio de la literatura que retiró casco en PS con la misma técnica, supone la reducción del tiempo casi a la mitad⁷¹. En este estudio se refirió que los voluntarios pertenecían a SEM, sin detallar experiencia. Una posible explicación para la drástica reducción del tiempo, en la realización de la técnica, podría ser una mayor experiencia en nuestros profesionales sanitarios expertos en SVAT, que contaban, como mínimo, con 5 años de experiencia profesional en SEM.

Siguiendo el principio de buscar la técnica que implica menor movimiento vertebral y consume menor tiempo en escena, la TTC parece ser la técnica óptima a emplear, ya que registró cifras iguales de ROM respecto de TDS, pero menor movimiento acumulado y menor tasa de tiempo.

6.3. DISCUSIÓN DEL ESTUDIO III. COMPARATIVA EN LA TRANSFERENCIA DEL PACIENTE CON SLM DEL USO DE TD FRENTE A CC.

En la transferencia del paciente, en relación con los movimientos vertebrales, que se consideran un punto crítico en la atención del paciente, los resultados mostraron que, a pesar de realizar las maniobras de retirada de dispositivos y transferencia del paciente, profesionales con amplia experiencia, se generó alguna DC con ambos dispositivos. No hay estudios previos que hayan comparado DC empleando CC y TD; la mayor parte de estudios de análisis biomecánico se centraron en extracción o AE vehicular^{43,45-48,77} de pacientes, o no emplean TD. Comparando los datos de nuestro estudio con otros autores, Gordillo et al.⁷⁸, tras medir la desalineación media mediante reconstrucción 3D, concluyeron que la CC provoca menor desalineación en la columna respecto a la TL, siendo su registro con CC unos 10° mayor que el nuestro. No obstante, no es posible comparar la DC a la perfección, ya que en su estudio se mide en tres ejes (cabeza, hombro y cadera). Liengswangwong et al.⁵⁴ estudiaron la DC en diferentes situaciones de movimiento de voluntario sano estrechamente inmovilizado, donde cuantificaron una DC de 7° a 9° en el ROM F-E cervical, obteniéndose resultados similares a los nuestros.

Considerando el tiempo, como el segundo de los puntos críticos, transferencia del paciente desde la camilla, donde portaba CV, hasta la cama o camilla del centro útil, se objetivó que la TD reduce a la mitad el tiempo en la transferencia, respecto del uso de CC. Además, se debe remarcar que la CC precisa medición del paciente y ensamblado de dos piezas. Frente a esta circunstancia, la TD, de una sola pieza, es de talla universal. Esto podría influir en el incremento de tiempo, sobre todo en personal de asistencia con reducida experiencia. Aunque no se halla estudio en la literatura que compare el uso de CC y TD específicamente, sí que se encuentran estudios que reportaron que el uso de CV enlentece la asistencia. Al estudiarse la transferencia del paciente que portaba CV, puede extrapolarse que, si se hubiera medido el tiempo desde la colocación del CV, habría aumentado el tiempo en escena para ambos grupos. Uno de los mencionados estudios fue conducido por Roessler et al.⁷⁹ quienes, en un estudio de simulación, compararon el tiempo para estabilización de columna de un paciente con traumatismo grave, empleando TL y CV. Estos autores, subrayaron que el tiempo es esencial en pacientes con trauma mayor y reportaron datos, estadísticamente significativos, de que el uso de CV consumió 3 veces más tiempo que la estabilización del paciente con TL. En otro estudio de simulación, ejecutado por Stuby et al.⁸⁰, se reportó 1.66 veces menos tiempo preciso para la estabilización del paciente con CC, cinchas e inmovilizador de cabeza, frente al uso de CV. Sin embargo, debe tenerse en consideración que tanto TL como CC son recomendados, en el mejor de los casos, para traslados cortos, por las complicaciones que suponen^{12,19,23,30,52}.

Queda evidenciada con los estudios realizados, la importancia de la correcta realización de las técnica y maniobras de ambos puntos críticos, ya que puede provocarse un amplio rango de movilidad cervical. Si bien, los rangos de tiempo diferenciados entre técnicas y maniobras son reducidos, se determina como fundamental describir que proceder emplea menor tiempo; siempre que se considere el control de los ROMs, para poder considerar el sumatorio de esa reducción de tiempos como una potencial ventaja en la atención sanitaria proporcionada. Además, para la mejora de la atención, se plantea como elemento fundamental la formación. En un estudio realizado por Gordillo et al.⁸¹ se evidenciaron grados de desalineación de columna menores tras formación en el uso de CC y TL. En concreto, en el eje cabeza, la desalineación pre-formación (25,7°) se redujo a la mitad (11,1°). Por ello, la formación en los profesionales, se percibe como

la clave para la reducción de ROM en la atención al paciente con SLM, y se considera que también podría influir en la reducción del tiempo preciso para las diversas manipulaciones.

Debe tenerse en cuenta que las investigaciones publicadas, a menudo, estudiaron una muestra reducida. Por otra parte, los métodos para análisis biomecánico, así como la técnica, maniobra y herramientas asistenciales analizadas, son dispares. En algunos trabajos, no se registró el tiempo que requiere cada intervención, y en otros tan solo se consideró el tiempo de la técnica, sin registrarse medición respecto de la desalineación provocada en la columna vertebral, y en su sección fundamental, la columna cervical. Queda patente la vital importancia de aumentar la investigación en este campo, con la gran cantidad de posibilidades que ofrece.

VII – CONCLUSIONES

VII - CONCLUSIONES

7.1. CONCLUSIÓN GENERAL

La principal conclusión de esta Tesis Doctoral es que la evaluación de los pacientes, con sospecha de lesión medular traumática tras un accidente de tráfico simulado, reveló que existen diferencias importantes en la restricción de movimiento y en el tiempo de ejecución de las distintas maniobras, técnicas y/o recursos empleados por los profesionales de los servicios de emergencias médicas.

7.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

Las conclusiones específicas de esta tesis doctoral son:

- 1) En relación la posición inicial del paciente para la retirada del casco, se puede concluir que lo idóneo es quitarlo en la posición inicial en la que encontremos al paciente. Cabe enfatizar que, para los pacientes en decúbito prono, se genera una menor desalienación de la columna vertebral con la propuesta de una nueva variante que se ha descrito, y que se basa en retirar primero el casco en posición de decúbito prono y hacer un volteo posterior a decúbito supino.
- 2) En relación a los tipos de técnicas de retirada de casco en motoristas que se encuentran en decúbito supino, se puede concluir que no se hallan diferencias respecto de la desalineación cervical producida por la técnica de tracción continua en comparación con la técnica de dientes de sierra. No obstante, sí que se puede afirmar que la técnica de tracción continua reduce el tiempo de realización de la maniobra.
- 3) En la transferencia de pacientes con sospecha de lesión medular, se puede concluir que no hay diferencias respecto del movimiento vertebral, pero, por otro lado, el uso del tablero deslizante reduce a la mitad el tiempo que requiere la transferencia.

VIII – APLICACIONES PRÁCTICAS

VIII - APLICACIONES PRÁCTICAS

Esta investigación tiene una importancia esencial en la vida de los pacientes que sufren una LMT o SLM. La búsqueda de la técnica y dispositivo óptimos para nuestros pacientes es una constante y un punto clave en la atención sanitaria. Se intenta proteger la columna vertebral, permitiendo el rescate, estabilización, traslado y transferencia, de forma segura y con la máxima celeridad posible, por la probable amenaza vital a la que estos pacientes se encuentran expuestos.

Es en la atención extrahospitalaria, en este primer contacto, donde se debe marcar la diferencia, ante la posibilidad de reducir la aparición de lesiones secundarias o el agravamiento de lesiones. Este primer contacto sanitario va a repercutir extensamente sobre el estado del paciente; influyendo en los cuidados requeridos y las posibles secuelas, a corto, medio y largo plazo.

Las recomendaciones en la atención a este tipo de pacientes se encuentran en una constante evolución. Pueden encontrarse, en la literatura, opiniones de expertos diametralmente opuestas, sustentadas por una vasta experiencia profesional, aunque faltas, en su mayoría, de datos experimentales que nutran una u otra práctica.

Por esto, aportar datos experimentales objetivos, en este campo específico, puede ayudar a la construcción de bases sólidas que permitan la atención óptima del paciente que ha sufrido un trauma grave, promoviendo la adecuada alineación y protección de columna en aquellos pacientes que lo requieren, y desterrando aquellas prácticas tradicionalmente adoptadas, sin sustento científico suficiente.

IX - LIMITACIONES

IX -LIMITACIONES

Entre las limitaciones debe destacarse la estabilidad de la columna vertebral de los voluntarios, lo cual limita la extrapolación de los resultados. Aunque se encontró esta limitación, el dilema es importante, puesto que ninguna de las dos alternativas que habrían podido realizarse son mejores opciones. Por un lado, se conseguirían condiciones más fiables con pacientes reales, lo cual se sabe que no es una alternativa operativa, por la celeridad que requieren estos pacientes, habitualmente críticos, y lo incierto de su pronóstico. Debido a este hecho y a la falta de consideración ética que implica, no se hayan en la literatura ensayos clínicos aleatorizados que evalúen comparativamente las actuaciones disponibles para protección de la columna vertebral en pacientes con LME o SLM. Por otro lado, podrían haberse empleado modelos cadavéricos a los que aplicar los sensores. En este sentido, pueden hallarse algunos trabajos muy interesantes en la literatura, y algunos autores relatan las ventajas que presenta el modelo *ex vivo* en comparación con el uso de modelos *in vivo*^{39,55,82}. No se considera, sin embargo, que los modelos cadavéricos ofrezcan unas condiciones de mayor similitud con los pacientes reales, puesto que, a pesar de poder recrearse la inestabilidad cervical y fijarse los sensores a la columna, carecen de tono muscular. Por otra parte, señalar que los SI son considerados herramientas de alta fiabilidad, empleados con paciente simulado en diversos estudios de la literatura científica^{43-49,54,56,71,78,81,83,84}, con obtención de datos fiables. En relación a los SI, también debe subrayarse que requieren la correcta colocación y calibrado en la víctima simulada. Aunque los datos reportados son precisos y fiables, este hecho resta algo de realismo a la simulación y puede requerir tiempo y resultar farragoso.

Otra importante limitación que se identificó fue la incapacidad de comparar algunos de los resultados con otros autores, ya que no se encontraron estudios en la literatura científica, que investigaran, por ejemplo, la PP o el uso de TD. La literatura científica no es muy prolija en este campo específico. Incluso en los estudios con similitud suficiente para permitir una comparativa, destacar que en algunos se investigó otra técnica, maniobra o dispositivo, no se empleó el mismo

sistema de captura y análisis de movimiento y/o no se especificó la muestra o metodología exacta, haciendo más difícil la comparativa de los resultados.

X - LÍNEAS DE FUTURA INVESTIGACIÓN

X - LÍNEAS DE FUTURA INVESTIGACIÓN

Debido a la dificultad para comparar los resultados obtenidos de la DC mediante sistemas de captura de movimiento, sobre todo en el ámbito de la atención al paciente que sufre un traumatismo mayor en contexto de motorista accidentado, se piensa que el presente trabajo abre una línea de investigación para la búsqueda e implementación de mejoras en la atención al trauma grave, en este tipo de pacientes. De forma más general, focalizando la atención en el trauma mayor, y no solo en motoristas accidentados, se aprecia un gran camino a explorar, en aras, de prestar el mejor cuidado disponible al paciente.

En primer lugar, se considera que se debe conseguir una colaboración internacional para frenar la pandemia global que suponen los AT, con el objetivo de lograr la reducción de la LMT. Es necesaria la actuación sobre normativa, condiciones y seguridad vial para fomentar la prevención de estos accidentes. Esto reduciría el coste económico que provoca esta patología al disminuir: complicaciones, necesidad de algunos tratamientos y secuelas físicas y psicológicas, a corto, medio y largo plazo. Una repercusión extensa de estas prácticas llevaría aparejado un resultado mucho más valioso que la influencia económica, debido a que la disminución de la morbi-mortalidad y aumento de la calidad de vida que puede alcanzarse con la atención sanitaria óptima, es de un valor incalculable.

En el campo de la investigación en atención sanitaria, destacar que el análisis biomecánico y la simulación clínica tecnológicamente avanzada, con Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA), debe ser una piedra angular en el pensamiento del investigador. El análisis biomecánico es una valiosa herramienta que permite hallar datos cuantitativos y objetivos sobre la desalineación vertebral y su relación con la manipulación del paciente y los dispositivos que se emplean, bajo condiciones de absoluta seguridad para el paciente. Por tanto, en la búsqueda de una atención sanitaria de excelencia debe seguir la investigación en esta línea. Con ella, se propone que debería investigarse con todas las tallas de sujetos y situaciones especiales (obesidad, embarazadas...), por su posible influencia en la

DC. Explorar la influencia de condiciones del entorno, como sería el entorno acuático o de alta montaña, también se considera fundamental. La evaluación de las sensaciones subjetivas del paciente (voluntario sano), en relación con la seguridad percibida en la movilización y/o el dolor provocado por esta o por el dispositivo inmovilizador. Este análisis, podría aportar valiosísima información a la hora de prestar la mejor atención a nuestros pacientes.

Algunos cursos de investigación destacables, en el campo de la atención, al paciente con LMT, podrían ser:

- Rescate del paciente. Estudios de AE y extracción de sujetos tras AT, considerando diversos tipos de pacientes (talla, peso, índice de masa corporal, edad y agilidad física) y características del entorno, como vehículo de gran altura o de múltiples pasajeros. Destacar que la investigación, difusión de resultados y futuro uso de la información para aprendizaje, debería compartirse con servicios habitualmente rescatistas, como podrían ser bomberos. La formación de sanitarios y otros servicios, en conjunto y en una misma dirección, es herramienta fundamental para brindar unos cuidados óptimos y una atención coordinada. En este campo, se realizó un proyecto titulado "Extracción y Auto-Extracción: análisis biomecánico y temporal para la excelencia en la atención sanitaria extrahospitalaria al trauma mayor" (Apéndice 2.1) para solicitud de beca de ayuda a la investigación de la Fundación Española de Medicina de Urgencia y Emergencia (FEMUE), obteniéndose la concesión de la misma (Apéndice 2.2). Se propone la realización de un estudio multicéntrico y transversal, empleando SI para el análisis biomecánico del movimiento de la columna vertebral, en SLM, durante diferentes técnicas de extracción de víctimas simuladas. Los ROMs vertebrales, se medirá considerando AE y extracción reglada, en vehículo ligero (turismo) y pesado (camión); utilizando diferentes ángulos para la maniobra (ángulo 0°, rotación a 90° y ángulo 60°) y herramientas (sin instrumental, con dispositivo de extracción rápida, y con chaleco de extracción vehicular) y valorando el tiempo empleado en cada técnica de extracción.

- Rescate y transporte al vehículo asistencial. Estudios, con mayor muestra, que comparen los dispositivos disponibles para rescate y traslado al habitáculo del transporte sanitario, y las diversas maniobras de manipulación del paciente, se perfila como fundamental para la comparativa de resultados y unificación de criterios.
- Traslado. La medición del efecto del traslado en la columna vertebral se considera un campo muy interesante a investigar. Aunque se encuentra descrita en la literatura la influencia de las aceleraciones y desaceleraciones^{12,23}, estudios con una medición de la biomecánica espinal a tiempo real con diferentes aceleraciones, desaceleraciones y angulación en curvas durante un traslado terrestre se perciben como necesarios. La medición de la influencia de esas fuerzas en la columna vertebral, y por tanto en la médula, es un importante factor a tener en cuenta en la búsqueda de un medio óptimo para el traslado de estos pacientes, pudiendo ser el transporte aéreo, en helicóptero medicalizado, ventajoso respecto del transporte terrestre convencionalmente empleado, es decir, ambulancia asistencial.
- Transferencia y estabilización: establecimiento de protocolos para transferencia de pacientes con la maniobra y dispositivo más adecuados. La coordinación entre profesionales de hospitalaria y extrahospitalaria llegaría a su culmen si dispusiera de un trabajo coordinado entre ambos servicios, con, incluso, cesión de material, de tal manera que se limiten las transferencias y cambio de gadgets en la medida de lo posible. Se precisa investigación, puesto que, sin la definición del material óptimo a emplear y la formación de los profesionales, sería imposible la obtención de tal coordinación.
- AE del casco de motorista en motorista accidentado consciente. Hace algunos años, ya se abogaba por la retirada precoz del casco para una adecuada valoración del accidentado, y sobre todo, un acceso adecuado a vía aérea, pero se especificaba que, en aquellos motoristas conscientes, se recomendaba que ellos mismos se retiraran el casco integral, debido a que podían controlar el movimiento manteniendo un rango antiálgico⁶⁵. Esta recomendación fue sustituida por las

actuales; retirada de casco por dos profesionales y de forma controlada^{12,23,29,60,68,70}. Sin embargo, se considera una interesante perspectiva a estudiar, ya que, igual que algunos trabajos aportan resultados que apoyan menor movimiento vertebral con AE^{43,44,46-49}, tal vez, la retirada de casco por el propio motorista también pueda aportar menores ROMs.

Por otra parte, la simulación clínica tecnológicamente avanzada ofrece grandes posibilidades de difusión de conocimiento, comprensión de conceptos, aprendizaje y entrenamiento. Destacar las oportunidades que brinda en el aprendizaje ante la toma de decisiones clínicamente complejas, con una seguridad total para operador y paciente. En esta línea, se realizó un proyecto titulado “Entrenamiento en helitransporte sanitario mediante tecnologías inmersivas: Simulación Clínica con Realidad Virtual” (Apéndice 3.1). Este proyecto, ganador del Premio del Instituto Valenciano de Formación en Emergencias (IVAFER), Luis Mifsut de 2024 (Apéndice 3.2), propone el uso de la RV frente a la Simulación Clínica (SC) convencional para mejorar la formación en el ámbito del helitransporte sanitario. Mediante un estudio comparativo, siguiendo la metodología CONSORT, se propuso determinar los efectos de la RV en el nivel de estrés e inmersión de los participantes en comparación con la SC tradicional, así como evaluar el tiempo que requiere la toma de decisiones en ambos contextos de simulación. La evaluación del estrés se llevará a cabo utilizando biomarcadores salivares y la escala de Usabilidad del Sistema (SUS). Con este proyecto se pretende hallar que la RV brinda una experiencia más inmersiva y real, lo cual supondría mayores niveles de estrés en los participantes. Este hecho, se considera beneficioso para lograr una mejor preparación ante situaciones reales. La RV destaca como una herramienta innovadora para simular escenarios de emergencia, mejorando habilidades críticas como la toma de decisiones y el manejo del estrés bajo presión. Este enfoque se percibe como un avance cualitativo en la educación médica, ofreciendo un entorno de aprendizaje más inmersivo y práctico en comparación con los métodos tradicionales.

De acuerdo con Jazayeri et al.¹⁴, se aprecia una elevada heterogeneidad en la definición, identificación e informe de la incidencia de LMT así como de su registro, lo cual dificulta la obtención de datos fiables y su estandarización. Esta dificultad, en parte, se relaciona con el gran número de escalas y métodos disponibles. Se

percibe como elemento constitutivo para alcanzar la mejor atención sanitaria, la unificación de conceptos y el desarrollo de un sistema de valoración y recomendaciones universal. La calidad de la atención recibida y la tasa de complicaciones y secuelas es muy dispar en el territorio mundial^{14,85}. Esta circunstancia puede ejemplificarse con un estudio que analiza la atención prestada a individuos que sufren LMT en Nepal. El estudio reporta que, a menudo, experimentan un manejo inapropiado (siendo los primeros proveedores de atención no sanitarios en una tasa del 96% de los casos), múltiples transferencias hospitalarias y un tiempo prolongado para llegar al centro útil⁸⁵. Aunque se considera que la orografía del terreno y la densidad de población son variables a tener en cuenta en estas particulares situaciones, se puede y debe trabajar en aras de suplir las abismales diferencias presentadas entre países, con el objetivo de alcanzar una atención, en paciente con SLM, universal y sublime.

XI - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

XI -REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Drake RL, Vogl AW, Mitchell A. Región dorsal del tronco. En: Rodrigo E. Elizondo Omaña, editor. Gray Anatomía para estudiantes. 4ª ed. Barcelona: Elsevier; 2020. p. 49-124.
2. Drake RL, Vogl AW, Mitchell A. Neuroanatomía. En: Rodrigo E. Elizondo Omaña, editor. Gray Anatomía para estudiantes. 4ª ed. Barcelona: Elsevier; 2020. p. 1161-241.
3. Silverthorn DU. Sistema Nervioso Central. Fisiología humana: un enfoque integrado. 8ª ed. Buenos Aires: Panamericana; 2019. p. 271-306.
4. Betz R, Biering Sørensen F, Burns SP, Donovan W, Graves DE, et al. Normas Internacionales Para la Clasificación Neurológica de las Lesiones de Médula Espinal. Richmond, VA: American Spinal Injury Association; 2019.
5. Ana Esclarín De Ruz. Esclarín de Ruz A. Lesión medular: enfoque multidisciplinario. 2ªed. Madrid: Panamericana; 2020.
6. Hall JE, Hall ME. Spinal cord motor functions: the cord reflexes. En: X Gasull Casanova, coordinador. Guyton y Hall Tratado de fisiología médica. 14ª ed. Barcelona: Elsevier; 2021. p. 685-95.
7. Cuenca Galán CI, Tante García M, Gallar Pérez C, Igualada De Llama E, Marcos López J, Pozo Lobato S, et al. Lesión Medular: Abordaje Interdisciplinar. 1ª ed. [Internet]: Federación Nacional ASPAYM; 2023.
8. Galeiras Vázquez R, Ferreiro Velasco M E, Mourelo Fariña M, Montoto Marqués A, Salvador de la Barrera S. Actualización en lesión medular aguda postraumática. Parte 1. Med Intensiva. 2017; 41(4): 237-47.
9. Organización Mundial de la Salud. Lesiones medulares [Internet]. World Health Organization; 19-11-2013 [07-02-2024].
10. Hu Y, Li L, Hong B, Xie Y, Li T, Feng C, et al. Epidemiological features of traumatic spinal cord injury in China: A systematic review and meta-analysis. Front. Neurol. 2023; 14: 1131791.
11. Strøm V, Månnum G, Arora M, Joseph C, Kyriakides A, Osterthun R, et al. Physical health conditions in persons with spinal cord injury across 21

- countries worldwide. *J Rehabil Med.* 2022; 54: jrm00302.
12. Ludwig SC, Thomson AE, Ye I. Trauma espinal. En: Comité de Trauma, coordinador. PHTLS: soporte vital prehospitalario para traumatismos. 10ª ed. Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning; 2023. p.303-50.
 13. Ding W, Hu S, Wang P, Kang H, Peng R, Dong Y, Li F. Spinal cord injury: The global incidence, prevalence, and disability from the global burden of disease study 2019. *Spine.* 2022; 47(21): 1532-40.
 14. Jazayeri SB, Maroufi SF, Mohammadi E, Dabbagh Ohadi MA, Hagen EM, Chalangari M, et al. Incidence of traumatic spinal cord injury worldwide: A systematic review, data integration, and update. *World Neurosurg.* 2023; 18: 100171.
 15. Yadollahi M, Karajizadeh M, Bordbar N, Ghahramani Z. Incidence and pattern of traumatic spine injury in a single level I trauma center of southern Iran. *Chin J Traumatol.* 2023; 26 (4): 1-5.
 16. Golestani A, Shobeiri P, Sadeghi-Naini M, Jazayeri SB, Maroufi SF, Ghodsi Z et al. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in developing countries from 2009 to 2020: a systematic review and meta-analysis. *Neuroepidemiology.* 2022; 56(4): 219-39.
 17. Organización Mundial de la Salud. Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2023. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2023.
 18. Organización Mundial de la Salud, Comisiones Regionales de las Naciones Unidas. Plan Mundial para la Década de Acción para la Seguridad Vial 2021-2030. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; [13-01-2024].
 19. American College of Surgeons. Trauma de la Columna Vertebral y Médula Espinal. En: American College of Surgeons, editor. ATLS Soporte Vital Avanzado al Trauma. 10ª ed. Chicago: American College of Surgeons; 2018. p. 130-46.
 20. Allen B, McDermott R, Clark J, Daubs G, Vashon T, Elliott I, et al. Traumatic spinal injury patterns of on vs. off-road motorcycle crashes. *Traffic injury prevention.* 2024; 25(1): 85-90.
 21. Thorogood NP, Noonan VK, Chen X, Fallah N, Humphreys S, Dea N, et al. Incidence and prevalence of traumatic spinal cord injury in Canada using health administrative data. *Front Neurol.* 2023; 14: 1201025.

22. Guzmán Ludeña JJ. Las enfermedades neurológicas superan a los accidentes como principal causa de ingreso en el Hospital Nacional de Parapléjicos. (Balance asistencial documento inédito). 2022. Hospital Nacional de Parapléjicos (Toledo).
23. Augustine JJ. Signal Trauma and Patient-Centered Spinal Motion Restriction. En: Pearson Education Limited. International Trauma Life Support. 8ª ed. Inglaterra; Pearson; 2018. p. 224-50.
24. American College of Surgeon Comitee on Trauma. BEST PRACTICE GUIDELINES SPINE INJURY. Chicago: ACRM; 2022.
25. Hoffman JR, Mower WR, Wolfson AB, Todd KH, Zucker MI. Validity of a set of clinical criteria to rule out injury to the cervical spine in patients with blunt trauma. *N Engl J Med.* 2000; 343 (2): 94-9.
26. Stiell IG, Wells GA, Vandemheen KL, Clement CM, Lesiuk H, De Maio VJ, et al. The Canadian C-spine rule for radiography in alert and stable trauma patients. *JAMA.* 2001; 286(15): 1841-8.
27. Michaleff AZ, Maher CG, Verhagen AP, Rebeck T, Christine Lin CW. Accuracy of the Canadian C-spine rule and NEXUS to screen for clinically important cervical spine injury in patients following blunt trauma: a systematic review. *CMAJ.* 2012; 184 (16): e867-76.
28. Vaccaro AR, Lambrechts MJ, Karamian BA, Canseco JA, Oner C, Benneker LM et al. Global validation of the AO spine upper cervical injury classification. *Spine.* 2023; 47(22): 1541-48.
29. National Institute for Health and Care Excellence (NICE). Spinal injury: assessment and initial management [Internet]. London: NICE; 2016 [13-02-2024]. Disponible en: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng41>.
30. Seitz SR, Copeland DL. Spine Manaegment Skills. En: Pearson Education Limited. International Trauma Life Support. 8ª ed. Inglaterra; Pearson; 2018. p. 251-70.
31. Kreinest, M, Gliwitzky B, Goller S, Münzberg M. Präklinische Immobilisation der Wirbelsäule. *Notfall+ Rettungsmedizin.* 2016; 19(1); 41-7.
32. Brannigan JF, Dohle E, Critchley GR, Trivedi R, Laing RJ, Davies BM. Adverse events relating to prolonged hard collar immobilisation: a systematic review and meta-analysis. *Global Spine J.* 2022; 12 (8): 1968-78.

33. Geldenhuys MJ, Downing C. Evidence-based nursing care for Spinal nursing Immobilization: a systematic review. *J Emerg Nurs.* 2020; 46(3): 318-37.
34. Núñez Patiño RA, Rubiano AM, Agustín Godoy D. Impact of Cervical Collars on Intracranial Pressure Values in Traumatic Brain Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Studies. *Neurocrit Care.* 2019; 32: 469–77.
35. Ladny M, Nucera G, Pruc M, Szarpak L, Chirico F. Should we use cervical collars for neck stabilization in trauma patients? Evidence from a systematic review with meta-analysis. *J Health Soc Sci.* 2022; 7 (1): 80-8.
36. Bazaie N, Alghamdi I, Alqurashi N, Ahmed Z. The Impact of a Cervical Collar on Intracranial Pressure in Traumatic Brain Injury Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Trauma Care.* 2021; 2: 1-10.
37. Breeding T, Nasef H, Amin Q, Wright DD, Zito T, Elkbuli A. Practices of Adult Spine Immobilization During Trauma Resuscitation: Proposal for Improved Guidelines. *The American Surgeon.* 2024; 0 (0): 1-10.
38. McDonald N, Kriellaars D, Pryce RT. Patterns of change in prehospital spinal motion restriction: a retrospective database review. *Acad Emerg Med.* 2023; 30 (7): 698-708.
39. Conrad BP, Del Rossi G, Horodyski MB, Prasarn ML, Alemi Y, Rehtine GR. Eliminating log rolling as a spine trauma order. *Surg Neurol Int.* 2012; 3 Suppl 3: S188-97.
40. Cowley A, Nelson M, Hall C, Goodwin S, Kumar DS, Moore F. Recommendation for changes to the guidelines of trauma patients with potential spinal injury within a regional UK ambulance trust. *BPJ.* 2022; 7(3): 59-67.
41. Nutbeam T, Fenwick R, Smith JE, Dayson M, Carlin B, Wilson M, Wallis L, Stassen W. A Delphi study of rescue and clinical subject matter experts on the extrication of patients following a motor vehicle collision. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2022; 30 (41): 1-11.
42. Hawkins SC, Williams J, Bennett BL, Islas A, Quinn R. Wilderness Medical Society Clinical Practice Guidelines for Spinal Cord Protection: 2024 Update. *Wilderness Environm Med.* 2024. 35 Suppl 1: S78-93.
43. Dixon M, O'Halloran J, Cummins NM. Biomechanical analysis of spinal

- immobilisation during prehospital extrication: a proof of concept study. *Emerg Med J*. 2014; 31; 745-49.
44. Dixon M, O'Halloran J, Hannigan A, Keenan S, Cummins NM. Confirmation of suboptimal protocols in spinal immobilisation?. *Emerg Med J*. 2015; 32: 939-45.
 45. Engsberg JR, Standeven JW, Shurtleff TL, Eggars J, Shafer JS, Naunheim RS. Cervical Spine Motion During Extrication. *J Emerg Med*. 2013;44: 122-7.
 46. Häske D, Schier L, Weerts JO, Groß B, Rittmann A, Grützner PA, et al. An explorative, biomechanical analysis of spine motion during out-of-hospital extrication procedures. *Injury*. 2020; 51 (2): 185-92.
 47. Nutbeam T, Fenwick R, May B, Stassen W, Smith JE, Bowdler J, Wallis L, Shippen J. Assessing spinal movement during four extrication methods: a biomechanical study using healthy volunteers. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2022; 30 (7): 1-7.
 48. Nutbeam T, Fenwick R, May B, Stassen W, Smith J, Shippen J. Maximum movement and cumulative movement (travel) to inform our understanding of secondary spinal cord injury and its application to collar use in self-extrication. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2022; 30 (4): 1-5.
 49. Hontoria Hernández MI, Gordillo Martín R, Serrano Martínez FJ, Alonso Ibáñez L, Carazo Díaz C, Prieto Merino D, et al. Comparación biomecánica de la autoextracción con y sin collarín cervical: estudio de simulación. *Emergencias*. 2019; 31: 36-8.
 50. Grenier G, Despatis MA, Lebel K, Hamel M, Martin C, Boissy P. Removal of the cervical collar from alpine rescue protocols? A biomechanical non-inferiority trial in real-life mountain conditions. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2022; 30 (41): 1-11.
 51. Nolte PC, Uzun DD, Häske D, Weerts J, Münzberg M, Rittmann A, et al. Analysis of cervical spine immobilization during patient transport in emergency medical services. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2021; 47: 719-26.
 52. Eyal Y, Tsur N, Gendler S, Almog O, Beer CZ. Spinal Backboard—Necessity or Hazard? The IDF Clinical Practice Guidelines and Policy. *Military medicine*. 2023; 188 (7-8): e1781-87.

53. Ladny M, Gawel W. Neck stabilization in trauma patient: an emergency medicine perspective. *Disaster Emerg Med J.* 2022; 7 (1): 52-7.
54. Liengswangwong W, Lertviboonluk N, Yuksen Ch, Laksanamapune T, Limroongreungrat W, Mongkolpichayaruk A, et al. Comparing the Efficacy of Long Spinal Board, Sked Stretcher, and Vacuum Mattress in Cervical Spine Immobilization; a Method-Oriented Experimental Study. *Arch Acad Emerg Med.* 2023; 11 (1): e44.
55. Del Rossi G, Rechtime GR, Conrad BP, Horodyski MB. Are scoop stretchers suitable for use on spine-injured patients?. *Am J Emerg Med.* 2010; 28(7): 751-56.
56. Lebel K, Chenel V, Boulay J, Boissy P. Quantitative Approach Based on Wearable Inertial Sensors to Assess and Identify Motion and Errors in Techniques Used during Training of Transfers of Simulated c-Spine-Injured Patients. *J Healthc Eng.* 2018; 2018: 5190693.
57. Organización Mundial de la Salud. Seguridad de los vehículos de motor de dos y tres ruedas: Manual de seguridad vial para decisores y profesionales. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2017.
58. Dirección General de Tráfico (DGT). Las principales cifras de la siniestralidad vial España 2022. España: ACCENTURE; 2023. Nipo: 128-23-016-6.
59. Lucci C, Piantini S, Savino G, Pierini M. Motorcycle helmet selection and usage for improved safety: A systematic review on the protective effects of helmet type and fastening. *Traffic Inj Prev.* 2021; 22 (4): 301-6.
60. Flowers S, Schott S, Flanigan N, Palepu S, Osier N. Clinician guide to motorcycle helmet safety. *International journal of injury control and safety promotion.* *Int J Inj Control.* 2021; 28(3): 392-9.
61. Chaichan S, Asawalertsang T, Veerapongtongchai P, Chattakul P, Khamsai S, Pongkulkiat P, et al. Are full-face helmets the most effective in preventing head and neck injury in motorcycle accidents? A meta-analysis. *Prev Med Rep.* 2020; 19: 101118.
62. Tabary M, Ahmadi S, Amirzade Iranaq MH, Shojaei M, Asl MS, Ghodsi Z, et al. The effectiveness of different types of motorcycle helmets—A scoping review. *Accident Anal Prev.* 2021; 154: 106065.
63. Seo S, Yeom SR, Park SW, Wang IJ, Cho SJ, Yang WT, et al. Effect of use

- and type of helmet on occurrence of traumatic brain injuries in motorcycle riders in Korea: a retrospective cohort study. *J Trauma Inj.* 2023; 36 (2): 87-97.
64. Novelli G, Moretti M, De Ponti E, Bozzetti A, Sozzi D, Canzi G. Analysis of different safety devices in the prevention of motorcycle-related craniofacial trauma-a retrospective study. *Ann Maxillofac Sur.* 2022; 11(2): 293-97.
65. Hinds JD, Allen G, Morris CG. Trauma and motorcyclists: born to be wild, bound to be injured?. *Injury.* 2007; 38:1131-8.
66. Mohammadi E, Azadnajafabad S, Keykhaei M, Shakiba A, Meimand SE, Shabanan SH, et al. Barriers and factors associated with the use of helmets by Motorcyclists: A scoping review. *Accid Anal Prev.* 2022; 171: 106667.
67. Araujo M, Illanes E, Chapman E, Rodrigues E. Effectiveness of interventions to prevent motorcycle injuries: systematic review of the literature. *International journal of injury control and safety promotion.* 2017; 24 (3): 406-22.
68. Acuña Gutiérrez F, Saborido Piñero JC. Manual de movilización e inmovilización en el paciente con trauma grave. 1ª ed. Sevilla: Punto Rojo Libros; 2021.
69. Subdirección General SAMUR. Manual de Procedimientos SAMUR-Protección Civil. 7ªed. Madrid; SAMUR; 2024.
70. Menchaca Anduaga MA, Huerta Arroyo Á, Cerdeira Varela JC, Martínez Tenorio P, Abad Esteban F, Abejón Martín R. Manual y Procedimientos de Enfermería Summa 112. Madrid: Consejería de Sanidad; 2015.
71. Gordillo Martín R, Hontoria Hernández MI, Juguera Rodríguez L, Díaz Hernández JA, Serrano Martínez FJ, Alonso Ibáñez L, Pardos Rios M. Análisis biomecánico del movimiento cervical en la extracción del casco en motoristas: estudio de simulación. *Emergencias.* 2017; 29: 249-52.
72. Alvarado Martínez H, Retamal Pérez L. Dificultades de comprensión del teorema central del límite en estudiantes universitarios. *Educación matemática.* 2012: 24(3); 151-71.
73. Bárány I, Vu V. Central limit theorems for Gaussian polytopes. *Ann. Probab.* 2007: 35 (4); 1593-621.
74. Ashburn NP, Hendley NW, Angi RM, Starnes AB, Nelson RD, McGinnis

- HD et al. Prehospital trauma scene and transport times for pediatric and adult patients. *West J Emerg Med.* 2020; 21(2): 455-462.
75. Van DB, Song KJ, Shin SD, Ro YS, Jeong J, Bao HL, et al. Association between Scene Time Interval and Survival in EMS-Treated Major Trauma Admitted to the Intensive Care Unit: A Multinational, Multicenter Observational Study. *Prehosp Emerg Care.* 2022; 26(4): 600-7.
76. Gauss T, Ageron FX, Devaud ML, Debaty G, Travers S, Garrigue D, et al. Association of Prehospital Time to In-Hospital Trauma Mortality in a Physician-Staffed Emergency Medicine System. *JAMA.* 2019; 154:1117-24.
77. Dixon M, O'Halloran J, Hannigan A, Keenan S, Cummins NM. Confirmation of suboptimal protocols in spinal immobilisation?. *Emerg Med J.* 2015; 32: 939-45.
78. Gordillo Martín R, Alcaraz Ramón PE, Manzano Capel F, Freitas TT, Marín Cascales E, Juguera Rodríguez L, Pardo Ríos M. Análisis cinemático de la columna vertebral durante la colocación de dos dispositivos de transferencia: tablero espinal frente a camilla de cuchara. *Emergencias.* 2017; 29: 43-5.
79. Roessler MS, Riffelmann M, Kunze-Szikszay N, Lier M, Schmid O, Haus H, et al. Vacuum mattress or long spine board: which method of spinal stabilisation in trauma patients is more time consuming? A simulation study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2021; 29(46): 1-9.
80. Stuby L, Thurre D. Time performance of scoop stretcher versus vacuum mattress for prehospital spinal stabilization: open-label simulation-based randomized controlled trial. *Emerg Care J;* 20(1): 12226.
81. Gordillo-Martin R, Alcaráz EP, Rodriguez Juguera L, Nieto Fernandez Pacheco A, Marín Cascales E, Freitas TT, et al. Effect of training in advanced trauma life support on the kinematics of the spine: A simulation study. *Medicine.* 2017; 96 (48): e7587.
82. Hyldmo PK, Horodyski MB, Conrad BP, Dubose DN, Røislien J, Prasarn M et al. Safety of the lateral trauma position in cervical spine injuries: a cadaver model study. *Acta Anaesth Scand.* 2016; 60(7): 1003-11.
83. Williams JH, Rizzuto SF, Dillard BA, Whitaker EJ. Complementary Use of Wearable Technology 4: Assessing Gait Asymmetry and Shock Attenuation Using Multiple IMU Devices. *Merging Wearable*

- Technology. 2022; 169 (1): 1-7.
84. Hani H, Souchereau R, Kachlan A, Dufour J, Aurand A, Mageswaran P, et al. Reliability of a Wearable Motion Tracking System for the Clinical Evaluation of a Dynamic Cervical Spine Function. *Sensors*. 2023; 23 (3): 1448-63.
85. Shrestha,S, Shrestha K, Groves CC. Patient handling and transportation from site of injury to tertiary trauma centres in Nepal following acute traumatic spinal cord injury: a descriptive study. *Spinal cord series and cases*. 2022; 8(79); 1-3.

XII – ANEXOS

XII - ANEXOS

ANEXO 1. DOCUMENTO DE APROBACIÓN DE LOS ESTUDIOS POR EL COMITÉ DE ÉTICA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN ANTONIO DE MURCIA



COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM

DATOS DEL PROYECTO

Título:	"Análisis biomecánico de la desalineación cervical producida en la extracción de pacientes con riesgo de lesión medular"	
Investigador Principal	Nombre	Correo-e
Dr.	Manuel Pardo Ríos	mpardo@ucam.edu

INFORME DEL COMITÉ

Fecha	07/06/2019	Código	CE061906
--------------	------------	---------------	----------

Tipo de Experimentación

Investigación experimental clínica con seres humanos	
Utilización de tejidos humanos procedentes de pacientes, tejidos embrionarios o fetales	
Utilización de tejidos humanos, tejidos embrionarios o fetales procedentes de bancos de muestras o tejidos	
Investigación observacional con seres humanos, psicológica o comportamental en humanos	X
Uso de datos personales, información genética, etc.	X
Experimentación animal	
Utilización de agentes biológicos de riesgo para la salud humana, animal o las plantas	
Uso de organismos modificados genéticamente (OMGs)	

Comentarios Respecto al Tipo de Experimentación

Nada Obsta

Comentarios Respecto a la Metodología de Experimentación

Nada Obsta





COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM

Sugerencias al Investigador

A la vista de la solicitud de informe adjunto por el Investigador y de las recomendaciones anteriormente expuestas el dictamen del Comité es:

Emitir Informe Favorable	X
Emitir Informe Desfavorable	
Emitir Informe Favorable condicionado a Subsanación	

MOTIVACIÓN
Incrementará conocimientos en su área

Vº Bº El Presidente,

El Secretario,



Fdo.: José Alberto Cánovas Sánchez

Fdo.: José Alarcón Teruel

ANEXO 2. ARTÍCULOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS

Anexo 2.1 Estudio I. Cervical misalignment in motorcyclists in relation to new helmet removal recommendations shown with augmented reality resources: a biomechanical analysis

Heliyon 10 (2024) e27428



Research article

Cervical misalignment in motorcyclists in relation to new helmet removal recommendations shown with augmented reality resources: A biomechanical analysis

Ana Nicolás Carrillo^{a,b}, Javier Ruiz Casquet^{a,c}, Juan José Hernández Morante^a, Francisco Gallego España^d, MaryBeth Horodyski^e, Catalina Baez^e, Manuel Pardo Ríos^{a,c,*}^a New Technologies for Health Research Group, UCAM Universidad Católica de Murcia, Spain^b Servicio Aragonés de Salud, Spain^c Gerencia de Urgencias y Emergencias 061 de la Región de Murcia, Spain^d Centro de Emergencias Sanitarias 061 Andalucía, Málaga, Spain^e Department of Orthopaedic Surgery and Sports Medicine, University of Florida, Gainesville, FL, United States

ARTICLE INFO

Keywords:

Cervical misalignment
Suspected spinal cord injury
Motorcyclist
Helmet

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to determine the best technique and position for helmet removal in injured motorcyclists by comparing cervical misalignment produced in the supine position and prone position.**Method:** Comparative cross-sectional clinical simulation study to quantify CM using biomechanical analysis with the use of inertial systems. The main variable was determined for the flexion-extension motion. The extraction was tested for both positions (prone position and supine position), which were repeated 3 times for each of the 30 volunteers included, and the movement from the initial neutral position was also determined, resulting in a total of 270 biomechanical studies.**Results:** A flexion was observed when moving the patient from the neutral position to the SP, due to the size of the helmet, of $1.29^\circ \pm 5.12^\circ$. Helmet removal in the supine position resulted in an average flexion-extension range of $17.51^\circ \pm 6.49^\circ$, while the same extraction in prone position recorded an average range of $10.82^\circ \pm 8.05^\circ$. For the main variable, statistically significant differences were found when comparing prone position and supine position ($p = 0.0087$).**Conclusions:** The main conclusion of the study is that the helmet removal should be done in the position in which we find the patient, whether in prone position or supine position. Additionally, the new technique described for the prone position causes less movement of the cervical spine than the usual supine position.

1. Introduction

The World Health Organization (WHO) estimates that 1.3 million individuals die annually from vehicle collisions, with almost half of the deaths composed by vulnerable users (pedestrians, cyclists, and motorcyclists) [1]. According to the 2022 report from the

* Corresponding author. New Technologies for Health Research Group, UCAM Universidad Católica de Murcia, Spain.
E-mail address: mpardo@ucam.edu (M. Pardo Ríos).

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27428>

Received 13 November 2023; Received in revised form 27 February 2024; Accepted 28 February 2024

Available online 8 March 2024

2405-8440/© 2024 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

General Directorate of Traffic in Spain (DGT), 1145 people died in Spain on that year, with 12% being motorcyclists [2]. Spinal cord injuries (SCI) are catastrophic, independently of their etiology. Trauma-based SCI have a high morbidity and mortality [3] and are a worldwide problem, although the etiology is not the same in every country [4,5]. Traffic accidents are reported to be the main cause of SCI [5], with many of them being preventable [1,6]. In Spain, according to the data from the National Hospital of Paraplegics, as of 2023 there has been an 8% increase observed in SCI compared to 2021, which confirms the increasing trend in the last few years. Of the total, 18% correspond to a traumatic cause such as traffic accident [7].

The out-of-hospital approach to a person injured in a traffic accident, considering an initial suspicion of SCI, is adequate for optimizing care, in order to reduce the morbidity and mortality associated with the situation [5,6,8], Helmets are the most efficient protection for decreasing the morbi-mortality of motorcyclists [9–12]. They protect motorcycle users from cranial, cerebral, jaw and facial injuries; and this is a key aspect, as head injuries are classified as being the most common [9]. However, although they reduce cervical injuries [9], they also offer little protection to the neck [10,13], so that a possible lesion needs to be discarded.

The alarming figures presented suggest the need for good knowledge for the optimum health care of injured motorcyclists. It must be considered that the kinematics of the collision, and the safety elements, are determining factors in the related injuries [10,13,14].

Addressing an injured motorcyclist implies a series of steps and techniques which could aggravate the initial injury. One of the first steps is to remove the full-face helmet of the rider, which is defined as a fundamental act for an optimal initial assessment of the patient, an adequate access to the lungs, the assessment of lesions, and the placement of immobilization devices [10,13–16]. Almost all of the helmet-removal procedures previously described are centered on the technique with the patient in the supine position (SP), and it requires two rescuers to perform the technique: one rescuer who takes control of the head with the bimanual cervical stabilization, and a second rescuer who removes the helmet [14–16]. Thus, in the practice of care, when the hurt motorist is found in the prone position (PP), they are usually turned over, to afterward remove the helmet [14–16]. The most common helmet removal techniques are the Saw Technique (ST), widely described in the literature [10] and the Continuous Traction Technique (CIT), which implies the traction and widening of the angle in a posterior manner to overcome the tip of the nose [13–17].

Some studies seem to point out that the large volume of the motorcycle helmet on the floor results in the victim being in a cervical flexion position [10,13]. The hypothesis of this study is that the SP provokes a lever effect against a flat plane such as the floor, leading to a greater misalignment of the spine. Therefore, it is perhaps better to remove the helmet in the position in which we find the motorist, to afterward continue with the alignment as needed. The main objective of the present study is to analyze the cervical misalignment (CM) produced during the removal of a helmet of a motorcyclist after an accident, to compare the supine position (SP) with the prone position (PP). The secondary objective is to assess if the SP produces some degree of alteration as compared with the

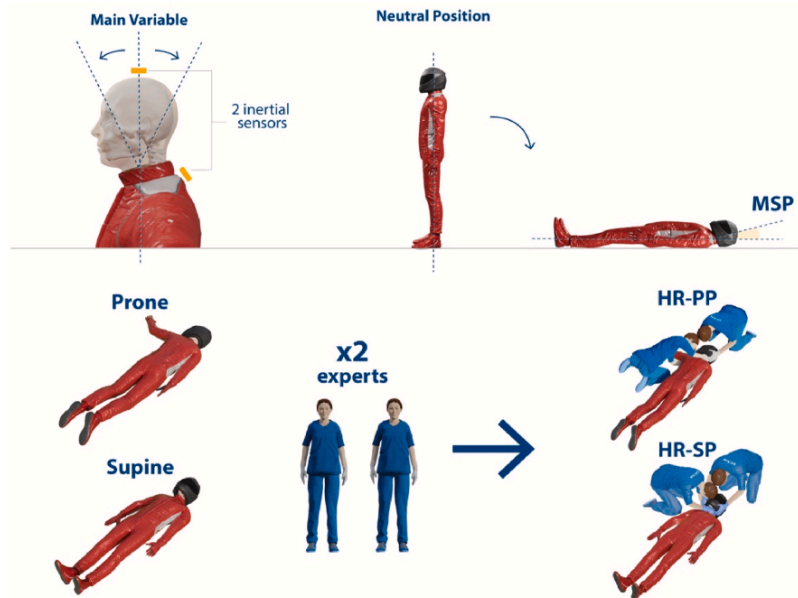


Fig. 1. Flow diagram of the study procedures and variables.

MSP: misalignment supine position; HR-PP: helmet removal prone position; HR-SP: helmet removal supine position.

A. Nicolás Carrillo et al.

Heliyon 10 (2024) e27428

neutral position (NP) of the patient.

2. Material and method

A comparative cross-sectional study with a clinical simulation was conducted. The movement of the cervical spine was analyzed during the removal of a motorcycle helmet, via a biomechanical analysis through the use of inertial sensors (IS) (Fig. 1). This work was approved by the Ethics Committee from the Catholic University of San Antonio (UCAM), with registration number 6.118. All the participants signed an informed consent form, and the Declaration of Helsinki guidelines were followed.

2.1. Sample selection

An open call was made, which obtained a sample of 30 participants, considered sufficient for performing the study, according to the Central Limit Theorem [18,19].

For the selection of the volunteers, the following inclusion criteria were applied:

- Being older than 18 years old.
- Signing the informed consent form.
- Completing the basic personal data form.

The exclusion criteria applied were the following:

- Having a physical injury making experimental steps impossible.
- Lack of attitudes or aptitudes to follow the indications given.
- Appearance of discomfort or pain during the study.

Each volunteer assumed the role of an unconscious victim wearing a helmet. The volunteers completed the personal data sheet: sex, age, weight (Kg), and height (cm). Each participant was subjected to a measurement of the head circumference (cm); the adequate helmet size was calculated, and they were offered an adequate size model. Following the recommendations from the manufacturer, the available sizes were S (for perimeters from 55 to 56 cm), M (perimeters from 57 to 58 cm), L (perimeters from 59 to 60 cm), and XL (for perimeters from 61 to 62 cm).

2.2. Helmet removal techniques

The helmet removal was performed by two P.H.T.L.S. (*Prehospital Trauma Life Support*) instructors, with one performing the manual cervical control, while the other removed the helmet from the simulated victim, utilizing the CTT in all cases. The team



Fig. 2. Diagram of helmet removal in two positions (supine and prone) and QR codes with a digital reconstruction in augmented reality of both.

professionals were highly trained in out-of-hospital care (with more than 5 years of out-of-hospital work and in severe trauma training units), so that we could assume that they were highly skilled in these techniques.

Each of the participants was subjected to each intervention three times: a) helmet removal (HR) in the SP (HR-SP); b) helmet removal in the PP (HR-PP); and c) cervical misalignment in SP (MSP). For the calculation of MSP, the range of motion was determined as the change from the NP of the patient in a standing posture while wearing the motorcycle helmet to the support of the posterior part of the body in a standing position against a rigid plane (wall). The NP was determined in the standing position with the body and extremities relaxed, and the head looking straight. Also, a and c were added (HR-SP + MSP) to calculate the total misalignment a motorcyclist is subjected to when removing the helmet in this position, which was named SP Sum. The technique utilized, according to the position, as well as the measurements, are shown graphically with a 3D reconstruction of the process in Fig. 2.

2.3. 3D digital reconstruction

The 3D digital reconstruction of the helmet removal in SP and PP were designed with the program *Blender*, and exported in GLB format (Fig. 2). The anatomical models shown used the normal body proportions, through the use of basic objects that were modified by the 3D designers from the *VR Lab* at the UCAM. The files were uploaded to the *Sketchfab* platform to be able to interact with them. Also, high-resolution screenshots renders were obtained. The instructions can also be used as augmented reality through the QR link (Fig. 2). This can be done by scanning the QR with a smartphone or tablet device > go to the QR link > authorize permissions of use > click on "Tap here to place in your space > follow the instruction). Once the object is positioned, it can be turned, its size can be changed, it can be moved around and a picture can be taken with a screenshot.

2.4. Biomechanical analysis

The analysis of the movement was performed through the use of an IS system STT-IWS (STT Systems). The data, was collected by wireless sensors (WiFi) at a frequency between 25 and 400 Hz, offers the information on screen and ready to export and analyze. These IS are composed by an accelerometer, a gyroscope, and a magnetometer, wrapped with a rigid case (56 mm × 38 mm × 18 mm), weighing a total of 46 g. Among their characteristics, we find a transmission frequency of 8 kHz/10-bit and a static Pitch precision of <0.5°, static Roll <2°, and static Heading <2°. The IS determines the angular orientation, with values obtained for the three spatial coordinates (X, Y, and Z).

The data on the degree of cervical misalignment are automatically generated during the acquisition of the movements in real time. The communication of the sensors is wireless, through the use of a local network (such as Wi-Fi). The biomechanical model of movement analysis of the cervical spine was chosen. Two IS were placed on the simulated victim who played the role of an unconscious accident victim: a cervical one (upper part of the head) and one on the back (between the C6 and C7 cervical vertebrae). For the analysis of movement of the cervical flexion-extension, the mean degree of movement was measured in degrees. The rotation and lateral movements were excluded from the results, as these ranges of movement are very small, and without significant differences or relations with other variables.

2.5. Statistical analysis

The data were exported to the Microsoft Excel®, and were examined with the IBM SPSS Statistics® version 24 program. Given that a new method is proposed, with respect to an already-established one for the removal of helmets, a quality-reliability measurement was performed with the Bland-Altman method. The data are presented as frequency, range, mean, standard deviation (SD), and confidence interval (CI) at 95%. The main variable was the comparison of the range of movement of the cervical spine during flexion-extension between HR-SP and HR-PP. The secondary variables were: age, sex, height, weight, head perimeter, helmet size, rotation to the right, rotation to the left, right lateral movement, and left lateral movement. A repeated measures ANOVA was used to compare the results, and a $p < 0.05$ was used to determine statistical differences.

3. Results

The descriptive variables considered were: sex, age, body mass index, and helmet size. The distribution of volunteers, with respect

Table 1
Results of the flexion-extension movement of the cervical spine for each of the helmet removal positions studied.

Technique	N	Mean	Standard deviation	Comparison	Significance
CMS	30	1.29°	±5.01°	–	–
HR-SP	30	17.51°	±6.49°	HR-SP vs HR-PP	0.0003*
HR-PP	30	10.82°	±8.05°	HR-PP vs PS Sum	0.0087*
PS Sum	30	18.72°	±10.23°		

*p values denoting statistical significance ($p < 0.05$); **MSP** (cervical misalignment in the supine position); **HR-SP** (helmet removal in the supine position); **HR-PP** (helmet removal in the prone position); **PS Sum** (sum of the helmet removal in the supine position and cervical misalignment in the supine position).

to sex, were: 43% women and 57% men. The mean age was 29 ± 9 years old, and the volunteers were classified into 5 age groups: younger than 20 years old (y.o.) (3.3%), 21–29 y.o. (80%), 30–39 y.o. (3.3%), 40–49 y.o. (3.3%), and 50–59 y.o. (10%). The distribution of the groups, with respect to body mass index, with a mean of 24.74 (normal) ± 5.48 , was: 3.3% underweight, 63.3% normal, 20% overweight, and 13.3% obese. As for the type of helmet, a mode of the M size was observed (30% S, 37% M, 33% L), verified to be adequate after the measurement of the head diameters, which obtained a mean of 57.13 ± 2.39 cm.

Initially, a quality-reliability measurement was performed of the helmet extractions through the Bland-Altman method, with adequate results obtained (Supplementary Material 1 and 2), which support the reproducibility of the techniques analyzed. The results from the simulation experiment are shown in Table 1. The main variable of the study is shown in Fig. 3, which compares the ranges of cervical flexion, with it being smaller for HR-PP, with a value of $10.82^\circ \pm 8.05^\circ$, as compared with HR-SP, with a value of $17.51^\circ \pm 6.49^\circ$ ($p = 0.0003$). This implies that the removal of the helmet in the SP increases the flexion-extension by 66% as compared to the PP.

With respect to the patient who was turned over from the supine position to the prone position, we used a combination of the flexion produced by the helmet, $1.29^\circ \pm 5.01^\circ$, and that already described by the HR-SP. Their sum, defined as SP Sum, was found to be $18.72^\circ \pm 10.23^\circ$. Based on its comparison with the HR-PP, a greater cervical movement was observed ($p = 0.0087$). This implies an increase in the flexion-extension movement of 73% as compared to helmet removal in the PP.

4. Discussion

From the time an accident occurs and the SCI victim receives out-of-hospital care, until stabilization and admission to the hospital, successive transfers increase the risk of causing or aggravating the spinal cord injury [20]. In the study by Nicola et al., an adaptation to the transfer of SCI patients sequence created by Conrad et al. [17], is proposed, which includes the removal of equipment (helmet from the injured motorcyclist) as part of the cycle; in our case, this is considered a critical point.

Most of the manuals and protocols indicate performing a HR-SP [10,13–16]. The results obtained in our study show that all helmet removal techniques tested provoke a certain degree of movement, especially flexion-extension. It is not possible to determine, on an SCI patient, the exact point or degree of movement in which a greater injury or secondary injury is produced. Following the principle of *primum non nocere*, and having determined that all the positions will cause harm or movement, we must select the least harmful. In our case, this was the PP. With respect to HR-SP, a range of movement almost four times less was observed, as compared to the range found in another study from the literature, in which the removal of the helmet of the injured motorcyclist was measured with inertial sensors in the supine position [21]. A possible explanation for this difference was the use of the ST in their study, as compared to our use of the CIT. The results from a previous study conducted by the same authors, for comparing the ST and the CIT, indicated a greater range of movement in the SP with both techniques [17]. A possible explanation, also applicable to the study by Gordillo et al. [21], could be large sample of interventions in the present study, or the performance of the technique by two PHTLS experts.

In the data obtained in our study, the results were better for HR-PP as compared to HR-SP, which increased the cervical movement by about 66%. Perhaps this could be due to the lever effect of the posterior part of the helmet with the floor; when rotating the helmet to avoid touching the nose, the helmet pushes against the back of the head, bending the neck. This does not occur in the PP, given that in this position, the helmet does not act as a lever against the floor, as the helmet is rotated in an axis of movement parallel to the floor, and not perpendicular to it. It must be highlighted that turning the patient over from a SP position to a PP position is not recommended, as the maneuver creates more movement than the difference between both positions. To our knowledge, there are no scientific publications that have addressed the possibility of removing a helmet in the PP, therefore, there are no available studies that could be used which to compare our results.

The step from a NP to a SP provokes a slight cervical flexion due to the large volume of the posterior part of the helmet. These data

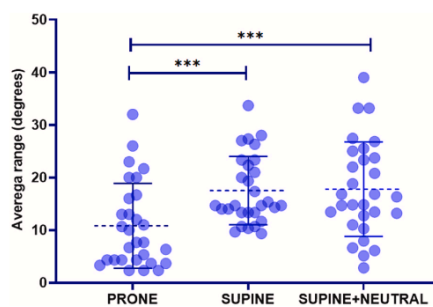


Fig. 3. Comparison of average range of cervical movement during helmet removal in a simulated injured motorcyclist in each of the positions studied.

Prone (helmet removal in the prone position); **Supine** (helmet removal in the supine position); **Supine + Neutral** (PS Sum; sum of the helmet removal in the supine position and cervical misalignment in the supine position).

are in agreement with previously-published articles with respect to this movement [10,13]. Given that the misalignment observed by the sum of HR-SP and the forced flexion from the NP to the SP increases the cervical flexion-extension by 73% with respect to HR-PP, the data obtained support the removal of the helmet in the PP when the patient is found in that position. We understand that this helmet removal proposal in the PP refutes what has been previously published about the technique in the SP [10,13–16]. However, to our knowledge, this is the first time that a biomechanical study has been conducted that ratifies this variation of the application of the helmet removal position.

Among the limitations of the present study, we must underline the stability of the spinal column of the volunteers, which practically limits the extrapolation of the results, as a certain degree of difference could exist with the real SCI victims and/or the instability of the column. Nevertheless, we must also consider the high reliability of the inertial sensors, in agreement with the results obtained in other studies that utilized similar systems [17,21–27]. In addition, the establishment of the maximum levels of acceptable cervical flexion prior to data analysis through the Bland-Altman method support the reliability of the data obtained in the simulation. Another limitation is the inability to compare the HR-PP results, as no similar studies were found in the literature. Consequently, the present work opens a line of research for the improvement of severe trauma care in the case of accidents that involve motorcycle riders.

In conclusion, the new HR-PP position provokes less movement of the spinal column as compared to the habitual HR-SP position. However, this does not justify the movement of the patient from a PP to a SP. Therefore, a recommendation is made to remove the helmet in whatever position the victim is found, and more specifically, if the victim is found in the PP, to not turn the patient to the SP before removing the helmet. Also, we support the conclusions from other authors, with respect to the spinal column of a patient in SP not being in a NP, but rather in a slight flexion.

Data availability statement

The data from the research conducted have been deposited in a publicly accessible repository: Institutional Repository of the Catholic University San Antonio of Murcia (RIUCAM), under access number 6.118.

CRediT authorship contribution statement

Ana Nicolás Carrillo: Writing – review & editing, Writing – original draft, Methodology, Investigation, Formal analysis, Conceptualization. **Javier Ruiz Casquet:** Writing – original draft, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Juan José Hernández Morante:** Writing – review & editing, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Francisco Gallego España:** Writing – original draft, Validation, Methodology, Investigation, Formal analysis. **MaryBeth Horodyski:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Methodology, Investigation, Formal analysis, Conceptualization. **Catalina Baez:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Methodology, Formal analysis, Conceptualization. **Manuel Pardo Ríos:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Project administration, Methodology, Investigation, Formal analysis, Conceptualization.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

The authors thank for their help in the preparation and development of this work to: García-Sanz J. (PO CECOS SEM nurse), Del-Brío-Ibáñez P. (HEMS and SAMUR doctor) and Pérez-Lucas M.A. (Toledo-SESCAM Paraplegic Hospital Communication Unit). We also like to thank Pablo Lopez Guardiola, Andres Pedreño y Alberto Lanchares in the desing of the 3D instructions.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27428>.

References

- [1] World Health Organization, Traffic-Related Injuries, World Health Organization, 2022. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>. (Accessed 24 October 2023).
- [2] Dirección General de Tráfico, Siniestralidad mortal en vías interurbanas 2022 (Cómputo de personas fallecidas a 24 horas), Dirección General de Tráfico, 2023. https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/galleries/downloads/dgt-en-cifras/24h/Siniestralidad-mortal-a-24h-en-2022_interurbana.pdf. (Accessed 24 October 2023) (Spanish).
- [3] World Health Organization, Spinal Cord Injuries, World Health Organization, 2013. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/spinal-cord-injury>. (Accessed 24 October 2023).
- [4] S.B. Jazayeri, S.F. Maroufi, E. Mohammadi, M.A.D. Ohadi, E.M. Hagen, M. Chalangari, S.B. Jazayeri, M. Safdarian, S.A. Zadegan, Z. Ghodsi, V. Rahimi-Movaghar, Incidence of traumatic spinal cord injury worldwide: a systematic review, data integration, and update, *World Neurosurg.*: X 18 (2023) 100171, <https://doi.org/10.1016/j.wnsx.2023.100171>.

A. Nicolás Carrillo et al.

Heliyon 10 (2024) e27428

- [5] M. Yadollahi, M. Karajizadeh, N. Bordbar, Z. Ghahramani, Incidence and pattern of traumatic spine injury in a single level I trauma center of southern Iran, *Chin. J. Traumatol.* 26 (4) (2023) 199–203, <https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2023.01.001>.
- [6] American College of Surgeons Committee on Trauma, Best Practice Guidelines for Spinal Injuries, ACRM, Chicago, 2022.
- [7] J.J. Guzmán Ludeña, Las enfermedades neurológicas superan a los accidentes como principal causa de ingreso en el Hospital Nacional de Paraplégicos. (Balance asistencial documento inédito), Hospital Nacional de Paraplégicos, 2022. Toledo. (Spanish) [Pre-print].
- [8] R. Galeiras Vázquez, M.E. Ferreira Velasco, M. Mourelo Fariña, A. Montoto Marqués, S. Salvador de la Barrera, Actualización en lesión medular aguda postraumática, Parte 1. *Medicina Intensiva* 41 (2017) 237–247, <https://doi.org/10.1016/j.medin.2016.11.002> (Spanish).
- [9] S. Chaichan, T. Asawaleratsang, P. Veerapongtongchai, P. Chattakul, S. Khamsai, P. Pongkulkiat, V. Chotmongkol, P. Limpawattana, J. Chindaprasit, V. Senthong, C. Ngamjarus, Y. Sittichanbuncha, A. Kitkhuandee, K. Sawanyawisuth, Are full-face helmets the most effective in preventing head and neck injury in motorcycle accidents? A meta-analysis, *Prevent. Med. Rep.* 19 (2020) 101118, <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2020.101118>.
- [10] S.C. Ludwig, L. Brown, I. Bussey, A. Nash, Spinal trauma, in: National Association of Emergency Medical Technicians (NAEMT), Prehospital Trauma Life Support, MA: Jones and Bartlett, Chicago, 2019, 2935–344.
- [11] E. Mohammadi, S. Azadnajafabad, M. Keykhaei, A. Shakiba, S.E. Meimand, S.H. Shabanan, P.M. Sharif, M.H. Asgardoost, M. Shafieian, Z. Ghodsi, S.T. Heydari, R. Atlasi, A. Ansari Moghaddam, M. Sharif Alhoseini, G.M. O'Reilly, V. Rahimi Movaghar, Barriers and factors associated with the use of helmets by Motorcyclists: a scoping review, *Accid. Anal. Prev.* 171 (2022) 106667, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106667>.
- [12] C. Lucci, S. Piantini, G. Savino, M. Pierini, Motorcycle helmet selection and usage for improved safety: a systematic review on the protective effects of helmet type and fastening, *Traffic Inj. Prev.* 22 (4) (2021) 301–306, <https://doi.org/10.1080/15389588.2021.1894640>.
- [13] J.J. Augustine, Spinal trauma and patient-centered spinal motion restriction, in: Pearson Education Limited. *International Trauma Life Support*, Pearson, England, 2016, pp. 224–250.
- [14] M.A. Menchaca Anduaga, Á. Huerta Arroyo, J.C. Ceideira Varela, P. Martínez Tenorio, F. Abad Esteban, R. Abejón Martín, Manual y Procedimientos de Enfermería Summa 112. *Salud Madrid*, 2014, in: <https://es.scribd.com/doc/196998790/Manual-y-Procedimientos-de-Enfermeria-SUMMA-112-2012> (Spanish).
- [15] F. Acuña Gutiérrez, J.C. Saborido Piñero, Manual de movilización e inmovilización en el paciente con trauma grave, in: Punto Rojo Libros, 2021. Sevilla. (Spanish).
- [16] S.P. Civil, Manual de Procedimientos SAMUR- Protección Civil (6ª ed), SAMUR, 2023. <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Emergencias-y-seguridad/SAMUR-Proteccion-Civil/?vgnnextfmt=default&vgnnextoid=c88fcd1bffa010VgnVCM100000d90ca8c0RCRD&vgnnextchannel=F9cd31d3b28fe410VgnVCM1000000b205a0aRCRD&idCapitulo=10270915> (Spanish).
- [17] A. Nicolás Carrillo, J. Ruiz Casquet, R. Gordillo Martín, F. Moya Escudero, L. Juguera Rodríguez, M.I. Hontoria Hernández, I. Nicolás Carrillo, M. Pardo Ríos, Análisis biomecánico de movimiento durante extracción de casco de motoristas: estudio comparativo de la eficacia de dos técnicas Emergencias, 35(2), 155–157, <http://emergencias.portalsemes.org/numeros-antiores/volumen-35/numero-2/anlisis-biomecnico-de-movimiento-durante-extraccin-de-casco-de-motoristas-estudio-comparativo-de-la-eficacia-de-dos-tnicas/>, 2023 (Spanish).
- [18] I. Bárány, V. Vu, Central limit theorems for Gaussian polytopes, *Ann. Probab.* 35 (2007) 1593–1621, <https://doi.org/10.1214/009117906000000791>.
- [19] H. Alvarado Martínez, L. Retamal Pérez, Dificultades de comprensión del teorema central del límite en estudiantes universitarios, *Educ. Matem.* 24 (3) (2012) 151–171, <https://www.scielo.org.mx/pdf/ed/v24n3/v24n3a7.pdf> (Spanish).
- [20] B.P. Conrad, G. Del Rossi, M.B. Horodyski, M.L. Prasarn, Y. Alemi, G.R. Reichtine, Eliminating log rolling as a spine trauma order, *Surg. Neurol. Int.* 3 (Suppl 3) (2012) S188, [10.4103/22152-7805.98584](https://doi.org/10.4103/22152-7805.98584).
- [21] R. Gordillo Martín, M.I. Hontoria Hernández, L. Juguera Rodríguez, J.A. Díaz Hernández, F.J. Serrano Martínez, L. Alonso Ibáñez, M. Pardo Ríos, Análisis biomecánico del movimiento cervical en la extracción del casco en motoristas: estudio de simulación, *Emergencias* 29 (2017) 249–252, https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Pardo-5/publication/318589198_Analisis_biomecnico_del_movimiento_cervical_en_la_extraccion_del_casco_en_motoristas_Biomechanical_analysis_of_cervical_spine_movement_on_removal_of_motorcycle_helmets/links/5971d86b4585153016393121/Analisis-biomecnico-del-movimiento-cervical-en-la-extraccion-del-casco-en-motoristas-Biomechanical-analysis-of-cervical-spine-movement-on-removal-of-motorcycle-helmets.pdf.
- [22] T. Nutbeam, R. Fenwick, B. May, W. Stassen, J.E. Smith, J. Bowdler, L. Wallis, J. Shippen, Assessing spinal movement during four extrication methods: a biomechanical study using healthy volunteers, *Scand. J. Trauma Resuscitation Emerg. Med.* 30 (2022) 7, <https://doi.org/10.1186/s13049-022-00996-5>.
- [23] D. Háske, L. Schier, J.O.N. Weerts, B. Groß, A. Rittmann, P.A. Grütznier, M. Münzberg, M. Kreinest, An explorative, biomechanical analysis of spine motion during out-of-hospital extrication procedures, *Injury* 51 (2020) 185–192, <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.10.079>.
- [24] H. Hani, R. Souchereau, A. Kachlan, J. Dufour, A. Aurand, P. Mageswaran, M. Hyer, W. Marras, Reliability of a wearable motion tracking system for the clinical evaluation of a dynamic cervical spine function, *Sensors* 23 (2023) 1448, <https://doi.org/10.3390/s23031448>.
- [25] S. Starita, M. Deodato, M. Martini, L. Murena, A. Accardo, Does unilateral adhesive capsulitis also affect the healthy shoulder? Bilateral evaluation of shoulder kinematics and pain sensitivity using IMU sensors and algometer, *Gait Posture* 97 (2022) 19–20, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.09.037>.
- [26] J.H. Williams, S.F. Rizzuto, B.A. Dillard, E.J. Whitaker, Complementary use of wearable technology 4: assessing gait asymmetry and shock attenuation using multiple IMU devices, *Merg. Wearable Technol.* 169 (2022) 1–7, <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/114093/Williams%202022%20Wearable%20Tech%204.pdf?sequence=2>.
- [27] A. Nicolás Carrillo, J. Ruiz Casquet, Y. Ramírez Rojas, M.B. Horodyski, C. Baez, S. Sánchez-Arévalo Morato, M. Pardo Ríos, ¿Cuál es la mejor opción de transferencia del paciente con sospecha de lesión medular espinal a la llegada al hospital? Análisis biomecánico de desalineación de la columna cervical durante simulación, *Emergencias* 37 (2024) 72–74, <http://emergencias.portalsemes.org/ver-abstract/cul-es-la-mejor-opcin-de-transferencia-del-paciente-con-sospecha-de-lesin-medular-espinal-a-la-llegada-al-hospital-anlisis-biomecnico-de-desalineacin-de-la-columna-cervical-durante-simulacin/> (Spanish).

Anexo 2.2 Estudio II. Análisis biomecánico del movimiento durante la extracción de casco en motoristas: estudio comparativo de la eficacia de dos técnicas.

Emergencias 2023;35:150-157

Análisis biomecánico de movimiento durante la extracción del casco de motoristas: estudio comparativo de la eficacia de dos técnicas

Biomechanical analysis of movements during removal of helmets from motorcycle riders: a comparative study of the efficacy of 2 techniques

Ana Nicolás Carrillo^{1,2}, Javier Ruiz Casquet³, Raquel Gordillo Martín³, Francisco Moya Escudero⁴, Laura Juguera Rodríguez³, María Isabel Hontoria Hernández³, Inmaculada Nicolás Carrillo⁵, Manuel Pardo Ríos^{1,3}

Los accidentes de tráfico son responsables de 1.2 millones de muertes al año y el 23% corresponde a motoristas¹. El casco integral protege de múltiples lesiones²⁻⁴. La colocación de dispositivos de inmovilización del

paciente resulta dificultosa en presencia del casco^{3,5,7}. Una de las técnicas de extracción del casco, denominada “técnica diente de sierra” (TDS), está descrita en el manual *Pre-hospital Trauma Life Support* (PHTLS)⁵. El primer rescatador abarca con ambas manos la parte inferior del casco y el mentón de la víctima llevando la cabeza a posición neutra. El segundo rescatador abre la visera y suelta la cinta mentoniana; fija el mentón con una de sus manos y con la otra sujeta la parte posterior de la cabeza. El objetivo es obtener posición neutra de la cabeza (posición de 0°), manteniendo eje cabeza-cuello-tronco. El primer rescatador realiza movimientos de giro arriba y abajo hasta su completa retirada^{3,8}. Por otro lado, existe la “técnica de tracción continua (TTC)”. El inicio es similar, sin embargo, el primer rescatador comienza a retirar el casco con un movimiento de tracción continua hasta llegar a la altura de la nariz de la víctima. En este punto se amplía el ángulo traccionando del casco en posición posterior y cuando el compañero esté listo para mantener la alineación del eje la cabeza-cuello, se extrae por completo. Ninguna de las dos técnicas ha sido suficientemente investigada. El objetivo principal es comparar las diferencias en la desalineación de la columna cervical que producen ambas técnicas.

Estudio transversal, comparativo, de simulación para determinar mediante análisis biomecánico con sensores inerciales (SI) la desalineación producida en la columna cervical durante la extracción de un casco en motorista accidentado. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación de la Universidad Católica de Murcia (Registro 6118, 03/06/2016).

La muestra la componen 34 profesionales sanitarios, con más de 3 años de experiencia en emergencias y formación

específica en soporte vital avanzado al trauma. Cada participante intervino como líder de ambas maniobras mientras otro voluntario, cumplió el rol de segundo rescatador. El sistema de SI usado es el modelo STT-IBS iSen 3D Motion Analyser® (STT Systems) para el análisis de movimiento. Se seleccionó el modelo biomecánico de análisis de movimiento cervical. Los SI fueron colocados en el actor (paciente inconsciente en decúbito supino, con sospecha de lesión cervical), uno en la espalda (entre C6 y C7) y otro en la zona superior de la cabeza.

El análisis se realizó con el programa SPSS® Versión 21. Los datos se exponen mediante frecuencias, porcentajes, medias, desviaciones estándar (DE) y rangos. La variable principal fue flexoextensión del cuello. Las variables secundarias fueron: formación académica, años de experiencia, tiempo de realización de la maniobra, rotación y lateralización del cuello. Para su comparación se empleó la prueba U de Mann-Whitney para variables independientes. Las diferencias se consideraron estadísticamente significativas para un intervalo de confianza del 95% ($p < 0,05$).

No se hallaron diferencias en relación con el sexo (59% mujeres), categoría profesional ni años de experiencia en los resultados obtenidos. La imagen de la variable principal, movimiento de flexoextensión, en una de las simulaciones, la pueden ver en la Figura 1. La flexión cervical presenta un rango medio de 11° ($DE \pm 7^\circ$) mediante TDS; mientras que con TTC fue de 8° ($DE \pm 8^\circ$). Por otra parte, en la extensión cervical, con TDS se registra una media de 14° ($DE \pm 10^\circ$) y mediante TTC se obtiene una media de 15° ($DE \pm 8^\circ$). Por lo tanto, para la variable principal no se encontraron diferencias (flexión $p = 0,202$; extensión $p = 0,758$). En el análisis cualitativo, de las curvas (Figura 1) se puede observar un número importante de movimientos en TDS, mayor que TTC.

La flexión lateral derecha muestra un rango medio de 7° ($DE \pm 6^\circ$) con TDS; entre tanto con TTC fue de 8° ($DE \pm 6^\circ$). Con respecto a, la flexión lateral izquierda mediante TDS se anota una media de 8° ($DE \pm 7^\circ$) y con TTC se logra una media de 7° ($DE \pm 5^\circ$). Para la variable secundaria lateralización del cuello no se encontraron diferencias (derecha $p = 0,499$; izquierda $p = 0,646$). La rotación derecha exhibe un rango medio de 9° ($DE \pm 5^\circ$) con TDS; mientras con TTC fue de 9° ($DE \pm 5^\circ$). La rotación izquierda, utilizando ambas técnicas, ostenta una media de 6° ($DE \pm 5^\circ$). Para la variable secundaria rotación de cuello no se encontraron diferencias (derecha $p = 0,942$; izquierda $p = 0,723$).

El tiempo empleado presenta una media de 38,9 segundos ($DE: \pm 11,7$) por medio de TDS; sin embargo, con TTC fue de 33,1 segundos ($DE: \pm 11,1$). Para la variable secundaria tiempo de realización de la maniobra se encontraron diferencias ($p = 0,01$) con menor tiempo empleado en retirada de casco mediante TTC respecto de TDS.

Los resultados obtenidos (Tabla 1) no aportaron diferencias significativas respecto a la desalineación cervical producida. No puede afirmarse que una maniobra sea superior a la otra. Se analizó el rango máximo y mínimo del movimiento cervical y, aunque los resultados de la experiencia eran similares para ambas técnicas, la TDS provoca una mayor acumulación de movimientos que la TTC.

Nuestros resultados son similares a otros estudios⁹. En un futuro se podría medir la desalineación total acumulada para determinar si existe mayor movimiento acumulado en TDS como parece indicar el dibujo de la curva. En relación con el tiempo para cada maniobra, la TTC parece ser

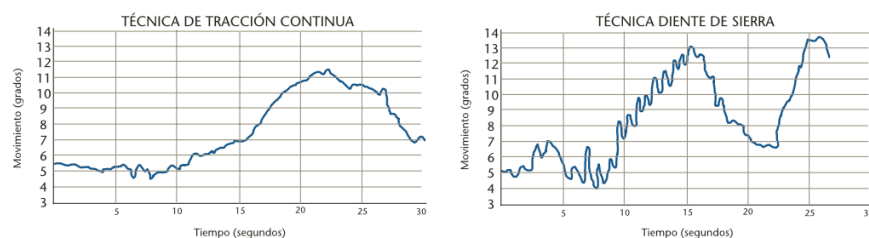


Figura 1. Imagen del movimiento de flexoextensión durante una de las simulaciones de la retirada del casco para las dos técnicas incluidas en este estudio.

Tabla 1. Resultados obtenidos durante el experimento-simulación en las variables estudiadas respecto del movimiento cervical

Movimiento	Técnica	N	Medida	Desviación estándar	p
Flexión	Sierra	33	10,97°	7,44°	0,202
	Continuo	32	8,85°	7,87°	
Extensión	Sierra	33	13,88°	10,26°	0,758
	Continuo	32	14,96°	8,47°	
Flexión lateral derecha	Sierra	33	6,67°	6,20°	0,499
	Continuo	32	7,57°	6,37°	
Flexión lateral izquierda	Sierra	33	8,41°	7,42°	0,646
	Continuo	32	6,71°	4,52°	
Rotación derecha	Sierra	33	9,08°	4,85°	0,942
	Continuo	32	8,83°	5,52°	
Rotación izquierda	Sierra	33	6,42°	5,13°	0,723
	Continuo	32	5,90°	4,78°	
Tiempo	Sierra	33	38,9"	11,71"	0,010
	Continuo	32	33,11"	11,18"	

Los valores de p en negrita denotan significación estadística ($p < 0,05$).

más rápida y podría favorecer el acceso precoz a la vía aérea^{3,5-7}. La limitación principal del estudio reside en tratarse de una simulación lo cual entraña condiciones de laboratorio muy concretas, la estabilidad de columna puede diferir de resultados en víctimas reales. Sin embargo, el empleo de SI parece fiable según resultados de estudios similares^{9,11-13}. Como conclusión, podemos afirmar que no existen diferencias en la desalineación de la columna durante la extracción del casco de motorista cuando comparamos la TTC con la TDS. La TTC podría aportar ventajas en la atención al paciente, por el menor tiempo que supone su realización.

Bibliografía

- Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2015 [Internet]. Organización Mundial de la Salud. 2015. (Consultado 20 Mayo 2019). Disponible en: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/es/
- dgt w. Principales Cifras de Siniestralidad [Internet]. Dgt.es. 2017. (Consultado 20 Mayo 2019). Disponible en: <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/principales-cifras-siniestralidad/>
- NAEMT N. PHTLS Español. 8a ed. Sudbury: Jones & Bartlett Learning. 2015. pp. 330-33.1
- Liu BC, Ivers R, Norton R, Boufous S, Blows S, Lo SK. Helmets for preventing injury in motorcycle riders. Cochrane Database Syst Rev [Internet] 2008. (Consultado 20 Mayo 2019). Disponible en: <https://www.cochranejournal.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD004333.pub3/abstract>
- Gordillo R. Análisis de las técnicas de movilización en pacientes con sospecha de lesión medular a través de sistemas de captura de movimiento. UCAM; 2018. (Consultado 20 Mayo 2019). Disponible en: <http://repositorio.ucam.edu/handle/10952/3477>
- Gordillo R, Hontoria MI, Juguera L, Díaz JA, Serrano FJ, Alonso L, et al. Análisis biomecánico del movimiento cervical en la extracción del casco en motoristas: estudio de simulación. Emergencias. 2017;29:249-52.
- Hinds JD, Allen G, Morris CG. Trauma and motorcyclists: born to be wild, bound to be injured? Injury. 2007;38:1131-8.
- Comité de Trauma del Colegio Americano de Cirujanos. Advanced Trauma Life Support. 10a ed. Chicago: Ceiga Books; 2018. pp. 30-36.
- Gordillo R, Alcaraz PE, Manzano F, Freitas TT, Martín-Cascales E, Juguera L, et al. Análisis cinemático de la columna vertebral durante la colocación de dos dispositivos: tablero espinal frente a la camilla de cuchara. Emergencias. 2017;29:43-5.
- Blow O, Magliore L, Claridge J, Butler K, Young J. The Golden Hour and the Silver Day: Detection and Correction of Occult Hypoperfusion within 24 Hours Improves Outcome from Major Trauma. J Trauma. 1999;47:964.
- Dixon M, O'Halloran J, Cummins NM. Biomechanical analysis of spinal immobilisation during prehospital extrication: a proof of concept study. Emerg Med J. 2014;31:745-9.
- Engsberg JR, Standeven JW, Shurtleff TL, Eggars J, Shafer JS, Naunheim RS. Cervical Spine Motion During Extrication. J Emerg Med. 2013;44:122-7.
- Lebel K, Chenel V, Boulay J, Boissy P. Quantitative Approach Based on Wearable Inertial Sensors to Assess and Identify Motion and Errors in Techniques Used during Training of Transfers of Simulated c-Spine-Injured Patients. J Healthc Eng. 2018; (Consultado 20 Mayo 2019). Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/jhe/2018/5190693/abs>

Afilación de los autores: UCAM Universidad Católica de Murcia, España. *Servicio Aragonés de Salud, España. *Gerencia de Urgencias y Emergencias 061 de la Región de Murcia, Servicio Murciano de Salud, España. †Eliance. Base Heltransportada 23, Teruel, España.

Correo electrónico: mpardo@ucam.edu

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de interés en relación al presente artículo.

Contribución de los autores, financiación y responsabilidades éticas: Todos los autores han confirmado su autoría, la no existencia de financiación externa y el mantenimiento de la confidencialidad y respeto de los derechos de los pacientes en el documento de responsabilidades del autor, acuerdo de publicación y cesión de derechos a EMERGENCIAS. Aprobado por el Comité de Ética de Investigación de la Universidad Católica de Murcia (UCAM).

Artículo no encargado por el Comité Editorial y con revisión externa por pares.

Editor responsable: Xavier Jiménez Fábrega.

Correspondencia: Manuel Pardo Ríos, Grupo de Investigación de Nuevas Tecnologías para la Salud, Universidad Católica de Murcia. Campus de los Jerónimos, Nº 135, 30107 Guadalupe, Murcia, España.

Anexo 2.3 Estudio III. ¿Cuál es la mejor opción de transferencia del paciente con sospecha de lesión medular espinal a la llegada al hospital? Análisis biomecánico de la desalineación de la columna cervical durante simulación

Emergencias 2024;36:72-78

CARTAS CIENTÍFICAS

¿Cuál es la mejor opción de transferencia del paciente con sospecha de lesión medular espinal a la llegada al hospital? Análisis biomecánico de desalineación de la columna cervical durante simulación

What is the best way to transfer a patient with a suspected spinal cord injury to hospital? A biomechanical analysis of cervical spine misalignment during simulations

Ana Nicolás Carrillo^{1,3}, Javier Ruiz Casquet², Yasmín Ramírez Rojas¹, MaryBeth Horodyski⁴, Catalina Baez⁴, Silvia Sánchez-Arévalo Morato⁵, Manuel Pardo Ríos^{1,2}

La lesión de la médula espinal (LME) es una enfermedad grave y considerada un problema de salud mundial¹. Presenta una gran morbilidad asociada, pues se ha reportado al menos un problema de salud secundario a LME en el 95,8% de los casos². El manejo inicial del paciente con sospecha de LME se centra en la estabilización hemodinámica y, posteriormente, en la restricción de movimiento vertebral. Con la restricción de movimiento se pretende disminuir posibles compresiones de médula espinal y déficit neurológico, y prevenir lesiones secundarias³. Sin embargo, los dispositivos de restricción de movimiento se asocian con diversas morbilidades (dolor, problemas respiratorios, úlceras, entre otros) por lo que deben ser retirados lo antes posible^{3,4}.

Conrad *et al.* desarrollaron un esquema para la atención de pacientes con LME, que ha sido complementado y adaptado (Figura 1). En ese esquema se muestran las técnicas, maniobras y numerosas transferencias necesarias en la atención de estos pacientes⁵. Cada paso en esta secuencia representa un riesgo. La transferencia del paciente, por los servicios de emergencias médicas, es un punto crítico del ciclo. Comúnmente se emplea la camilla cuchara (CC) o la tabla deslizante (TD). La tabla larga (TL) no suele usarse en este paso, ya que implica un peor control del movimiento⁵. El objetivo del presente trabajo es comparar, mediante análisis biomecánico, el grado de desalineación en la columna cervical (DC), durante la transferencia de pacientes con sospecha de lesión medular, usando CC frente a TD.

Este trabajo es un estudio piloto comparativo de simulación clínica. Mediante análisis biomecánico con sensores inerciales se determinó la DC durante transferencia de paciente con sospecha de LME. Se ha obtenido consentimiento de los participantes y aprobación del Comité de Ética de la Universidad Católica de Murcia. La muestra se compuso de 10

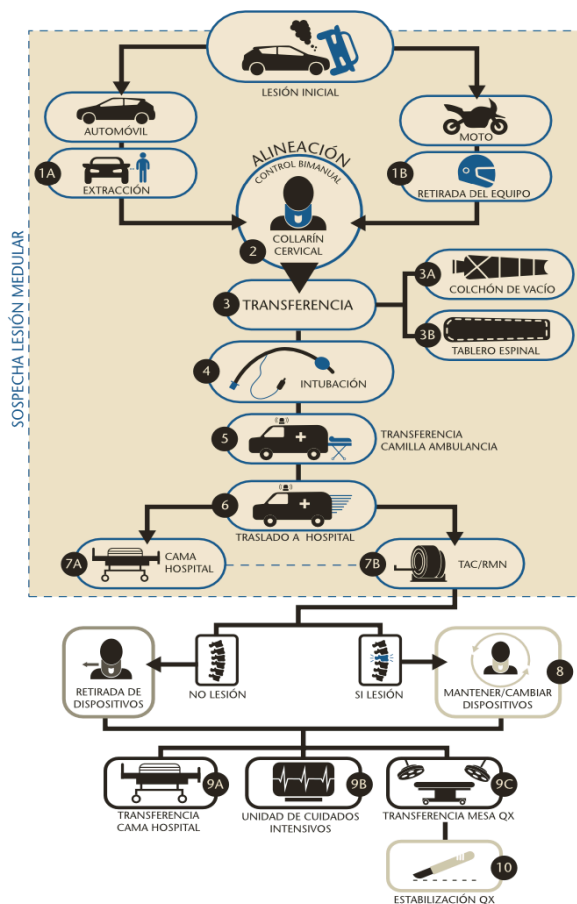


Figura 1. Esquema de la secuencia atención donde puede haber movimientos y técnicas que produzcan desalineación de la columna vertebral. Fuente: Adaptación del esquema de Conrad, *et al.*⁵. Qx: quirúrgico; TAC: tomografía axial computerizada; RMN: resonancia magnética nuclear.

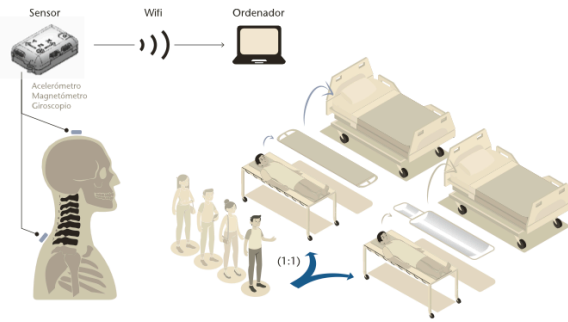


Figura 2. Representación gráfica ubicación sensores iniciales en víctima simulada.

profesionales sanitarios expertos en soporte vital al trauma, con más de 5 años de experiencia en servicios de emergencias médicos seleccionados mediante convocatoria abierta. El criterio de inclusión de voluntarios sanitarios fue ser profesional sanitario con experiencia en servicios de emergencias médicos ≥ 5 años y el de exclusión fue el padecer una lesión física que imposibilitase el desarrollo del estudio.

La simulación consistió en transferir al paciente a una cama desde una camilla con un colchón de vacío, y la transferencia del paciente se realizó mediante CC o TD (Figura 2). Los profesionales se combinaron mediante aleatorización simple para componer los equipos (con 5 profesionales) y realizaron 8 simulaciones (4 CC y 4 TD) con lo que hubo 36 mediciones de DC con cada dispositivo. Los profesionales rotaban el rol desempeñado: líder (realizando control cervical), dos profesionales para control de cintura escapular y dos para control de cintura pélvica.

La víctima simulada (en decúbito supino), portaba dos sensores inerciales (Figura 2): uno cefálico (zona superior) y otro en columna cervical (vértebras C6-C7). El actor (varón) presentaba características de adulto estándar (talla: 1,70 m; peso: 70kg; índice

de masa corporal: 24,2). Los sensores inerciales STT-IWS (STT System) determinan la orientación angular y se obtienen valores en los 3 ejes del espacio (X, Y, Z). Se comunican inalámbricamente (mediante una red local wifi) sincronizando los datos y grabando los movimientos de manera continua. Se seleccionó el modelo biomecánico de análisis de columna cervical. Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante IBM SPSS Statistics® (versión 24) y se presentan mediante frecuencia, desviación estándar (DE), media, diferencia de medias e intervalo de confianza (IC) del 95%. La variable principal analizada fue flexoextensión. Las variables secundarias fueron: lateralización, rotación y tiempo. Se empleó la prueba t de Student en la comparación entre variables. Se asumió que la diferencia era estadísticamente significativa si $p < 0,05$.

Las variables descriptivas de la muestra son las siguientes: sexo (60% mujeres; 40% hombres), categoría profesional (20% médicos; 70% enfermeros; 10% técnicos en emergencias sanitarias) y experiencia laboral (media de 11,3 años; DE 3,7 años). La Tabla 1 recoge los resulta-

dos del análisis biomecánico de las 72 intervenciones (36 CC y 36 TD). Para la variable principal (flexoextensión) y la lateralización no se han encontrado diferencias. Respecto a la rotación, se ha hallado una mayor rotación derecha con CC ($p < 0,001$) e izquierda con TD ($p = 0,035$). Por otro lado, la transferencia del paciente con CC requiere casi el doble de tiempo respecto al uso de TD ($p < 0,001$).

Los resultados muestran que, a pesar de realizar las maniobras de retirada de dispositivos y transferencia profesionales con amplia experiencia, se produce alguna DC con ambos dispositivos. No hay estudios previos que comparen DC empleando CC y TD. La mayor parte de estudios de análisis biomecánico se centran en extracción de pacientes o no emplean TD. Comparando estos datos con otros autores, Gordillo *et al.*, tras medir la desalineación media mediante reconstrucción 3D, concluyen que la CC provoca menor desalineación en la columna respecto a la TL⁶. No es posible comparar la DC a la perfección, ya que se midió en tres ejes (cabeza, hombro y cadera).

En pacientes con sospecha de LME es necesario realizar una prueba de imagen. Ante la sospecha de LME, ya sea por criterios NEXUS (National Emergency X-radiography Utilization Study)⁶ o mediante la Canadian Spine Rule⁷, se debe inmovilizar la región cervical, ya que el movimiento puede producir complicaciones⁸. Liengswangwong *et al.* estudiaron la DC en diferentes situaciones de movimiento de voluntario sano estrechamente inmovilizado donde registraron una DC de 7° a 9° en el movimiento de flexoextensión cervical⁹. Queda pues patente la im-

Tabla 1. Análisis comparativo de los resultados obtenidos entre la camilla de cuchara en comparación con el tablero deslizante

Movimiento	Media (DE)		Diferencias de medias (IC 95%)	P
	Camilla cuchara N = 36 n (%)	Tabla deslizante N = 36 n (%)		
Tiempo (segundos)	81 (32)	41 (7 ^m)	40 (29-50)	< 0,001
Flexión cervical (FC)	10,25° (8,99°)	13,34° (10,60°)	-3,09° (-8,04° a 1,86°)	0,214
Extensión cervical (EC)	5,15° (2,80°)	5,89° (2,58°)	-0,74° (-1,91° a 0,42°)	0,203
Flexión lateral derecha (FLD)	6,27° (5,69°)	4,35° (4,00°)	1,92° (-0,48° a 4,32°)	0,113
Flexión lateral izquierda (FLI)	10,55° (6,63°)	10,38° (5,73°)	0,17° (-2,57° a 2,92°)	0,901
Rotación derecha (RD)	12,11° (4,80°)	7,31° (4,95°)	4,79° (2,33° a 7,27°)	< 0,001
Rotación izquierda (RI)	9,01° (6,89°)	12,57° (8,09°)	-3,56° (-6,87° a -0,25)	0,035
Desalineación media (DM)	8,89 (3,35°)	8,98 (3,54°)	-0,09 (-1,55 a 1,72)	0,916

DM = (FC + EC + FLD + FLI + RD + RI) / 6.

DE: desviación estándar; IC: índice de confianza.

Los valores en negrita expresan significación estadística ($p < 0,05$).

portancia de considerar la potencial DC en contexto de transferencia de un paciente. Consideramos que la DC registrada en el presente estudio, aunque se trata de valores bajos, aumentaría el riesgo de agravamiento o aparición de LME secundaria.

Además, se objetivó que la TD reduce a la mitad el tiempo en la transferencia, aunque en el global de toda la asistencia puede que no tenga una gran repercusión clínica. Este resultado está en consonancia con lo destacado por Roessler *et al.* quienes, en un estudio de simulación, compararon el tiempo empleando TL y CV y se subrayaron que el tiempo era esencial en pacientes con trauma mayor¹⁰.

Cabe decir que Gordillo *et al.* evidenciaron grados de desalineación de columna menores tras formación en el uso de CC y TL. En concreto, en el eje cabeza, la desalineación preformación (25,7°) se redujo a la mitad (11,1°)¹¹. Además, remarcar que la CC precisa medición del paciente y ensamblado de dos piezas. Frente a esto, la TD, de una sola pieza, es de talla universal. Por todo ello, se considera que en personal con menor experiencia el tiempo de aplicación de la CC y la TD podrían aumentar.

Como limitación del estudio, destacar que se ha realizado con pacien-

te simulado, es decir sin inestabilidad cervical real. No obstante, en la literatura científica la metodología es similar a la nuestra^{5,9,11,12}. Como conclusión, destacar que en la transferencia de un paciente con sospecha de LME no hay grandes diferencias en DC entre la CC y la TD. El empleo de la TD podría beneficiar al paciente, al precisar la mitad de tiempo respecto del uso de la CC. Queda patente la vital importancia de aumentar investigación y conocimientos respecto de los movimientos ejercidos sobre la columna cervical durante las distintas actuaciones con pacientes con LME.

Bibliografía

- 1 Massetti J, Stein DM. Spinal Cord Injury. En: White J, Sheth K, editores. Neurocritical Care for the Advanced Practice Clinician. Suiza: Springer, Cham; 2018. pp. 269-88.
- 2 Stram V, Månun G, Arora M, Joseph C, Kyriakides A, Le Fort M, et al. Physical health conditions in persons with spinal cord injury across 21 countries worldwide. *J Rehabil Med.* 2022;54:jrm00302.
- 3 Shank CD, Walters BC, Hadley MN. Management of acute traumatic spinal cord injuries. En: Wijdicks EFM, Kramer AH, editores. *Critical Care Neurology*, Pt 1. Amsterdam: Elsevier Science Bv; 2017. pp. 275-98.
- 4 Ladny M, Gawel W. Neck stabilization in trauma patient: an emergency medicine perspective. *DEMJ.* 2022;7:52-7.
- 5 Conrad BP, Rossi GD, Horodyski MB, Prasarn ML, Alemi Y, Rehtine GR. Eliminating log rolling as a spine trauma order. *Surg Neurol Int.* 2012;3:5188-97.
- 6 Hoffman JR, Wolfson AB, Todd K, Mower WR. Selective Cervical Spine Radiography in Blunt Trauma: Methodology of the National Emergency X-Radiography Utilization Study (NEXUS). *Ann Emerg Med.* 1998;32:461-9.
- 7 Stiell IG, Wells GA, Vandemheen KL, Clement CM, Lesiuk H, De Maio VJ, et al. The Canadian C-Spine Rule for Radiography in Alert and Stable Trauma Patients. *JAMA.* 2001;286:1841-8.
- 8 Subcommittee, A. T. L. S., and International ATLS Working Group. Spine and Spinal Cord Trauma. En: American College of Surgeons. (ATLS®) Advanced Trauma Life Support. Chicago: American College of Surgeons; 2018. pp. 129-45.
- 9 Liengswangwong W, Lertviboonluk N, Yuksen C, Laksanamapune T, Limroongreungrat W, Mongkolpichayarak A, et al. Comparing the Efficacy of Long Spinal Board, Sked Stretcher, and Vacuum Mattress in Cervical Spine Immobilization; a Method-Oriented Experimental Study. *Arch Acad Emerg Med.* 2023;11:e44.
- 10 Roessler MS, Riffelmann M, Kunze-Szikszay N, Hier M, Schmid O, Haus H, et al. Vacuum mattress or long spine board: which method of spinal stabilisation in trauma patients is more time consuming? A simulation study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2021;29:46.
- 11 Gordillo-Martin R, Alcaráz EP, Rodríguez-Juguera L, Nieto-Fernandez-Pacheco A, Marín-Cascales E, Freitas TT, et al. Effect of training in advanced trauma life support on the kinematics of the spine: A simulation study. *Medicine.* 2017;96:e7587.
- 12 Gordillo-Martin R, Alcaraz-Ramón EP, Manzano Capel F, Freitas TT, Marín-Cascales E, Juguera-Rodríguez L, et al. Análisis cinemático de la columna vertebral durante la colocación de dos dispositivos de transferencia: tablero espinal. *Emergencias.* 2017;29:43-5.

Filiación de los autores: ¹UCAM Universidad Católica de Murcia, España. ²Gerencia de Urgencias y Emergencias 061 de la Región de Murcia, España. ³Servicio Aragonés de Salud. ⁴Department of Orthopedics Surgery and Sports Medicine. University of Florida, Gainesville, Florida, United States of America. ⁵Hospital Universitario Severo Ochoa, Madrid, España. Correo electrónico: mparado@ucam.edu

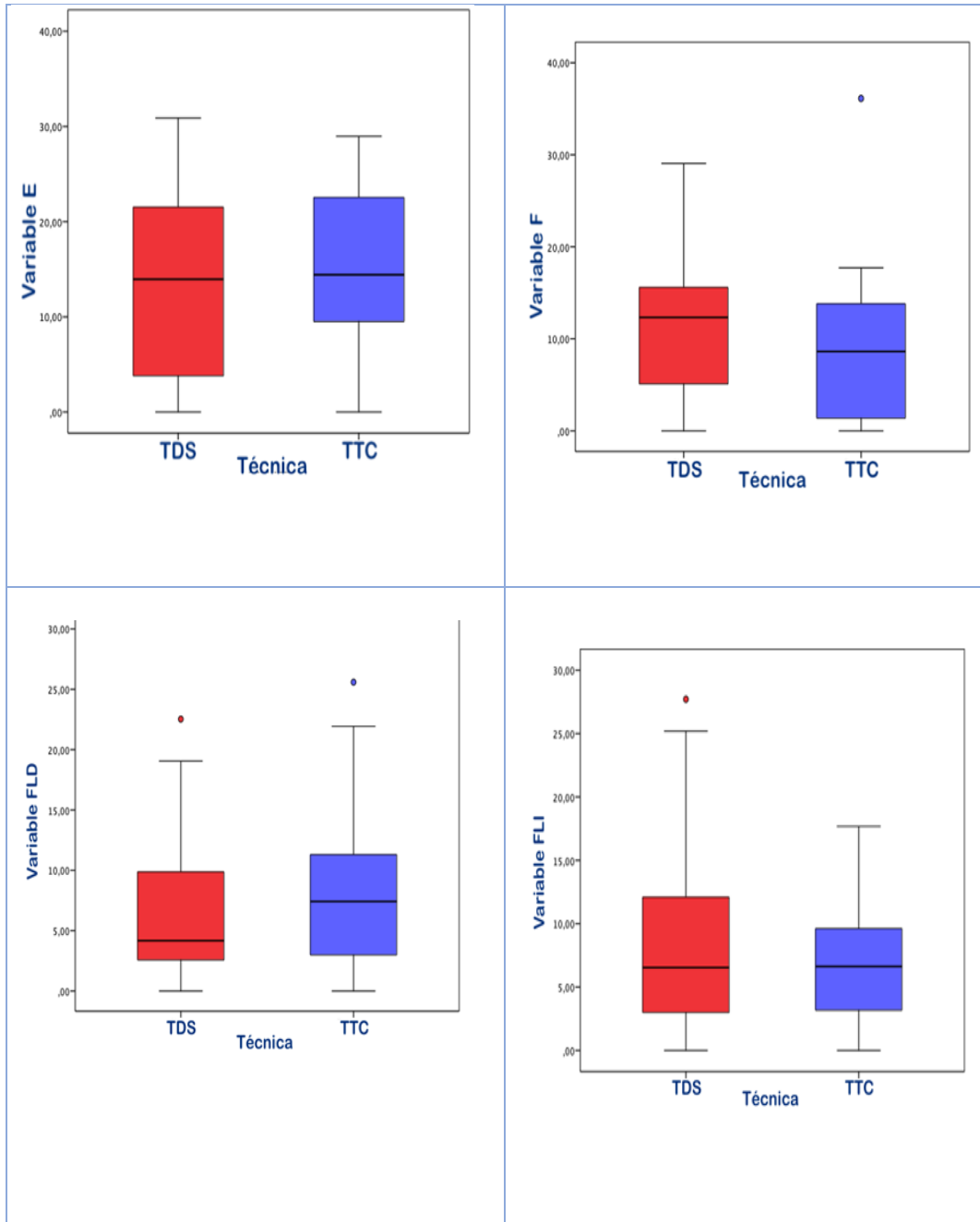
Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses en relación con el presente artículo.

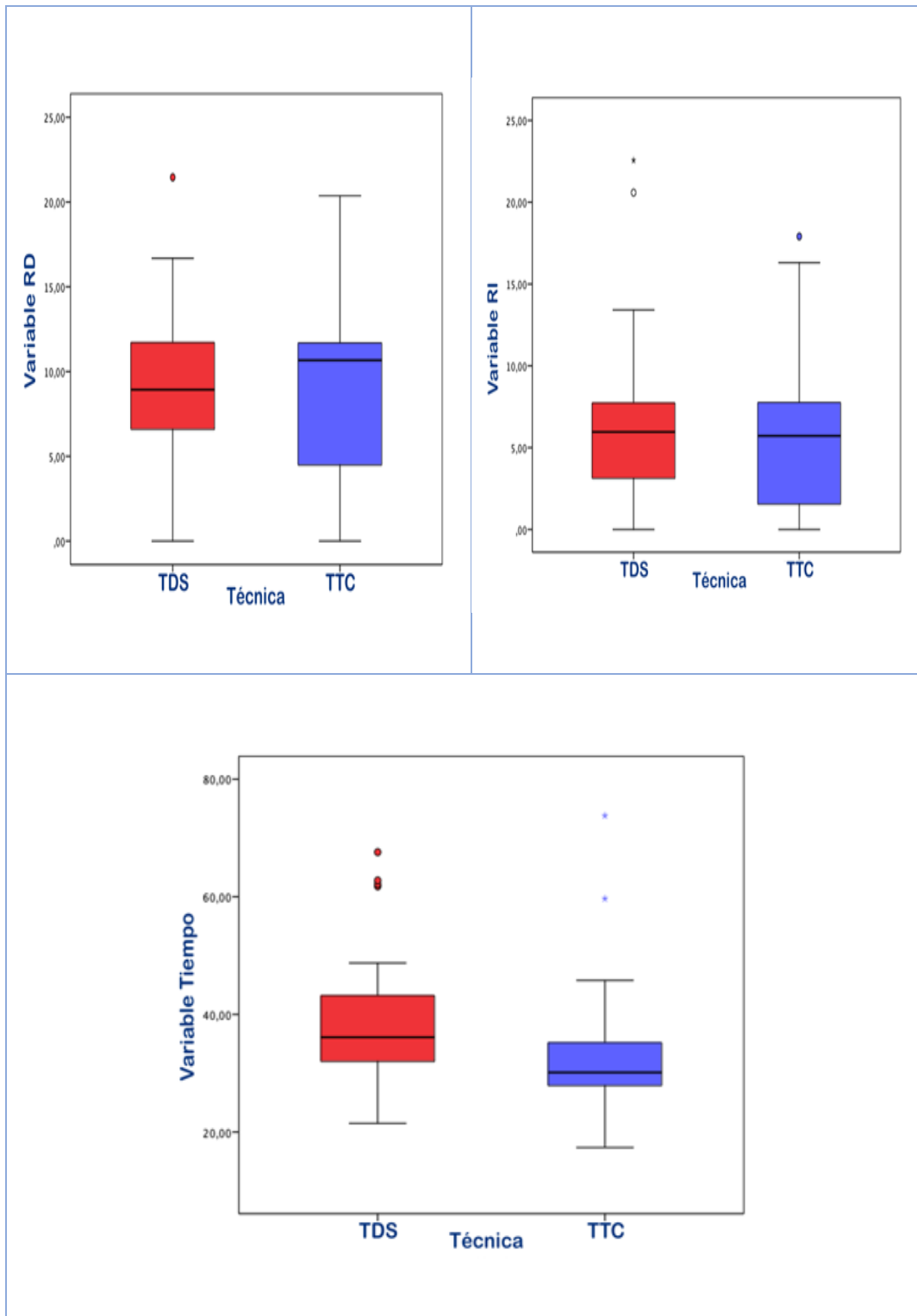
Contribución de los autores, financiación y responsabilidades éticas: Todos los autores han confirmado su autoría, la no existencia de financiación externa y el mantenimiento de la confidencialidad y respeto de los derechos de los pacientes en el documento de responsabilidades del autor, acuerdo de publicación y cesión de derechos a EMERGENCIAS.

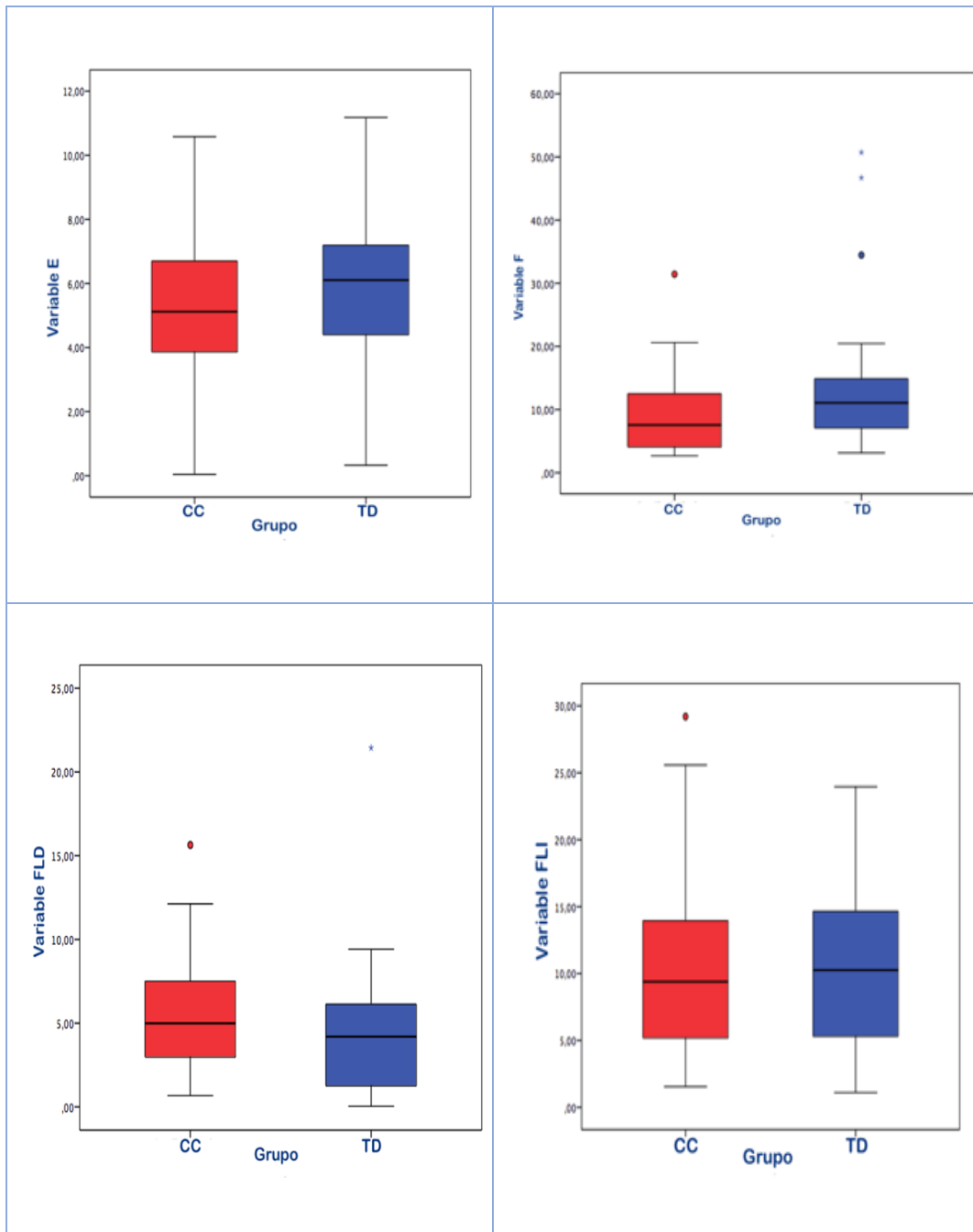
Artículo no encargado por el Comité Editorial y con revisión externa.

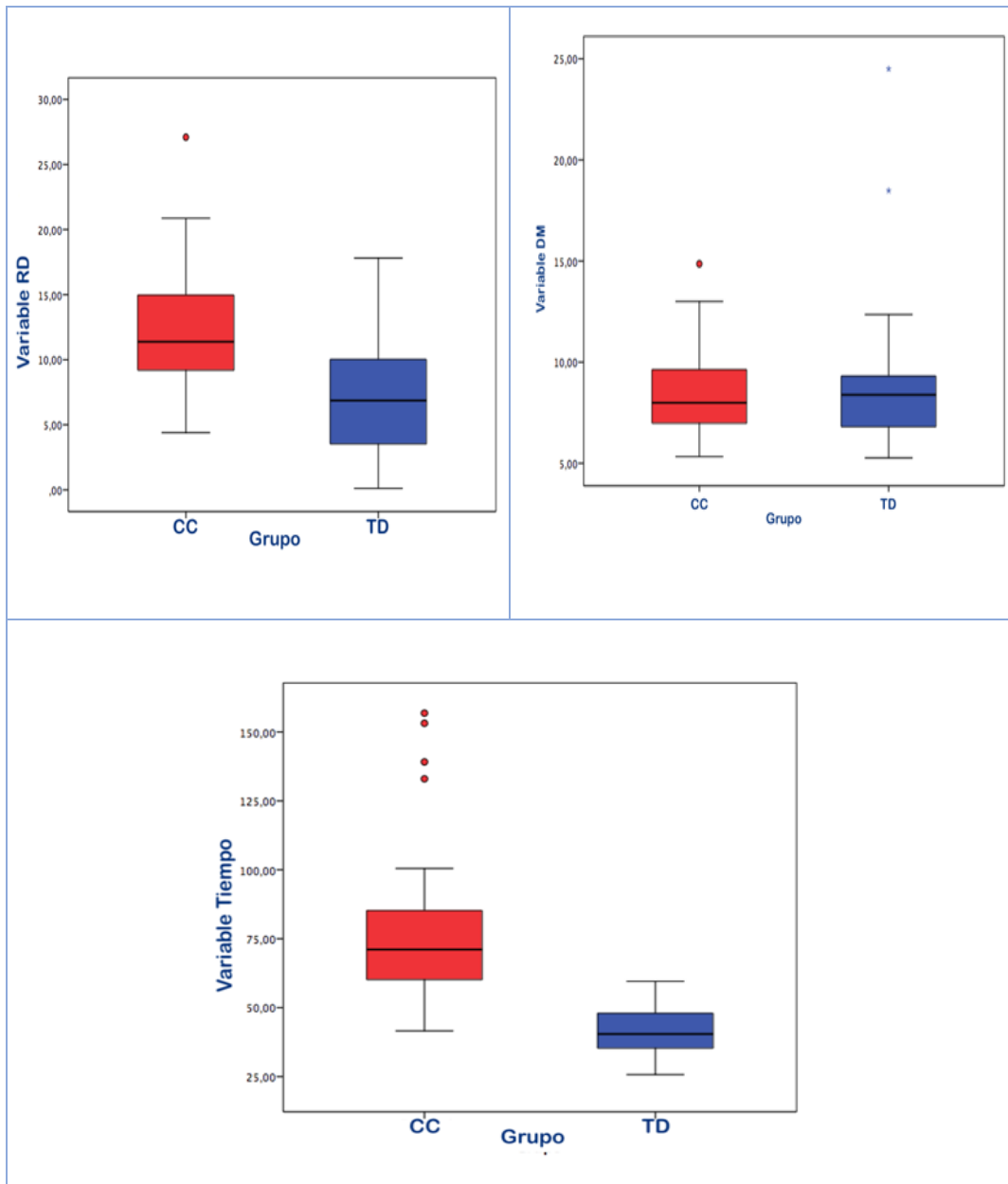
Editor responsable: Aitor Alquézar Arbé.

Correspondencia: Manuel Pardo Ríos. Facultad de Ciencias de la Salud. UCAM Universidad Católica de Murcia. Campus de los Jerónimos, N° 135, Guadalupe 30107, Murcia, España. DOI: 10.55633/s3me/08.2023

ANEXO 3. COMPARATIVA MEDIANTE DIAGRAMA DE CAJAS DE LOS RESULTADOS DE LAS VARIABLES MEDIDAS CON TDS Y TTC.



ANEXO 4. COMPARATIVA MEDIANTE DIAGRAMA DE CAJAS DE RESULTADOS DE LAS VARIABLES MEDIDAS CON CC Y TD.



APÉNDICE 1. INDICADORES DE CALIDAD DE LAS REVISTAS CIENTÍFICAS DONDE SE HAN PUBLICADO LOS ESTUDIOS

ARTÍCULO I

Ana Nicolás Carrillo, Javier Ruiz Casquet, Raquel Gordillo Martín, Francisco Moya Escudero, Laura Juguera Rodríguez, María Isabel Hontoria Hernández, Inmaculada Nicolás Carrillo, Manuel Pardo Ríos.

“Análisis biomecánico de movimiento durante extricación de casco de motoristas: estudio comparativo de la eficacia de dos técnicas”

Fecha de Publicación: ABRIL 2023 **Volumen:** 35 **Páginas:** 150-7

Revista: EMERGENCIAS **ISSN:** 1137-6821

Ranking: Q1 (4/32) **Journal Impact Factor:** 5,5

ARTÍCULO II

Ana Nicolás Carrillo, Javier Ruiz Casquet, Yasmin Ramírez Rojas, MaryBeth Horodyski, Catalina Baez, Silvia Sánchez-Arévalo Morato, Manuel Pardo Ríos.

“¿Cuál es la mejor opción de transferencia del paciente con sospecha de lesión medular espinal a la llegada al hospital? Análisis biomecánico de desalineación de la columna cervical durante simulación”

Fecha de Publicación: FEBRERO 2024 **Volumen:** 36 **Páginas:** 72-8

Revista: EMERGENCIAS **ISSN:** 1137-6821

Ranking: Q1 (4/32) **Journal Impact Factor:** 5,5

ARTÍCULO III:

Ana Nicolás Carrillo, Javier Ruiz Casquet, Juan José Hernández Morante, Francisco Gallego España, MaryBeth Horodyski, Catalina Baez, Manuel Pardo Ríos.

“Cervical misalignment in motorcyclists in relation to new helmet removal recommendations shown with augmented reality resources: a biomechanical analysis”

Fecha de Publicación: MARZO 2024 **Volumen:** 10 **Páginas:** e27428

Revista: HELIYON **eISSN:** 2405-8440

Ranking: Q2 (23/73) **Journal Impact Factor:** 4,0

APÉNDICE 2. PROYECTO DE BECA DE AYUDA A LA INVESTIGACIÓN DE LA FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE MEDICINA DE URGENCIAS Y EMERGENCIAS 2024

Apéndice 2.1 Memoria Proyecto de solicitud Becas FEMUE 2024

 FEMUE Fundación Española de Medicina de Urgencias y Emergencias		Formulario de Solicitud para becas	
DATOS DE LA SOLICITUD			
PROYECTO			
Título del Proyecto:		EXTRACCIÓN Y AUTO-EXTRACCIÓN: ANÁLISIS BIOMECÁNICO Y TEMPORAL PARA LA EXCELENCIA EN LA ATENCIÓN EXTRAHOSPITALARIA AL TRAUMA	
Area prioritaria:		Atención al trauma mayor en Urgencias y Emergencias. Extrahospitalarias	
Tipo de estudio (EC/Epidemiológico//Otros):		De análisis biomecánico	
Unicéntrico / Multicéntrico:		Multicéntrico	
Lugar o medio de notificación			
Dirección/Población/CP		Calle Norte número 45, 30500 Molina de Segura, Murcia	
Teléfono:		+34 628 837 437	
Mail		Nicolascarrilloana2@gmail.com	
Preferencias a efectos de notificación Postal <input type="checkbox"/> Correo Electrónico <input checked="" type="checkbox"/>			
CENTRO DONDE SE VA A REALIZAR EL PROYECTO			
Nombre Centro		Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM)	
Dirección/Población/CP		Av. de los Jerónimos, 135, 30107 Guadalupe de Maciascoque, Murcia	
Teléfono:		968 27 88 00	
INVESTIGADOR PRINCIPAL			
Nombre:		Ana Nicolás Carrillo	
DNI/Pasaporte:		48664911-Q	
Centro		UCAM	
Dirección/Población/CP		Calle Norte número 45, 30500 Molina de Segura, Murcia	
Teléfono:		+34 628837437	
Correo electrónico:		Nicolascarrilloana2@gmail.com	
		Firma del responsable del Proyecto 	
INVESTIGADOR COLABORADOR 1		MANUEL PONS CLARAMONTE <small>Firmado digitalmente por MANUEL PONS CLARAMONTE Nombre de reconocimiento DN(oid)=MANUEL PONS CLARAMONTE, serialNumber=3.2.2000.1.1.1, givenName=MANUEL, sn=PONS CLARAMONTE, o=CIUDADANOS de ACCI, c=ES Fecha: 2024.01.23 19:54:49 +01'00'</small>	
Manuel Pons Claramonte			
INVESTIGADOR COLABORADOR 2		 <small>S. Nieto</small>	
Sergio Nieto Caballero			
<p>(Los datos personales que aparecen en este documento sólo serán utilizados para los fines previstos en la correspondiente Convocatoria o para su tratamiento automatizado con fines estadísticos con las garantías previstas en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal).</p>			



MEMORIA DE SOLICITUD BECAS FEMUE

Expediente nº

TITULO: EXTRACCIÓN Y AUTO-EXTRACCIÓN: ANÁLISIS BIOMECÁNICO Y TEMPORAL PARA LA EXCELENCIA EN LA ATENCIÓN EXTRAHOSPITALARIA AL TRAUMA MAYOR			
Solicitante:			
Investigador/a principal:			
TIPO DE PROYECTO:	INDIVIDUAL	MULTICENTRICO	<input checked="" type="checkbox"/>
NOMBRE COORDINADOR/A (MULTICENTRICOS DE VARIAS SOLICITUDES):			
Resumen	(Máximo 250 palabras)		
<p>La extracción vehicular de pacientes con sospecha de lesión medular requiere valorar el balance entre la velocidad del procedimiento y restricción del movimiento de la columna vertebral. Para ello, ciertas variables del sujeto accidentado (talla, peso, índice de masa corporal, edad y agilidad física) pueden influir en la capacidad para poder llevar a cabo una maniobra de auto-extracción minimizando la desalineación vertebral. También pueden incidir otras características como el tipo de vehículo accidentado, deformidad de la cabina, etc que suponen un mayor grado de complejidad tanto en extracción como en auto-extracción pudiendo repercutir sobre la desalineación de la columna vertebral. Como objetivo principal se define comparar la desalineación de la columna vertebral durante diversas técnicas de extracción de víctimas simuladas, incluyendo auto-extracción y extracción reglada, en vehículo ligero (turismo) y pesado (camión); utilizando diferentes ángulos (ángulo 0º, rotación a 90º y ángulo 60º.) y herramientas (sin instrumental, con dispositivo de extracción tipo boa, y con chaleco de extracción vehicular) y valorando el tiempo empleado en cada técnica de extracción.</p> <p>Se trata de un estudio multicéntrico y transversal, utilizando análisis biomecánico con sensores inerciales (STT Systems iSen 3D Motion Analyser®) para medir la desalineación vertebral en la columna espinal durante la extracción de pacientes con sospecha de lesión medular. Se contempla un reclutamiento de al menos 100 participantes, divididos en dos grupos: Grupo Rescate y Grupo Pacientes. Se emplearán modelos de reconstrucción digital 3D (Realidad Virtual Aumentada) y análisis estadístico para evaluar los resultados.</p>			



TITLE Extrication and Auto-Extrication: Biomechanical and Temporal Analysis for Excellence in Extra-Hospital Care for Major Trauma

SUMMARY (Objectives and methodology):

The vehicular extraction of patients suspected of spinal injury requires assessing the balance between the speed of the procedure and the restriction of spinal movement. For this, certain variables of the injured subject (height, weight, body mass index, age, and physical agility) can influence the ability to perform a self-extraction maneuver while minimizing spinal misalignment. Other factors such as the type of vehicle involved in the accident, cabin deformity, etc., can also have an impact, adding a greater degree of complexity to both extraction and self-extraction, potentially affecting spinal alignment. The main objective is to compare spinal misalignment during various extraction techniques of simulated victims, including self-extraction and regulated extraction, in light (passenger car) and heavy (truck) vehicles; using different angles (0° angle, 90° rotation, and 60° angle) and tools (without instruments, with a boa-type extraction device, and with a vehicular extraction vest), and evaluating the time spent on each extraction technique.

This is a multicentric and cross-sectional study, using biomechanical analysis with inertial sensors (STT Systems iSen 3D Motion Analyser®) to measure spinal misalignment in the spinal column during the extraction of patients suspected of spinal injury. The recruitment of at least 100 participants is contemplated, divided into two groups: Rescue Group and Patient Group. Digital 3D reconstruction models (Augmented Virtual Reality) and statistical analysis will be employed to evaluate the results.

MEMORIA DE SOLICITUD BECAS FEMUE

Expediente nº

Solicitante:

ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA

Los traumatismos graves son una de las principales causas de muerte mundial, derivándose de esta patología 45 millones anuales de afectados por discapacidad moderada-grave¹. La mayor parte de muertes se producen en la escena o en las siguientes 4 horas al traumatismo^{2,3}. El trauma mayor es un problema de gran magnitud, y la mejoría en la calidad de la atención debe considerarse un objetivo esencial para los servicios sanitarios⁴.

Los términos "*hora dorada*" y "*10 minutos de platino*" fueron acuñados para focalizar la atención inicial en la búsqueda de lesiones que representan las amenazas más importantes para la vida^{5,6}, sobre todo por considerarse una patología tiempo-dependiente. Pero además del tiempo, en pacientes que han sufrido un trauma mayor, se presta especial atención a la correcta movilización e inmovilización debido a que debe protegerse la columna vertebral ante la sospecha de lesión medular (SLM)⁷.

Tradicionalmente se ha discutido en las sociedades científicas sobre la mejor estrategia para la atención inicial al trauma, generando debates sin lograrse un consenso. El debate se suele centrar



entre: “cargar y correr” (*scoop and run*) o “quedarse y hacer” (*stay and play*)⁸. Hay que tener en cuenta el tiempo empleado en el ámbito prehospitalario presenta una correlación directa con la muerte hospitalaria para traumas de cualquier tipo⁹, aunque también es cierto que si no se solucionan en la escena las lesiones potencialmente mortales, aumenta la mortalidad en la primera hora. Históricamente se ha aceptado un uso relativamente frecuente de los dispositivos de restricción de movimiento. En los últimos años, ha surgido una corriente científica donde se defiende la “inmovilización selectiva”, realizando la restricción de movimiento a pacientes que cumplan diversos criterios (p.e. *C-Spine Rule*, *NEXUS*, etc.)⁷ y, hasta incluso la auto-extracción (AE). La AE podría ofrecer ventajas al paciente que ha sufrido un accidente de tráfico y se encuentra hemodinámicamente estable^{10,11,12,13}. En este punto donde se asume que no todos los pacientes necesitan inmovilización o que no todos los pacientes se van a beneficiar de la misma, encontramos los estudios de Dixon et al^{14,15}, donde se plantea que en la AE mediante órdenes verbales se obtiene menor grado de la desalineación vertebral (DV) que en las técnicas clásicas de rescate. Otros trabajos posteriores, van en la misma línea y, con la medición de DV mediante análisis de movimiento, concluyen que la AE presenta un movimiento igual o menor a técnicas de extracción clásicas^{16,17,18,19}. En la mayor parte de procedimientos asistenciales y manuales sigue habiendo una resistencia a incorporar estos cambios debido a la escasa literatura científica. Como ejemplo de este hecho, en una revisión *Cochrane*, sobre la utilidad de los collarines cervicales, se presentaba que no habían demostrado su utilidad en la prevención de lesiones secundarias pero que sí que había evidencia del aumento de morbi-mortalidad por su uso²⁰. Por lo expuesto, se considera que una mayor investigación en AE, considerando vehículos diferentes a los referidos en la literatura (p.e. vehículos pesados), podría ofrecer resultados científicos que orientaran un mejor manejo de los pacientes con SLM. Por otro lado, gran parte del tiempo en escena se ve influido por la fase de extracción de la víctima, para la cual se disponen de distintos métodos y herramientas. Los primeros intervinientes, habitualmente bomberos, se encuentran formados en primeros auxilios y se comunican con los sanitarios para la decisión del método de extracción, pero la recomendación de prioridad en los planes para extraer a la víctima (ordenadamente 0º, 90º, 60º)²¹, en ausencia de riesgo, no dispone de evidencia científica en la que sustentarse, respecto de la DV producida. Además, se estima una duración aproximada del plan de emergencia en unos diez minutos²¹, tiempo de vital importancia en la patología tiempo-dependiente que nos ocupa.

Por todo ello, se genera la necesidad de investigación en el ámbito de extracción y atención al trauma mayor. Específicamente se busca la obtención de datos que orienten sobre la mejor maniobra disponible; considerando que se logre la extracción en el menor tiempo posible siempre manteniéndose el mayor grado de neutralidad en la columna vertebral factible.

MEMORIA DE SOLICITUD DE BECAS FEMUE

Solicitante:	Expediente nº
BIBLIOGRAFÍA 1. World Health Organization. Injuries and violence [Internet]. 2021 [citado 20-01-2024]. Disponible en: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/injuries-and-violence .	



2. Demetriades D, Kimbrell B, Salim A, Velmahos G, Rhee P, Preston C, et al. Trauma Deaths in a Mature Urban Trauma System: Is “Trimodal” Distribution a Valid Concept? *J Am Coll Surg.* 2005;201:343-8.
3. Demetriades D, Murray J, Charalambides K, Alo K, Velmahos G, Rhee P, et al. Trauma fatalities: time and location of hospital deaths. *J Am Coll Surg.* 2004;198:20-6.
4. Rossiter ND. “Trauma—the forgotten pandemic?” *Int Orthop.* 2022; 46:3-11.
5. American College of Surgeons. Trauma de la Columna Vertebral y Médula Espinal. En: American College of Surgeons, editor. *ATLS Soporte Vital Avanzado al Trauma.* Chicago: American College of Surgeons; 2018.p. 130-146. En.
6. National Association of Emergency Medical Technicians, National Association of Emergency Medical Technicians. *Prehospital Trauma Life Support.* 9a. Burlington, Massachusetts, E.U.A: Jones & Bartlett Learning; 2020. 492 p.
7. Asociación Nacional de Técnicos de Emergencias Médicas (NAEMT). Trauma espinal. En: Ludwig SC, Thomson AE, Ye I, editores. *PHTLS: soporte vital prehospitalario para traumatismos.* Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning; 2023. p.303-50. En: 10ª ed.
8. Smith RM, Conn AK. Prehospital care – Scoop and run or stay and play?. *Injury.* 2009;40 (Suppl 4):S23-6.
9. Gauss T, Ageron FX, Devaud ML, Debaty G, Travers S, Garrigue D, et al. Association of Prehospital Time to In-Hospital Trauma Mortality in a Physician-Staffed Emergency Medicine System. *JAMA.* 2019;154:1117-24.
10. Stevens AC, Trammell TR, Billows GL, Ladd LM, Olinger ML. Radiation exposure as a consequence of spinal immobilization and extrication. *The Journal of emergency medicine.* 2015 ;48:172-7.
11. Cowley A, Hague A, Durge N. Cervical spine immobilization during extrication of the awake patient: a narrative review. *European Journal of Emergency Medicine.* 2017;24:158-61.
12. Cowley A, Nelson M, Hall C, Goodwin S, Kumar DS, Moore F. Recommendation for changes to the guidelines of trauma patients with potential spinal injury within a regional UK ambulance trust.



British Paramedic Journal. 2022; 7:59-67.

13. Nutbeam T, Fenwick R, Smith JE, Dayson M, Carlin B, Wilson M, Wallis L, Stassen W. A Delphi study of rescue and clinical subject matter experts on the extrication of patients following a motor vehicle collision. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2022; 30:41.
14. Dixon M, O'Halloran J, Cummins NM. Biomechanical analysis of spinal immobilisation during prehospital extrication: a proof of concept study. *Emerg Med J.* 2013; 0:1-5.
15. Dixon M, O'Halloran J, Hannigan A, Keenan S, Cummins NM. Confirmation of suboptimal protocols in spinal immobilisation?. *Emerg Med J.* 2015; 32:939-45.
16. Häske D, Schier L, Weerts JO, Groß B, Rittmann A, Grützner PA, Münzberg M, Kreinest M. An explorative, biomechanical analysis of spine motion during out-of-hospital extrication procedures. *Injury.* 2020; 51:185-92.
17. Nutbeam T, Fenwick R, May B, Stassen W, Smith JE, Wallis L, Dayson M, Shippen J. The role of cervical collars and verbal instructions in minimising spinal movement during self-extrication following a motor vehicle collision-a biomechanical study using healthy volunteers. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2021; 29:1-9.
18. Nutbeam T, Fenwick R, May B, Stassen W, Smith JE, Bowdler J, Wallis L, Shippen J. Assessing spinal movement during four extrication methods: a biomechanical study using healthy volunteers. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2022; 30:7.
19. Nutbeam T, Fenwick R, May B, Stassen W, Smith J, Shippen J. Maximum movement and cumulative movement (travel) to inform our understanding of secondary spinal cord injury and its application to collar use in self-extrication. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2022; 30:1-5.
20. Kwan I, Bunn F, Roberts IG. Spinal immobilisation for trauma patients. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2001; 2: 1-18.
21. Asociación Profesional de Rescate en Accidentes de Tráfico (APRAT), Dirección General de Tráfico (DGT). MANUAL BÁSICO DE RESCATE EN ACCIDENTES DE TRÁFICO [Internet]. España: Dirección General de Tráfico; 2019 [citado 20-01-2024]. 128-19-003-4 Disponible en: [[https://aprat.es/manual-basico-de-rescate-en-accidentes-de-traffic-](https://aprat.es/manual-basico-de-rescate-en-accidentes-de-traffic)



aprat-dgt/)(<https://aprat.es/manual-basico-de-rescate-en-accidentes-de-trafico-aprat-dgt/>)

22. Mayr S, Buchner A, Erdfelder E, Faul FA. short tutorial of GPower. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*. 2007; 3: 51-59.

23. Nicolás-Carrillo A, Ruiz-Casquet J, Hernández-Morante JJ, Gallego-España F, Horodyski MB, Baez C, Pardo-Ríos M. Cervical Misalignment in motorcyclist in relation to New Helmet Removal Recommendations shown with augmented reality resources: a biomechanical analysis. 2024: *En revisión*. Heliyon (Elsevier).

24. © STT SYSTEMS. Guía para colocar el sensor.2022: 1-7.

MEMORIA DE SOLICITUD DE BECAS FEMUE

Solicitante:	Expediente nº
HIPÓTESIS DEL TRABAJO	
<p>Se define como hipótesis principal del proyecto que la extracción en pacientes con SLM requiere valorar el balance entre la velocidad del procedimiento y restricción del movimiento de la columna vertebral. Se propone que el registro cuantitativo del tiempo y los grados de DV resultantes de cada técnica de extracción proporcionará una mejor comprensión de su eficiencia. Además, se hipotetiza que variables del entorno y características del sujeto accidentado, como la talla, el índice de masa corporal (IMC), la edad y la agilidad física, influyen significativamente en la capacidad para realizar la AE con la mínima DV. Se sugiere también que la AE en el contexto de vehículos pesados, como un camión, presenta una mayor complejidad y, por ende, podría generar una mayor DV, incluso con la adaptación adecuada de las técnicas empleadas.</p>	
OBJETIVOS	
<p>Objetivos principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comparar la desalienación de la columna vertebral producida durante la extracción de víctima-simulada con diversas técnicas (AE, extracción reglada sin instrumental, con boa de rescate, y chaleco de extracción vehicular en ángulo 0º, rotación a 90º y ángulo 60º). • Determinar el tiempo empleado en cada una de las técnicas de extracción estudiadas. 	



<p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar la desalineación vertebral producida en extracción en vehículo pesado con AE frente a extracción reglada por rescatadores. • Evaluar el tiempo necesario para extracción en vehículo pesado con AE frente a extracción reglada. • Estimar la desalineación vertebral producida en extracción en vehículo ligero con técnica de ángulo 0º, rotación a 90º y ángulo 60º. • Calcular el tiempo empleado en extracción en vehículo ligero con técnica de ángulo 0º, rotación a 90º y ángulo 60º.

MEMORIA DE SOLICITUD DE BECAS FEMUE

Expediente nº

<p>Solicitante:</p>	
<p>METODOLOGÍA (Máximo 3 páginas)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diseño del estudio Estudio multicéntrico transversal comparativo, de simulación clínica, para determinación, mediante análisis biomecánico con sensores inerciales (SI), la DV producida en la columna espinal durante la extracción de pacientes con SLM. Este trabajo se encuentra aprobado por un Comité de Ética (Institución y número de referencia facilitado a la secretaria FEMUE) y contempla rigurosamente los principios éticos de la Declaración de Helsinki. Todos los participantes cumplimentarán un documento de consentimiento informado de participación y sus datos serán codificados con una secuencia simple de números y letras, para que los investigadores no identifiquen la correspondencia entre voluntario-interviniente y datos obtenidos. - Población en estudio. Selección de la muestra Mediante convocatoria abierta se hará un reclutamiento para una muestra estimada de al menos 100 participantes, procedentes de diferentes comunidades autónomas (Madrid, Castilla la Mancha, Cataluña, País Vasco, Región de Murcia, Comunidad Valenciana, Asturias, La Rioja). Los voluntarios participantes serán aleatorizados (1:1) en dos grupos: <ul style="list-style-type: none"> • Grupo Rescate (GR). Voluntarios con rol rescatador, siendo profesionales de rescate en accidentes de tráfico (PRAT), es decir, rescatadores en activo, que actúan como primeros intervinientes en accidentes de vehículos motorizados habitualmente. Realizarán la extracción de la víctima simulada, del habitáculo de un vehículo pesado (p.e. camión) y vehículo ligero (p.e. turismo). Se espera que representen el 80% del 	



<p>total de voluntarios. Complimentarán, una ficha de filiación básica con su sexo, edad, talla (cm), peso (kg), profesión, lugar de trabajo, experiencia laboral, experiencia de asistencia en emergencias y formación específica como primeros intervinientes en atención en accidentes de tráfico. Los voluntarios-rescatadores mediante aleatorización simple son asignados a un grupo, con cuatro componentes cada uno.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grupo Pacientes (GP). Voluntarios con rol víctima-simulada que desempeñarán el rol de conductor en camión accidentado sin vuelco (contexto de vehículo pesado) y conductor en turismo sin vuelco (contexto de vehículo ligero), consciente y con signos vitales estables. Representarán aproximadamente el 20% del total de participantes. Complimentarán una ficha de datos socio-demográficos y antropométricos cómo son: sexo, edad, talla (cm), peso (kg), etc. <p>Criterios de inclusión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adulto mayor de 18 años con modelo de consentimiento informado proporcionado por el grupo de investigación leído, comprendido y firmado. • Bombero en activo con formación como primeros intervinientes en la atención en accidentes de tráfico (<u>solo aplicable al GR</u>). <p>Criterios de exclusión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presentar lesión física que no permita la realización de la actividad-experimento. • Ausencia de actitudes o aptitudes para seguir las indicaciones del grupo de investigación. <p>- VARIABLES PRINCIPALES Y SECUNDARIAS La variable principal a analizar es el rango de movimiento en flexo-extensión vertebral. Las variables secundarias analizadas serán: tiempo de maniobras, rangos de movimiento de lateralización cervical derecha e izquierda, rangos de movimiento de rotación cervical derecha e izquierda y desalineación vertebral global (DVG). DVG será calculada como el sumatorio de la desalineación vertebral respecto del eje neutro (rango de movimiento flexo-extensión + rango de movimiento lateralización derecha e izquierda + rango de movimiento rotación derecha e izquierda).</p> <p>- PROCEDIMIENTO Contexto y material Para el experimento-simulación, como elementos de contexto, se precisan: un vehículo pesado tipo camión (CSC5200GXFG®) y un vehículo ligero tipo turismo (Renault Clio®). El equipo instrumental auxiliar será una tabla espinal de rescate (TE), un dispositivo de rescate para extracción de víctimas (SNAID®), un chaleco de extracción vehicular o chaleco de Kendrick (KED®) y una grúa hidráulica articulada. Las técnicas de extracción serán realizadas sin instrumental (solo con auxilio de TE; procedimiento desarrollado en el texto), con SNAID® y KED®.</p> <p>Técnicas de extracción de la víctima-simulada: contexto vehículo pesado</p> <ul style="list-style-type: none"> • AE (AE). Se proporcionan, a la víctima-simulada, la adaptación de las ordenes descritas por Dixon et al.¹⁴ para vehículo pesado elaboradas <i>ad hoc</i> para este estudio (tabla 1)



gráficamente representadas en la figura 1.

- **Extracción PRAT (EPRAT).** La víctima-simulada es extraída por la puerta del conductor, realizando una rotación de 90°. Un rescatador se sitúa detrás de la víctima y asume el control cervical bimanual. Dos rescatadores se colocan cada uno a un lado de la víctima-simulada e introducen una mano entre el asiento y el glúteo de la víctima y otra bajo su axila. El cuarto rescatador asume la sujeción y rotación de las EE.II.²¹. Tras finalizar la maniobra de rotación de la víctima el rescatador dispuesto a la derecha de la víctima, cambia de posición para presentar TE y se realiza la extracción del vehículo.

Técnicas de extracción de la víctima-simulada: contexto vehículo ligero

- **Extracción portón trasero a 0° (E0).** La víctima-simulada es extraída por el portón trasero del vehículo, procurando una rotación de 0° de la columna vertebral. Un rescatador manipulará TE asumiendo su introducción entre la víctima y el respaldo del asiento, asegurándose que llega a la parte final liberando en todo momento las EEII de la víctima. Un rescatador asume control cervical bimanual desde los asientos traseros. Dos rescatadores se colocan cada uno a un lado de la víctima-simulada colocando una mano debajo del glúteo y otra debajo del muslo en la región próxima a la rodilla. Se eleva a la víctima unos centímetros del asiento y se pivota de tal forma que pasa de posición vertical a horizontal.
- **Extracción puerta copiloto a 90° (E90).** La víctima-simulada es extraída por la puerta del copiloto, teniendo que rotarla 90°. Un rescatador se coloca detrás de la víctima y asume el control cervical bimanual. Dos rescatadores se colocan cada uno a un lado de la víctima-simulada e introducen una mano entre el asiento y el glúteo de la víctima y otra bajo su axila. El cuarto rescatador asume la sujeción y rotación de las EEII²¹. Tras finalizar la maniobra de rotación de la víctima el rescatador dispuesto a la izquierda de la víctima, cambia de posición para presentar TE y se realiza la extracción.
- **Extracción puerta trasera contralateral a 60° (E60).** La víctima-simulada es extraída por la puerta contralateral de la parte posterior. Un rescatador asume el control cervical bimanual de la víctima. Dos rescatadores se sitúan a los lados de la víctima y colocan una mano entre el asiento y el glúteo de la víctima y otra bajo la axila. El cuarto rescatador asume el control del TE y en el primer momento de intervención manipula el respaldo de la víctima para bajarlo. Tras bajar el respaldo, se coloca TE bajo la pelvis de la víctima y con movimiento cortos y controlados se va deslizando sin elevar hasta alinearla longitudinalmente en TE.

- **Análisis de datos**

Análisis biomecánico

El análisis del movimiento se realizará mediante el sistema de SI STT-IWS (STT Systems iSen 3D Motion Analyser®). Estos SI están compuestos por un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro. Entre sus características destacar: frecuencia de envío de 8kHz / 10-bit y



precisión estática *Pitch* estático $<0.5^\circ$, *Roll* estático $<2^\circ$, *Heading* estático $<2^\circ$. Los SI operan en una red *Wi-Fi* estándar. Los datos de los movimientos proporcionados se generan durante la adquisición de los movimientos de manera automática y en tiempo real, combinando valores de los 3 ejes espaciales (X, Y, Z). El modelo biomecánico de elección es el de análisis de movimiento columna vertebral. A la víctima estandarizada se le colocan 4 SI en referencias anatómicas concretas (Figura 2): SI 1 o cefálico (parte superior de la cabeza), SI 2 o cervical (vértebras C5-C7), SI 3 o dorsal (vértebras D6-D8) y SI 4 o sacro (sacro).

Reconstrucción Digital 3D

Se realizará una reconstrucción digital 3D de las técnicas de extracción realizadas y del proceso de AE diseñada con el programa *Blender*® y exportada en formato GLB. Se emplearán modelos anatómicos que presenten las proporciones corporales estándar. Los archivos se subirán a la plataforma *Sketchfab*® para poder interactuar con ellos. Se proporcionará un enlace QR de tal manera que las reconstrucciones podrán ser empleadas como realidad virtual aumentada (RA).

Análisis estadístico

Los cálculos del tamaño de la muestra se realizaron utilizando el software *G.Power 3.1*® (Düsseldorf, Alemania)²². El tamaño de la muestra se determinó con un intervalo de confianza (IC) del 95% y una potencia del 80%. El tamaño de la muestra se calculó como suficiente para detectar una diferencia en el efecto entre grupos o un tamaño de efecto (d) correspondiente a un cambio del 10% en la variable principal, que en este caso particular es la flexo-extensión de la columna cervical. La desviación estándar (DE) a priori se derivó de nuestro estudio previo²³. El programa indicó un tamaño de muestra inicial requerido de 13 sujetos en cada grupo. Sin embargo, considerando una tasa de abandono potencial del 5%, se calculó un tamaño de muestra mínimo final de 15 sujetos por grupo. Los datos serán exportados al programa *Microsoft Excel*® y se examinarán por medio del programa *IBP SPSS Statistics*® (versión 24). Se calculará la frecuencia, rango, media, DE e IC al 95%.

Se empleará el test de Shapiro-Wilk para evaluación de la normalidad de los datos. Para comparar los resultados obtenidos se realizará la prueba T de Student para datos apareados o pruebas no paramétricas equivalentes, en el caso que los datos no tengan normalidad. Se admitirán diferencias estadísticamente significativas si $p < 0.05$.

- Aspectos ético-legales (cumplimiento BPCs, seguro...)

No hay riesgos previsible para los voluntarios en la realización de esta experiencia-experimento ni ha sido considerado, por el Comité de Ética, necesario para estudios similares realizados con anterioridad.



MEMORIA DE SOLICITUD DE BECAS FEMUE

Expediente nº

Solicitante:	
Plan de trabajo	<i>(Máximo 1 página)</i>
<p>- Etapas de desarrollo y distribución de tareas de todo el equipo investigador:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda Bibliográfica. <i>Investigadora principal, investigador colaborador 1 y 2.</i> • Diseño del Estudio. Planteamiento y desarrollo del tipo de estudio a realizar de forma metódica y detallada. <i>Investigador principal e investigador colaborador 1.</i> • Fase de Prueba. Reunión de los investigadores para realizar una prueba del estudio diseñado y poder advertir posibles errores, inconvenientes o dificultades que puedan entorpecer el desarrollo del estudio. <i>Investigadora principal, investigador colaborador 1 y 2.</i> • Corrección de errores. Reflexión sobre los posibles problemas presentados en la Fase de Prueba. Puesta en común de lo observado por los investigadores, proposición de soluciones y subsanación de los mismos. <i>Investigadora principal, investigador colaborador 1 y 2.</i> • Fase de Campo. Los investigadores se organizarán, si les resulta posible, para asistencia de los tres a todas las experiencias, experimentos-simulación. <i>Investigadora principal, investigador colaborador 1 y 2.</i> • Análisis estadístico de datos obtenidos en los diferentes experimentos. <i>Investigador colaborador 2 con la colaboración de estadista para el análisis de los datos.</i> • Redacción del estudio. <i>Investigadora principal, investigador colaborador 1 y 2.</i> • Elaboración material complementario RA. <i>Investigadora principal e investigador colaborador 2. Colaboración para el diseño del material complementario de RA por Técnico especialista en Elaboración de Contenidos Digitales.</i> • Publicación y proyección científica. Uno de los investigadores realizará los trámites para presentación del trabajo a la comunidad científica, realizando su publicación; modelo Open Access®. <i>Investigador colaborador 1.</i> • Entrega de Resultados del Proyecto. <i>La investigadora principal presentará los resultados, tal y como se especifica en las bases de la beca.</i> <p>- Lugar de realización del proyecto y centros implicados:</p> <p>Se implicará a bomberos que participen de manera voluntaria, municipales y de los diferentes consorcios del panorama nacional (España). Considerándose en el plan de trabajo las comunidades autónomas de: Madrid, Castilla la Mancha, Cataluña, País Vasco, Región de Murcia, Comunidad Valenciana, Asturias y La Rioja.</p>	



- Cronograma global del proyecto con su correspondiente inicio y finalización

Actividades (meses)	PRIMER AÑO				SEGUNDO AÑO				
	04-06	07-09	10-12	01-03	04-06	07-09	10-12	01-03	04-06
Búsqueda Bibliográfica	X					X	X	X	
Diseño y Fase de Prueba	X								
Fase de Campo		Madrid	Cataluña	Región de Murcia	Asturias				
		Castilla la Mancha	País Vasco	Comunidad Valenciana	La Rioja				
Análisis de datos							X	X	
Corrección de errores	X								
Redacción del estudio						X	X	X	
Elaboración material complementario RVa						X	X	X	
Publicación Artículo								X	X
Entrega Resultados del Proyecto									X

- Descripción de las actividades del proyecto en relación con los recursos solicitados.

Las actividades a realizar implican numerosas extracciones de voluntarios por parte de profesionales APRAT. Por una parte, las extracciones se realizarán en vehículo pesado en las diferentes comunidades autónomas descritas comprando una cabina de camión de desguace para simular el vehículo pesado. Por otra parte, se realizarán extracciones en vehículo ligero tipo turismo.

Reproducir la fase de investigación en las diferentes CCAA que se enumeran tiene un coste económico que repercute sobre los investigadores, en este caso, los recursos otorgados también irán en parte destinados a este fin.

MEMORIA DE SOLICITUD DE BECAS FEMUE

Expediente nº

Experiencia del equipo investigador en relación con el área de estudio (5 últimos años)

(Máximo 1 página)

- Breve resumen de la actividad investigadora del IP y del equipo de investigación en proyectos similares al presentado o en el área del estudio:

El equipo de investigación, tanto al completo como sus miembros en colaboración con otros autores, ha participado en estudios que empleaban el mismo sistema de captura de movimiento (SI STT-IWS System®) para el análisis de la desalineación cervical en el contexto de la atención al paciente que ha sufrido un trauma grave y con SLM. El grupo cuenta con un laboratorio de biomecánica con diversos recursos a su alcance. Entre ellos: SI (STT-IWS System®), Sistemas de Movimiento 3D (Vicon®), plataformas de fuerzas, etc. Sirviéndose de estas herramientas y en colaboración con diversos autores internacionales, se han publicado artículos sobre el entrenamiento de profesionales, la comparación de técnicas y dispositivos de movilización e inmovilización y dispositivos de inmovilización en pediatría.



Las referencias de los trabajos de análisis biomecánico recientemente publicados, han sido facilitados en un documento anexo a la secretaria de FEMUE; incluyéndose un trabajo aceptado para publicación, pero aún en prensa.

El grupo de investigación sigue trabajando en esta línea, realizando experimentos de simulación que se encuentran en revisión para su publicación científica; p.e. un estudio realizado en relación con el análisis biomecánico de desalineación cervical en la comparativa de retirada de casco en motorista accidentado en decúbito supino frente a decúbito prono. Algunos estudios de análisis biomecánico de la columna vertebral, están en fase de desarrollo en la actualidad por parte del grupo; habiendo sido realizados, pero encontrándose en fase de análisis sus resultados. Puede mencionarse, en esta circunstancia, un estudio focalizado en la extracción de víctima-simulada en contexto de espacio confinado en el ámbito militar, otro estudio centrado en la extracción con diferentes dispositivos por parte de bomberos...

Otras líneas de investigación relacionadas con el trauma grave centradas en la docencia también están siendo abordadas. Actualmente se encuentra en desarrollo un estudio multicéntrico relacionado con la metodología *Pit Crew* aplicada al trauma, en el ámbito de emergencias y un proyecto educativo para emergencias en trauma en el ámbito del helitransporte, para el cual se pretende medir la efectividad de la formación con simulación tecnológica (realidad virtual) frente a simulación clásica realizando un estudio pre-post con determinación de biomarcadores de estrés en saliva.

- **Breve resumen de la actividad investigadora global del IP y del equipo investigador:**

Aunque el grueso de la investigación del grupo se encuentra centrado en el ámbito de urgencias y emergencias del trauma mayor, el investigador principal del proyecto se encuentra colaborando también con investigación relacionada con las nuevas tecnologías para la salud (realidad virtual y Metaverso). Además, los investigadores colaboradores ostentan diversas publicaciones en el ámbito de Urgencias y Emergencias (SVB y SBA, atención al paciente en emergencias, atención de emergencias en helitransporte...), siendo tanto autores colaboradores de artículos científicos como colaboradores en la elaboración de diversos capítulos de libros. Las referencias de estos trabajos, enmarcados en diversos aspectos de la atención médica en emergencias, han sido facilitados en un documento anexo a la secretaria de FEMUE.

MEMORIA DE SOLICITUD DE BECAS FEMUE

Expediente nº

Solicitante:	
No ha sido solicitada ni concedida financiación adicional.	



Medios disponibles para la realización del proyecto.

- **Descripción de los recursos necesarios que estén disponibles en el/los centros:**
 - Nueve SI (*STT Systems*®) disponibles para su uso en la recogida de datos por parte del grupo de investigación.
 - Memoria de arranque, generador de red local *wifi* y *software* para coordinación de los SI y generación de resultados.
 - Ordenador portátil, perteneciente al grupo de investigación, para recogida y procesamiento de los datos.
 - Material para correcta fijación y sujeción de los SI al voluntario-víctima en regiones cervical, dorsal y sacra, durante la intervención: parte superior de tejido similar al neopreno de diversas tallas (S, M, L).
 - Tablero espinal.

- **Descripción de los recursos que todavía no están disponibles para la realización del estudio justificando específicamente la necesidad de estos:**
 - Material para correcta fijación y sujeción de los sensores inerciales al voluntario-víctima en regiones cervical, dorsal y sacra, durante la intervención: parte superior de tejido similar al neopreno de diversas tallas (XL, XXL).
Se espera una participación amplia y con diferentes tallas por parte de los voluntario-víctimas, por lo que la adquisición de tallas más grandes del material de sujeción de los sensores se perfila como una necesidad.
 - Material para la correcta fijación y sujeción de los sensores inerciales al voluntario-víctima en la región cefálica y cervical: pasamontañas deportivos.
Para la correcta fijación del sensor cefálico y cervical se precisa dispositivo estilo pasamontañas deportivo- gorro tejido neopreno.
 - Guantes anticorte para el voluntario-víctima.
Tras la realización de una experiencia con bomberos en el contexto de extracción de víctima, se advirtió que se precisa la protección de las manos del voluntario-víctima, ante posibles fragmentos lesivos que puedan encontrarse en el habitáculo del vehículo.
 - Dispositivo de extracción de personas: **SNAID**® y **KED**®.
Tras la realización de otros experimentos en el contexto de extracción de víctima, se advirtió que la boa ofrece una extracción de víctima-simulada en tiempos reducidos con escasa desalineación del eje neutro de la columna vertebral, mientras el chaleco de extracción reporta escasa DV y tiempos reducidos en personal entrenado. Por ello, se considera que la recogida de datos en este proyecto empleando este dispositivo sería muy interesante, y desafortunadamente el grupo de investigación no dispone del mismo en la actualidad.

**FEMUE**Fundación Española de
Medicina de Urgencias
y Emergencias**MEMORIA DE SOLICITUD DE BECAS FEMUE**

Expediente nº

PRESUPUESTO	
Gastos de Personal	
No se precisa contratación de personal externo para realización del proyecto.	0 euros
SUBTOTAL	0 euros
Gastos de Ejecución	
<ul style="list-style-type: none"> • Gastos de material inventariable <ul style="list-style-type: none"> - Boa para extracción de víctimas: SNAID®: 1 Disponible en: https://www.anea.es/2020/02/07/snaid/ - Chaleco de extracción Kendrick Extrication Device (KED®): 1 Disponible en: https://navendi.com/inmovilizacion/10125-inmovilizador-columnar-sed-para-adultos-y-pediatrico-de-spencer.html - Guantes anticorte: 2 (1 talla M; 1 talla L) Disponible: https://www.decathlon.es/es/p/guantes-pesca-submarina-beuchat-sirocco-neopreno-anticortes-1-mm/_/R-p-341769?mc=8749970 - Parte superior neopreno: 2 (1 talla XL; 1 talla XXL) Disponible: https://www.decathlon.es/es/p/chaleco-buceo-subsea-scd-2-5-mm-neopreno/_/R-p-1836?mc=8544611 - Pasamontañas neopreno: 3 (1 talla S; 1 talla M; 1 talla L) Disponible: https://www.decathlon.es/es/p/gorro-surf-neopreno-integral-2-mm/_/R-p-304636?mc=8521998 	- (300 euros) x1 = 300 EUROS -(124 euros) x1 = 124 euros -(11,99 euros) x2 = 23,98 euros -(29,99 euros) x2 = 59,98 euros -(24,99 euros) x3 = 74,97 euros
SUBTOTAL	582,93 euros
<ul style="list-style-type: none"> • Gastos de material fungible <ul style="list-style-type: none"> • Fotocopias para cumplimentación de consentimiento informado y datos personales de los voluntarios. • Solución hidroalcohólica 	
SUBTOTAL	20 euros
<ul style="list-style-type: none"> • Gastos de publicación y difusión de resultados <ul style="list-style-type: none"> • Publicación en Revistas Open Access. • Traducción. 	- 2.500 euros - 500 euros



SUBTOTAL	3.000 euros
<ul style="list-style-type: none"> • Otros gastos a especificar <ul style="list-style-type: none"> - Desplazamiento y transporte investigadores. - Manutención investigadores. - Alojamientos investigadores. 	2000 euros
SUBTOTAL	5602,93 euros
PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO	
<p>Una parte del presupuesto se destina a la difusión de resultados y producción científica. Debido a que se dispone de la mayor parte de material y dispositivos para la realización del proyecto, el resto del grueso del presupuesto, se destina a viajes y dietas de los investigadores, para facilitar la consecución de una muestra amplia y representativa. Por ello se detalla la necesidad de presupuesto para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento de los investigadores por el territorio español, para llevar a cabo las intervenciones formativas y medición de datos propuestas en el proyecto (Billetes Tren/Avión/Autobús). • Manutención de los investigadores en el transcurso del experimento-simulación en cada región. • Alojamiento de los investigadores en el transcurso del experimento-simulación en cada región. • Transporte de los investigadores en el transcurso del experimento-simulación localmente en cada región. 	

MEMORIA DE SOLICITUD DE BECAS FEMUE

Solicitante:	
MEMORIA DE SOLICITUD DEL PROYECTO DE INVESTIGACION ANEXOS	
Expediente nº	
ANEXOS <ul style="list-style-type: none"> - Aprobación del CEIC Institución y número de referencia facilitado a la secretaria FEMUE 	



- **Tabla 1. Adaptación instrucciones auto-extracción Dixon et al. para camión.**

Adaptación instrucciones auto-extracción Dixon et al¹⁴ para camión.

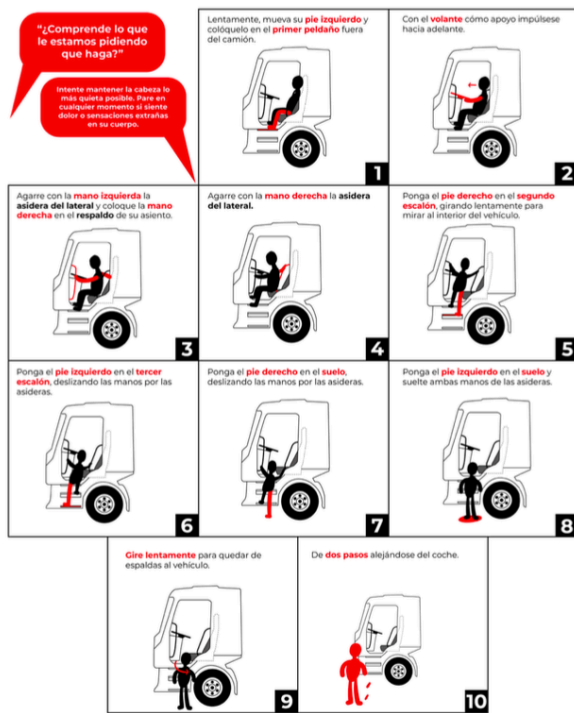
Secuencia Instrucciones	Instrucción
1	¿Comprende lo que le estamos pidiendo que haga? Intente mantener la cabeza lo más quieta posible. Pare en cualquier momento si siente dolor o sensaciones extrañas en su cuerpo.
2	Lentamente, mueva su pie izquierdo y colóquelo en el primer peldaño fuera del camión.
3	Con el volante como apoyo impúlsese hacia adelante.
4	Agarre con la mano izquierda la asidera del lateral y coloque la mano derecha en el respaldo de su asiento.
5	Agarre con la mano derecha la asidera del lateral.
6	Ponga el pie derecho en el segundo escalón, girando lentamente para mirar al interior del vehículo.
7	Ponga el pie izquierdo en el tercer escalón, deslizando las manos por las asideras.
8	Ponga el pie derecho en el suelo, deslizando las manos por las asideras.
9	Ponga el pie izquierdo en el suelo y suelte ambas manos de las asideras.
10	Gire lentamente para quedar de espaldas al vehículo.
11	De dos pasos alejándose del coche.

Fuente: elaboración propia/ Debe considerarse que la adaptación de órdenes se ha realizado considerando la conformación más común de camión (agarradera bilateral y tres peldaños hasta el suelo).



- **Figura 1. Representación gráfica de órdenes para auto-extracción de víctimas, adaptadas a vehículo pesado de gran altura.**

Representación gráfica de órdenes para auto-extracción de víctimas, adaptadas a vehículo de gran altura (camión).



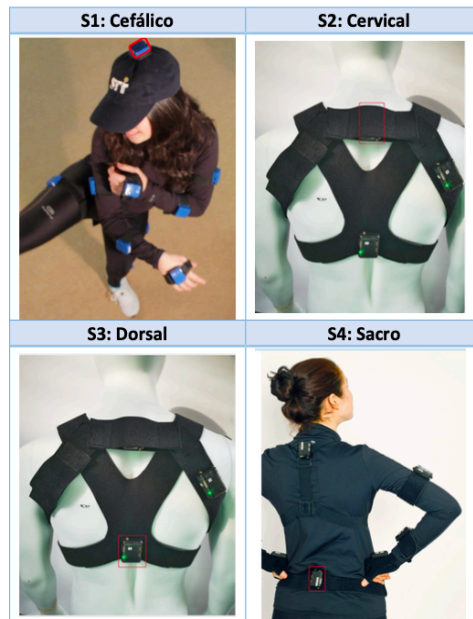
Fuente: elaboración propia; adaptación de órdenes de Auto-extracción desarrolladas por

Dixon et al¹⁴.



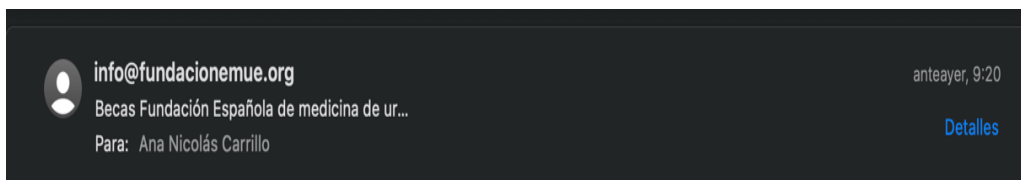
- **Figura 2. Representación gráfica de localización anatómica de los Sensores Inerciales.**

Representación gráfica de localización anatómica de los Sensores Inerciales en análisis biomecánico de los movimientos vertebrales en la totalidad de la columna.



Fuente: Guía de colocación de sensores iSens STT SYSTEMS® 2022²⁴.

Apéndice 2.2 Notificación de concesión de beca FEMUE 2024



Estimada Ana Nicolás Carrillo,

Es un placer comunicarle que ha sido seleccionada como beneficiaria de la beca de investigación otorgada por la Fundación Española de medicina de urgencias y emergencias (FEMUE) dotada de 10.000€, por su proyecto "Extracción y auto-extracción: Análisis biomecánico y temporal para la excelencia en la atención extrahospitalaria al trauma mayor". Dado que el presupuesto total de su proyecto asciende a 5.602,93€, la beca se otorgará en su totalidad únicamente si se justifica completamente.

En el próximo congreso nacional SEVILLA 2024, le haremos entrega de su diploma en la mesa del urgenciólogo investigador.

Enhorabuena por este logro y gracias por su dedicación y esfuerzo, le deseamos mucho éxito en su investigación.

Quedamos a su disposición para cualquier consulta.

Atentamente,

Juan Jorge González Armengol

Presidente de la Fundación Española de Medicina de Urgencias (FEMUE)

María Lafont

info@fundacionemue.org

915701284 - 695205148

Núñez de Balboa, 116, 3º, Oficina 9 - 28006 Madrid



www.semes.org / www.fundacionemue.org

Sociedad Española de Medicina de Urgencias y Emergencias



Fundación Española de Medicina de Urgencias y Emergencias

AVISO LEGAL: Este mensaje, y sus posibles anexos, está dirigido por el remitente exclusivamente a su destinatario, considerándose su contenido como estrictamente confidencial, y pudiendo, además, estar sometido a secreto profesional. En caso de que usted haya recibido este correo por error, le rogamos que lo comunique al responsable de su envío por el mismo medio, o lo haga por teléfono llamando al número 915701284, procediendo a borrar definitivamente el contenido del correo. La utilización, copia o divulgación por cualquier medio del presente correo, sin autorización del remitente, está prohibida y podrá dar lugar al ejercicio de las acciones legales oportunas

APÉNDICE 3. PROYECTO DE PREMIO IVAFER LUIS MIFSUT 2024

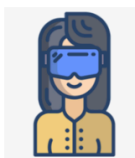
Apéndice 3.1 Memoria Proyecto Instituto Médico Valenciano: premio Luis Mifsut 2024

PROYECTO INSTITUTO MÉDICO VALENCIANO: PREMIO LUIS MIFSUT 2024

Entrenamiento en helitransporte sanitario mediante tecnologías inmersivas:

Simulación Clínica con Realidad Virtual

Resumen



Introducción. Se propone emplear como metodología docente el uso de realidad virtual (RV) frente a simulación clínica (SC) en simulador, en la formación sanitaria en contexto del helitransporte sanitario. La hipótesis del estudio sugiere que la formación mediante RV crea mayor sensación inmersiva que la simulación SC (simulador *Helicopter Emergency Medical Service*), mejorando la calidad de la formación sanitaria. El objetivo principal es determinar el estrés y la inmersión generada en emergencias con RV en comparación con SC clásica. Como objetivo secundario se planteó evaluar el tiempo de toma de decisiones en ambos contextos de simulación.

Método. La metodología propuesta es un estudio comparativo con metodología CONSORT (comparando la SC con la RV). La evaluación del estrés se realizará con biomarcadores salivares, escala *System Usability Scale* (SUS), encuesta de percepción y determinación del tiempo necesario en toma de decisiones.

Resultados. Los resultados esperados son que la RV podría generar una experiencia más inmersiva, provocando más estrés en el operador, lo cual se considera beneficioso para la preparación ante situaciones reales.

Aplicabilidad. La RV se considera un recurso de innovación docente para simular escenarios de emergencia, para mejorar habilidades críticas como la toma de decisiones y el manejo del estrés en situaciones de alta presión. Este enfoque propone un salto cualitativo en educación médica, ofreciendo un entorno de aprendizaje más inmersivo y práctico frente a métodos tradicionales.

Conclusiones. La RV, a pesar de su inversión inicial, ofrece flexibilidad y una variedad de escenarios clínicos, siendo una herramienta valiosa para la formación médica de emergencia.

Palabras clave: realidad virtual, simulación clínica, educación, servicios de emergencias médicas.

1. Introducción

Gran cantidad de los pacientes atendidos de forma urgente, y en especial en el ámbito extrahospitalario, requieren de una atención rápida, de óptima calidad y, a menudo, que precisa de una toma de decisiones esencial para el desarrollo del curso clínico.

Desde hace más de dos décadas, se ha empleado la metodología de simulación, mejorada con tecnología, para la educación en el campo de las emergencias médicas; probándose resultar efectiva para la adquisición de habilidades por parte del estudiante¹.

El aprendizaje por simulación clínica (SC), dota a los profesionales sanitarios de la capacidad para perfeccionar su práctica asistencial, incrementando su velocidad y destreza tanto técnica como no técnica, en entorno controlado. Además, permite realizar un entrenamiento repetitivo, para mejorar la respuesta en la atención asistencial real, que mejora la eficacia de la actuación¹. En suma, se hallan diversos estudios que proporcionan evidencia que apoya el uso de la simulación clínica como una metodología de enseñanza efectiva, que puede mejorar el desempeño clínico y las habilidades de los estudiantes en las ciencias de la salud^{2,3,4}.

Desde hace unos años, y cada vez más, la realidad virtual (RV) es un mundo emergente que se ha incorporado definitivamente a la docencia sanitaria, y nos permite aprender en un contexto, sin perjudicar a ningún paciente, más real de lo que hace algunos años habría podido suponerse. Se ha evidenciado que recibir educación en el campo de la medicina mediante RV proporciona aprendizaje de habilidades y satisfacción en los profesionales de la salud^{5,6,7}. Además, los alumnos muestran una actitud positiva hacia el aprendizaje con nuevas tecnologías y, en particular, con RV^{8,9}.

Aunque nos ofrece una ventaja inmersiva en el contexto de toma de decisiones y decisión de actuación en entorno clínico, también presenta sus limitaciones. A pesar de ofrecer una sensación realista al operador, las capacidades técnicas o manipulativas aún deben desarrollarse para ofrecernos tanta "inmersión manipulativa" como nos brinda el aprendizaje por SC.

La RV es una herramienta muy valiosa en el ámbito educativo, que en la actualidad se encuentra en vías de un desarrollo excepcional a una gran velocidad^{10,11}. Se considera que tanto el aprendizaje con RV, como el aprendizaje mediante SC, suponen

herramientas indispensables para avanzar en el perfeccionamiento de la atención sanitaria en emergencias. En determinados campos de emergencias, se ofrecen resultados que sugieren que la RV podría ser un método de aprendizaje más efectivo que la enseñanza clásica^{12,13}.

La medición de diversos biomarcadores, en general y en saliva en particular, para determinación del estrés ha sido ampliamente estudiado. La evaluación del estrés con biomarcadores en saliva, mediante métodos analíticos avanzados se considera útil en el ámbito clínico y de investigación¹⁴. En el contexto académico en particular, se encuentran trabajos que respaldan que la determinación del cortisol salival y la alfa-amilasa salival son los más adecuados para estudiar la respuesta al estrés en este ámbito^{15,16}. Se ha cuantificado que ejercicios de simulación, como un incidente de múltiples víctimas (IMV), ha provocado estrés en voluntarios en el rol de personal de servicios de emergencias médicas (SEM)¹⁷. Por otro lado, experiencias realizadas comparando aprendizaje clásico y aprendizaje con RV, reportan que los niveles de estrés son más altos con RV, lo que podría influir en el aprendizaje¹².

La propuesta docente del presente trabajo consiste en implementar el uso de RV para formación del personal sanitario del ámbito de las emergencias médicas. Específicamente centrada en la práctica respecto de la toma de decisiones que marcará el curso clínico, con el aprendizaje por casos clínicos. Para ello se creará un espacio virtual que reproduzca fielmente el interior de un helicóptero (modelo Eurocopter EC135 T3) y sonidos concordantes con un escenario clínico de emergencia extrahospitalaria.

El objetivo de esta propuesta es analizar la experiencia de usuario cuando se realiza SC comparándola con la RV. La RV ofrece numerosas ventajas (formación muy diversa en espacio reducido, aprendizaje individual pero simultáneo del grupo, variabilidad de localización y espacio sin influencia del escenario clínico, etc.) respecto del uso de simuladores.

Para establecer una comparativa objetiva sobre el uso de ambas metodologías de simulación en aprendizaje, se propone el estudio que considera medición de tiempos de toma de decisiones y niveles de biomarcadores de estrés en saliva. Ambos grupos responderán a un cuestionario en escala *Likert* de 1 a 5, creado *ad hoc*, sobre la experiencia

vivida. Además, a los alumnos del grupo de RV se les pasará un cuestionario de usabilidad de la experiencia tecnológica (el cuestionario SUS).

Se pretende discernir qué herramienta docente (SC frente a RV) generaría mayor sensación de realidad en el operador, en un contexto de atención sanitaria en paciente simulado que presente patología poco frecuente. Ante un entorno clínico adverso que requiere decisiones inmediatas, se pretende medir el estrés generado en los voluntarios operadores y el tiempo que precisan para tomar decisiones concretas. Un mayor nivel de estrés se considera que, aunque puede influir en el aprendizaje, acerca a los profesionales SEM a la práctica profesional en situación similar. Conseguir datos objetivos del estrés generado en los profesionales durante intervenciones realizadas mediante simulación clínica clásica (SCC) y simulación con RV, brinda la oportunidad de obtener información fundamental que pueda orientar la metodología docente a seguir. Se entiende en este trabajo como SCC aquella simulación clínica realizada en entorno de simulador (cabina helicóptero) con uso de *dummie*. De esta forma, se podrá preparar a los profesionales de una forma excelente en su actuación profesional, incluso en situaciones relativamente poco comunes y altamente estresantes, que se producen en la práctica asistencial.

Se establece la hipótesis de que la formación con RV es capaz de generar en los profesionales una mayor sensación de realidad frente al aprendizaje por simulación clásica. Este hecho, proporciona un entorno que se considera que, sobre todo en lo relacionado con la toma de decisiones en la práctica asistencial, sería altamente fiable para obtener así una formación de excelente calidad. El principal objetivo de este trabajo reside en cuantificar el estrés generado en la actuación sanitaria mediante escenario simulado de RV frente a SCC. Como objetivo secundario se define evaluar el tiempo que requiere la toma de decisiones en el contexto de la simulación clínica propuesta, en ambos grupos.

2. Metodología docente

2.1 Desarrollo de la propuesta docente

La propuesta docente consiste en implementar el uso de RV para la formación del personal sanitario en emergencias médicas; enfocado a la práctica clínica asistencial. En concreto, en el campo de toma de decisiones ante diversos escenarios clínicos.

Propuesta de desarrollo:

- Bienvenida al grupo y briefing del caso clínico. Los datos proporcionados del entorno y el caso clínico variarían en función de las competencias (soporte vital avanzado, formación específica en atención prehospitalaria al trauma...) previas del grupo y de los objetivos que haya marcado para la sesión el docente.
- Breve instrucción-recordatorio de manejo de gafas de RV y mando previo a la experiencia, apoyada por el programa informático *power point®* que muestre como utilizar los botones y acceder a la experiencia virtual.
- Realización individual de la experiencia con RV por parte de los alumnos. Al cargarse la experiencia virtual se visualizará un entorno de helicóptero en el que se encuentra el paciente y el operador está sentado en el asiento correspondiente (médico o enfermero según profesión deberá cargarse una experiencia u otra) enfrentándose a la toma de decisiones (definidas previamente en los objetivos del escenario) del caso clínico seleccionado.
- Finalización de la experiencia de RV.
- Aplicación de escala SUS (*System Usability Scale*), para valoración de la usabilidad de las herramientas empleadas en la experiencia de RV.
- Debriefing. Se debate sobre la toma de decisiones llevada a cabo y percepción de los alumnos. Se propone el modelo PLUS-DELTA en esta fase (se comentan los aspectos positivos y aspectos a mejorar de la actuación en el caso clínico para fomento de la reflexión y aprendizaje). Se considera que otros modelos para evaluar la percepción también resultarían adecuados; siempre que se considere explorar la experiencia y sensaciones percibidas por los alumnos.

2.2 Desarrollo de estudio comparativo entre RV y SMC

Se perfila un estudio **cuasi-experimental multicéntrico de SC y RV**; para comparar del estrés generado ante un caso clínico en dos grupos de **Personal de Emergencias Médicas Aerotransportadas (PEMA)**. El estudio para obtención de resultados seguirá las normas de la Declaración de Helsinki y será sometido a estudio por un Comité Ético de la UCAM, para asegurar un proceder adecuado para con los voluntarios. Todos los participantes serán adecuadamente informados y deberán firmar el consentimiento a su participación en el estudio.

Selección de la Muestra

Mediante convocatoria abierta se pretende obtener una muestra de voluntarios de diversas bases del territorio español, dotadas con helicóptero y personal sanitario.

Para la selección de los voluntarios se consideran los criterios de inclusión:

- PEMA en activo en atención médica aerotransportada y con al menos 2 años de experiencia en el ámbito de Urgencias y Emergencias.
- Conformidad y firma del documento de consentimiento informado.

Como criterios de exclusión que se consideran:

- Presentar problemas para la deglución.
- Presentar algún tipo de lesión física que imposibilite la realización del experimento-simulación.
- Falta de actitudes o aptitudes para comprender y colaborar con el experimento-simulación.

Descripción de la Intervención

Los voluntarios PEMA se asignarán, mediante **aleatorización simple** (figura 1), a uno de los dos grupos de intervención. Ambos grupos se enfrentarán a un mismo caso clínico, en el transcurso de la intervención. De manera general, el caso clínico a afrontar supone el traslado de un paciente intubado; gran quemado con afectación respiratoria severa por inhalación de humo (*briefing/situación inicial*) al centro hospitalario útil más cercano, que, en el contexto del vuelo en helicóptero, presenta una extubación accidental (evolución del caso).

De forma específica, los grupos de intervención supondrán:

- **Grupo 1 o de intervención con simulación clínica clásica (ISCC).**

Se les proporcionará el *briefing* del caso clínico, a realizar en el interior del helicóptero en el que trabajan habitualmente, donde el paciente a transportar se encuentra ya en el interior (*dummie*) y mediante comunicación con los investigadores-instructores, se les darán las indicaciones de evolución de caso clínico.

- **Grupo 2 o de intervención con realidad virtual (IRV).**

Los voluntarios recibirán unas indicaciones simples de cómo manejar su avatar en el mundo virtual (selección de opciones). Se les introducirá en el escenario de simulación virtual creado con las gafas *Realidad Virtual Meta Quest 3*® (imagen 1) y se les proporcionará un mando para el manejo. Al iniciar la experiencia virtual se encontrarán en el interior de la cabina del helicóptero donde el paciente se encuentra intubado (situación inicial) y verán como sucede, de manera accidental, la extubación del “paciente” (evolución del caso).

Medición de tiempo en escena

Se medirá de manera global el tiempo de intervención en el cual el voluntario esté participando; considerando tiempo cero desde “extubación de la víctima” y tiempo final “resolución del caso/consideración de paciente estabilizado por el investigador” (paciente con vía aérea permeable al que se le está dando soporte ventilatorio). Por otro lado, se medirá el tiempo que demora el participante en tomar la decisión del manejo avanzado de vía aérea nuevamente y la elección del dispositivo.

En el grupo 1-ISCC el investigador empleará un cronómetro para cuantificar el tiempo; mientras en el grupo 2-IRV quedará registrada virtualmente la intervención, pudiendo cuantificarse los tiempos.

Medición niveles de estrés

Se recopilarán datos sobre dos biomarcadores (**cortisol y actividad del alfa-amilasa salivar**) con recolección de **muestra de la saliva** en cada participante, pre y post intervención. La medición de biomarcadores se realizará por el participante en su domicilio, la noche anterior a la intervención (pre-test) y la noche del día de la intervención (post-test) sobre las 23 pm.

Como herramienta de medición se empleará un *Kit* para Test de Estrés con perfil de estrés básico que incluya determinación de cortisol salival y alfa-amilasa salival. (ejemplo: TeleTest Lab Análisis®). El test proporciona instrucciones sencillas de recogida de la muestra, que se detallarán a los participantes, según las cuales el isopo se introduce en la boca durante un minuto. Posteriormente se introduce en el contenedor de muestra y será recogida para cursar el análisis de los niveles de biomarcadores.

Medición de la usabilidad

En el grupo 2 o IRV se pretende medir la aplicabilidad del sistema empleado con la aplicación del sistema estandarizado escala SUS (System Usability Scale).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la determinación de biomarcadores serán exportados al programa Microsoft Excel® y examinados por medio del programa IBP *SPSS Statistics*® Versión 24.

Las variables descriptivas en los voluntarios serán: sexo, edad, Índice de Masa Corporal (IMC), hora de última ingesta, problemas dentales, gingivitis, fumador o no fumador, profesión, lugar de trabajo actual, experiencia laboral PEMA y experiencia laboral SEM.

El análisis estadístico para evaluar los niveles de estrés generados con las dos metodologías de aprendizaje por simulación se centrará en comparar los resultados obtenidos antes y después de la implementación de la estrategia en los sujetos, así como de la comparativa post-intervención en ambos grupos. Se calcularán estadísticas descriptivas, como medias, desviaciones estándar, y rangos intercuartílicos. Para evaluar la normalidad de los datos, en nuestro estudio se utilizará el test de *Shapiro-Wilk*. Para comparar los resultados pre-post se realizará la prueba *t de Student* si los datos se distribuyen normalmente o la prueba de *Mann-Whitney*, en el caso que los datos no se encuentren normalmente distribuidos.

Se considerará que hay una diferencia estadísticamente significativa cuando el valor de *p* sea menor que 0.05.

4. Aplicabilidad

La aplicabilidad de la enseñanza docente desprendida de esta experiencia-simulación se considera de amplio impacto. El paradigma en la enseñanza puede verse sometido a un giro decisivo, ya que la simulación es una realidad implementada en muchas modalidades de estudio. Además, la complementación de metodología de aprendizaje por simulación adaptada con uso de tecnologías, debe considerar que la RV es un método de enseñanza emergente, con una buena aceptación por parte de los alumnos y una gran cantidad de posibilidades aún desconocidas. Los alumnos de diversos grados sanitarios pueden verse inmersos en un cambio en la realidad de su día a día docente, si se implantara como un método rutinario de enseñanza. Además, si se considera el ámbito de la formación sanitaria, los cursos dirigidos a sanitarios, en especial del ámbito extrahospitalario como el caso clínico que nos ocupa, pueden encontrar una nueva vía de enseñanza que explotar con la adquisición de dispositivos que permitan el aprendizaje en modalidad de RV. Aunque el uso de esta tecnología requiere una inversión inicial, que debe tenerse en cuenta como posible limitación, en paralelo con enseñanza de simulación clásica utilizando cabina de helicóptero y *dummies*, como en esta experiencia-simulación, se identifican importantes ventajas como son:

En un grupo reducido, si se cuentan con suficientes dispositivos de RV, puede llevarse a cabo el aprendizaje por simulación de manera individual pero simultánea en todo el grupo; mientras tan solo se dispondría de una cabina de helicóptero para formación de alumnos de forma individual o por parejas. Lo cual, requiere más tiempo de alumnos e instructores para el desempeño de la formación. Además, debe tenerse en cuenta que las instalaciones para disponer de un simulador de helicóptero son específicas, mientras las gafas de RV son transportables y pueden llevarse a cabo las formaciones en cualquier espacio o lugar, incluso desde el domicilio de los alumnos.

5. Resultados esperados

Respecto del estudio propuesto se espera que se obtengan mayores niveles de estrés en el grupo de simulación que emplea RV, dado que tiene lugar una representación más fiel de lo que sería una experiencia con paciente real. Debe considerarse que prever resultados en un trabajo de campo se considera una intrépida experiencia, cuanto más debido al hecho de que ningún estudio en la literatura previo ha realizado un estudio similar. En relación al tiempo empleado en la toma de decisiones, se estima un dato variable que, en un entorno ideal, se esperaría menor en la experiencia más realista al encontrarse el operador "más cercano" a su práctica asistencial real. Sin embargo, se considera que podría estar ampliamente influido por el tiempo de experiencia, la personalidad del operador y el efecto *Hawthorne*.

Respecto de la metodología docente propuesta de uso de RV en formación de PEMA, se cree que es una herramienta educativa que podría resultar sumamente útil, tanto en formación inicial como en reciclaje periódico y entrenamiento del personal. Tras la inversión económica inicial, ofrecería gran variabilidad de entornos clínicos pudiéndose modificar el curso clínico una vez diseñado el espacio virtual y/o diseñar nuevos espacios y situaciones. Sin considerar otros campos de la emergencia donde podría aplicarse esta herramienta educativa, el uso de la misma por ejemplo en evaluación de riesgos para el personal o problemas de seguridad del entorno durante despegue, vuelo o aterrizaje en escena podría resultar muy beneficioso para el personal. Por otra parte, una vez adquirido el recurso, una posible adaptación de escenario para emplearlo como formación en piloto y tripulante, tal vez resultaría una opción interesante.

Por todo ello, la educación mediante simulación con dispositivos de RV en la toma de decisiones, en aras de preparar a los profesionales para una práctica clínica óptima, aun no habiéndose enfrentado en su práctica clínica real a una situación igual, se definiría como una estrategia de capital importancia para contar con los profesionales mejor formados. Si bien, se reconoce la importante limitación que lleva aparejada en el ámbito manipulativo, la posibilidad de la realidad virtual aumentada como combinación de una situación clínica realista y de manejar objetos de la vida cotidiana, podría ser la senda a seguir como revolución en las metodologías docentes seguidas hasta la

actualidad. El uso de guantes hápticos en combinación con las gafas, también ofrece una interesante opción para suplir la barrera que supone el manejo de objetos.

Fundamentalmente destacar la limitación que supone el entorno simulado; a pesar de que se intenta replicar con máxima fiabilidad un entorno clínico real, algunos elementos son difícilmente emulables (variabilidad del entorno clínico).

Algunos pueden distraer del entorno clínico y potenciar la percepción de falta de realismo (ruido ambiente, presencia de otros participantes en la escena,) y otros, aunque posibilitan sin repercusiones éticas probar el entrenamiento y habilidad técnica (uso de *dummies*) también pueden potenciar la sensación de falta de realidad o falta de inmersión por los participantes. Debe remarcar que la actitud del participante es fundamental e influye ampliamente en los resultados de los estudios y formaciones que emplean simulación; la conciencia de observación puede dar lugar a comportamientos artificiales o al efecto *Hawthorne* (modificación de la conducta de un sujeto por saberse objeto de estudio), lo que modificaría los resultados del estudio.

Otras posibles limitaciones de los estudios que emplean simulación clínica, pero se consideran que no tendrán lugar en el presente trabajo, sería emplear una muestra no representativa (se ha llevado a cabo un cálculo de la muestra mínima necesaria), presentar problemas tecnológicos (se empleará un equipo sencillo tipo cronómetro, del que se dispondrá de un excedente de aparatos, para asegurar medición correcta de los tiempos).

6. Conclusiones

La SC y RV son herramientas complementarias y fundamentales para mejorar la formación en emergencias médicas, ofreciendo entornos de aprendizaje realistas y seguros.

El estudio sugiere que la RV podría inducir un mayor nivel de estrés comparado con la simulación clínica clásica, lo que potencialmente mejora la preparación para situaciones reales de emergencia.

La RV, a pesar de su elevado coste inicial, ofrece ventajas significativas en términos de flexibilidad y variedad de escenarios clínicos, siendo una inversión valiosa para la educación médica.

Los hallazgos resaltan la importancia de seguir investigando y desarrollando estas tecnologías para optimizar la formación de profesionales de la salud, especialmente en contextos de emergencias.

7. Bibliografía

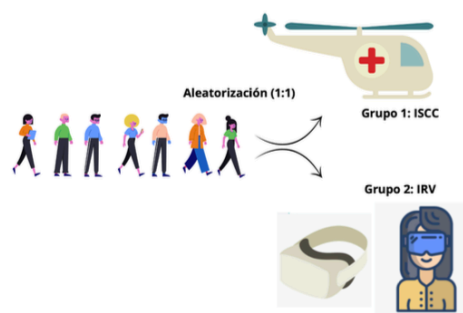
1. Hildreth AF, Maggio LA, Iteen A, Wojahn AL, Cook DA, Battista A. Technology-enhanced simulation in emergency medicine: Updated systematic review and meta-analysis 1991–2021. *AEM Education and Training*. 2023; 7(2): e10848.
2. Díaz-Guio DA, Ríos-Barrientos E, Santillán-Roldan PA, Mora-Martinez S, Díaz-Gómez AS, Martínez-Elizondo JA, et al. Online-synchronized clinical simulation: an efficient teaching-learning option for the COVID-19 pandemic time and: beyond. *Advances in Simulation*. 2021; 6: 1-9.
3. Azizi M, Ramezani G, Karimi E, Hayat AA, Faghihi SA, Keshavarzi MH. A comparison of the effects of teaching through simulation and the traditional method on nursing students' self-efficacy skills and clinical performance: a quasi-experimental study. *BMC Nursing*. 2022; 21: 283.
4. Mergen M, Meyerheim M, Graf N. Reviewing the current state of virtual reality integration in medical education – a scoping review protocol. *Systematic Reviews*. 2023; 12: 97.
5. Kim HY, Kim EY. Effects of Medical Education Program Using Virtual Reality: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20: 3895.
6. Ntakakis G, Plomariti C, Frantzidis C, Antoniou PE, Bamidis PD, Tsoufas G. Exploring the use of virtual reality in surgical education. *World J Transplant*. 2023; 13(2): 36-43.
7. Knudsen MH, Breindahl N, Dalsgaard TS, Isbye D, Mølbak AG, Tiwald G et al. Using Virtual Reality Head-Mounted Displays to Assess Skills in Emergency Medicine: Validity Study. *Journal of Medical Internet Research*. 2023; 25: e45210.
8. Mahling M, Wunderlich R, Steiner D, Gorgati E, Festl-Wietek T, Herrmann-Werner A. Virtual Reality for Emergency Medicine Training in Medical School: Prospective, Large-Cohort Implementation Study. *J Med Internet Res*. 2023; 25: e43649.

9. Calderón SJ, Tumino MC, Bournissen JM. Realidad virtual: impacto en el aprendizaje percibido de estudiantes de Ciencias de la Salud. *Tecnología Ciencia y Educación*. 2020; 16.
10. Lorenzo Lledó G. Análisis de la producción científica en el uso de la realidad virtual en la educación a partir de la estructura conceptual social e intelectual. *RED*. 2022; 22: 69.
11. Barja-Orea J, Liñan-Bermudez A, Mayta-Tovalino F. Visibilidad, impacto y colaboración en la producción científica sobre la realidad virtual en la educación médica (2017-2022). *Educ Med*. 2023; 24: 100831.
12. Alcaraz-Artero PM, Greif R, Cerón-Madrigal JJ, Escribano D, Pérez-Rubio MP, Alcaraz-Artero ME, et al. Teaching cardiopulmonary resuscitation using virtual reality: A randomized study. *Australasian Emergency Care*. 2023.
13. Pérez-Rubio MT, González-Ortiz JJ, López-Guardiola P, Alcázar-Artero PM, Soto-Castellón MB, Ocampo-Cervantes AB, Pardo-Ríos M. Realidad virtual para enseñar reanimación cardiopulmonar en el Grado de Educación Primaria. Estudio comparativo. *RIED*. 2023; 26(2): 309-325.
14. Giacomello G, Scholten A, Parr MK. Current methods for stress marker detection in saliva. *J Pharm Biomed Anal*. 2020; 191: 113604.
15. Tammayan M, Jantaratnotai N, Pachimsawat P. Differential responses of salivary cortisol, amylase, and chromogranin A to academic stress. *PLoS ONE*. 2021; 16(8): e0256172.
16. Szabo YZ, Slavish DC, Graham-Engeland JE. The effect of acute stress on salivary markers of inflammation: A systematic review and meta-analysis. *Brain Behav Immun*. 2020. 88: 887-900.
17. Nieto-Fernández-Pacheco A, Castro-Delgado R, Arcos-González P, Navarro-Fernández JL, Cerón-Madrigal JJ, Juguera-Rodríguez L, et al. Analysis of performance and stress caused by a simulation of a mass casualty incident. *Nurse Educ Today*. 2018; 62: 52-57.

8. Anexo

8.1. Anexo 1. Figura 1 Representación gráfica de la distribución de voluntarios en los grupos de intervención.

Figura 1. Representación gráfica distribución de voluntarios en los grupos de intervención.



Fuente: Elaboración propia

8.2. Anexo 2. Imagen 1 Gafas de Realidad Virtual Meta Quest 3®.

Imagen 1 Gafas de Realidad Virtual Meta Quest 3®



Fuente: <https://about.meta.com/ltam/>

Apéndice 3.2 Carta del Instituto Médico Valenciano de concesión del Premio IVAFER Luis Mifsut 2024



D^a ANA NICOLÁS CARRILLO

Valencia, 25 de marzo de 2024

Estimado Dra.

En nombre de la junta directiva del Instituto Médico Valenciano le comunico que el jurado constituido al efecto ha acordado concederle el PREMIO MIFSUT al trabajo titulado *Entrenamiento en helitransporte sanitario mediante tecnologías inmersivas: Simulación clínica con realidad virtual*.

La entrega del diploma acreditativo, a todos los miembros del trabajo, se realizará en el **Acto Conmemorativo de la fundación del Instituto que se celebrará el 18 de abril** en el Colegio de Médicos de Valencia a las **19 horas**.

La aportación económica se entregará en la **Sesión Científica que tendrá lugar el 25 de abril**, también en el Colegio de Médicos de Valencia a las **19 horas**, en la que presentarás el trabajo. Tendrás unos 20 minutos para exponerlo; puedes presentarlo tú o cualquier otro miembro del equipo.

A la espera de poder saludarle personalmente en los citados actos reciba nuestra más sincera felicitación.

Dr. José Luis Fresquet Febrer
Secretario del Instituto Médico valenciano

PD. Le regaríamos nos indicara un número de cuenta corriente para poderle hacer el ingreso. Telf. de contacto 659845744

